

STUDY OF REMOTE SENSING CAPABILITY FOR INITIAL IDENTIFICATION OF GEOTHERMAL EMERGENCE IN DIENG, CENTRAL JAVA

Anggun Detrina Napitupulu
anggundetripit@gmail.com

Projo Danoedoro
projo.danoedoro@geo.ugm.ac.id

ABSTRACT

The emergence of geothermal can be expressed by the value of land surface temperature in addition to geology approaches. Remote sensing has amount of thermal bands with various spatial resolutions with different accuracies, i.e. Landsat 5, 7, and 8 imagery. Objective of this research is to learn which thermal band is more capable in predicting the temperature value around the object of geothermal and to review the accuracy of thermal image, both based on the pixel value of surface degree and the model of regression result, which is used in initial identification of geothermal location. The value of land surface temperature is obtained by extracting the land surface temperature from thermal band of Landsat 5, 7, and each thermal bands of Landsat 8, and Split Window Algorithm (SWA) is used to merge thermal bands of Landsat 8 imagery. The result in prediction to temperature value around the geothermal stated that band 11 of Landsat 8 has a better accuracy compared to other bands, namely the movement of pixel degree value of field degree value was $\pm 3.9^{\circ}\text{C}$. The level of accuracy is generated based on the value of real pixel of surface temperature that the accuracy of thermal band of Landsat 5 is 42%, Landsat 7 is 50%, Split Window Algorithm (SWA) method of Landsat 8 is 62%, band 10 of Landsat 8 is 65%, band 11 of Landsat 8 is 58%. Based on regression model, accuracy of Landsat 5 is 54%, Landsat 7 is 50%, and SWA method, band 10, and band 11 of Landsat 8 are 54% respectively.

Keywords: Geothermal, Thermal band, Landsat, Land Surface Temperature, Split Window Algorithm.

ABSTRAK

Kemunculan panasbumi dapat diekspresikan melalui nilai suhu permukaan selain melalui pendekatan geologi. Penginderaan jauh telah memiliki banyak saluran termal dengan berbagai resolusi spasial dengan akurasi yang berbeda-beda, seperti Citra Landsat 5, 7, dan 8. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui saluran termal mana yang lebih mampu dalam memprediksi nilai temperatur sekitar objek panasbumi dan mengkaji tingkat akurasi citra termal, baik berdasarkan nilai piksel suhu permukaan dan model hasil regresi, yang digunakan dalam identifikasi awal lokasi panasbumi. Nilai suhu permukaan didapat dengan melakukan ekstraksi terhadap informasi suhu permukaan dari saluran termal Citra Landsat 5, 7, dan masing-masing saluran termal Landsat 8, serta penggabungan kedua saluran termal Landsat 8 menggunakan metode *Split Window Algorithm* (SWA). Hasil prediksi terhadap nilai temperatur sekitar objek panasbumi didapatkan bahwa saluran 11 Landsat 8 memiliki akurasi yang lebih baik dari saluran lainnya yaitu pergeseran nilai suhu piksel dari nilai suhu lapangan sebesar $\pm 3,9^{\circ}\text{C}$. Tingkat akurasi citra termal berdasarkan nilai piksel asli suhu permukaan didapatkan bahwa akurasi pada saluran termal Landsat 5 sebesar 42%, Landsat 7 sebesar 50%, metode SWA Landsat 8 sebesar 62%, saluran 10 Landsat 8 sebesar 65%, dan saluran 11 Landsat 8 sebesar 58%. Berdasarkan model regresi didapatkan akurasi pada Landsat 5 sebesar 54%, Landsat 7 sebesar 50%, dan metode SWA, saluran 10, dan saluran 11 Landsat 8 masing-masing memiliki akurasi sebesar 54%.

Kata Kunci: Panasbumi, Saluran Termal, Landsat, Suhu Permukaan, *Split Window Algorithm*.

PENDAHULUAN

Proses pembentukan bumi dari miliaran tahun yang lalu mempengaruhi keberadaan sumber daya alam yang ada di permukaan maupun di dalamnya. Sumber daya alam yang ada di bumi tersebar secara bervariasi, tidak merata di seluruh tempat. Sumber daya alam yang ada di dunia ini pada dasarnya terdiri dari dua, yaitu sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (Marilang, 2011). Sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui memiliki waktu yang sangat panjang hingga berjuta tahun untuk dapat melakukan regenerasi. Sumber daya alam tersebut dapat berupa batu bara, minyak bumi, nikel, emas, dan sumber daya mineral lainnya. Sementara sumber daya alam yang dapat diperbarui merupakan sumber daya alam yang dapat diregenerasi kembali pada proses-proses yang mempengaruhi sumber daya alam tersebut. Salah satu sumber daya yang dapat diperbarui tersebut adalah panasbumi.

Sistem panasbumi berdasarkan asosiasi terhadap tatanan geologinya terdiri dari tiga jenis yaitu (1) vulkanik: berasosiasi pada gunungapi kuarter yang membentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, sebagian Maluku, dan Sulawesi Utara; (2) vulkano-tektonik: berasosiasi antara struktur graben dan kerucut vulkanik yang umumnya ditemukan pada jalur Sesar Sumangko di Pulau Sumatera; (3) nonvulkanik: tidak berasosiasi dengan vulkanik kuarter, namun berasosiasi dengan batuan penyusun kerak benua Asia seperti batuan metamorf dan sedimen yang dapat ditemukan di lengan dan kaki Sulawesi, Kepulauan Maluku, dan Irian (Sukhyar, 2014). Estimasi awal panasbumi terhadap struktur geologi di permukaan bumi dapat dilihat dari adanya sumber gas uap air (*fumarole*), sumber air panas, sumber air mendidih, dan sumber gas belerang. Analisa awal dari fluida yang keluar dapat memberikan indikasi dari kondisi fisik pada kedalaman di lapangan dan tipe batuan yang ada di lokasi panasbumi (Rybach, 1981).

Estimasi awal panasbumi terhadap struktur geologi di permukaan bumi dapat dilihat dari adanya sumber gas uap air (*fumarole*), sumber air panas, sumber air mendidih, dan sumber gas belerang. Analisa awal dari fluida yang keluar dapat memberikan

indikasi dari kondisi fisik pada kedalaman di lapangan dan tipe batuan yang ada di lokasi panasbumi (Rybach, 1981). Secara geologi, Dieng merupakan wilayah dari gunungapi aktif maupun tidak aktif yang memiliki solfatar (sumber gas belerang), *fumarole* (sumber gas uap air), dan banyak kawah. Wilayah Gunungapi Dieng berumur kuarter yang memiliki material piroklastik, aliran lava, endapan freatik, endapan lahar, endapan permukaan, dan hasil erupsi Gunungapi Sindoro. Aktivitas gunungapi di wilayah ini mengindikasikan adanya panasbumi yang juga telah dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP) dengan kapasitas sebesar 60 MW yang akan terus dikembangkan. Identifikasi awal terhadap potensi kemunculan panasbumi dapat dilihat secara geologi dan melalui ekspresi termal yang muncul pada suatu permukaan.

Ekspresi termal yang ada di permukaan bumi merupakan hal yang penting dalam identifikasi lokasi panasbumi. Ekspresi termal tersebut dapat diidentifikasi dengan bantuan pengolahan citra Landsat yang memiliki sensor termal pada citranya. Citra Landsat 5, 7, dan 8 memiliki sensor termal dengan resolusi spasial yang berbeda-beda. Citra Landsat 5 memiliki resolusi spasial sebesar 120 m, Landsat 7 dengan resolusi spasial sebesar 60 m, dan Landsat 8 sebesar 100 m untuk kedua sensor termalnya. Perbedaan resolusi spasial ini tentu dapat memberikan informasi yang berbeda terhadap ekspresi termal yang ada di permukaan bumi sehingga hal ini menjadi menarik untuk dikaji. Fenomena panasbumi yang berasosiasi dengan keadaan geologi yang ada di sekitarnya dapat diamati dengan menggunakan bantuan citra penginderaan jauh. Citra ALOS PALSAR RTC yang memiliki resolusi spasial 12,5 m dapat digunakan untuk identifikasi awal kondisi geologi asosiasi panasbumi dan dapat digunakan untuk membuat model tiga dimensi (3D) terhadap *digital elevation model* (DEM) (NASA, 2005 dalam Prasasti *et al.*, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui saluran termal yang lebih mampu dalam memprediksi nilai temperatur sekitar objek panasbumi.
2. Mengkaji tingkat akurasi citra termal yang digunakan dalam identifikasi awal lokasi panasbumi.

METODE PENELITIAN

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini berupa Citra Landsat 5 TM Jawa Tengah, *path* 120 *row* 065, perekaman 04 Juni 2014, Landsat 7 ETM+ Jawa Tengah, *path* 120 *row* 065, perekaman 28 April 2001, Landsat 8 TIRS Jawa Tengah, *path* 120 *row* 065, perekaman 18 September 2015, ALOS PALSAR RTC tahun 2009, dan Terra Modis level 1B tahun 2009. Data sekunder yang digunakan berupa Peta Rupa Bumi Indonesia Digital, Peta Geologi skala 1:100.000 lembar Banjarnegara – Pekalongan, dan Peta *Landsystem* Jawa Tengah Skala 1:250.000.

Koreksi radiometrik dilakukan pada Landsat 5, Landsat 7, dan Landsat 8 yang diawali dengan melakukan konversi terhadap nilai kecerahan citra hingga menjadi energi pantulan. Tahapan koreksi ini adalah melakukan konversi nilai piksel menjadi nilai radian spektral dan merupakan langkah dasar untuk mengubah data citra dari sensor multispektral menjadi nilai dalam skala radiometrik. Koreksi radiometrik untuk saluran termal dilakukan dengan menggunakan konversi suhu kecerahan (persamaan 1).

$$T_R = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \dots\dots\dots(\text{persamaan 1})$$

Keterangan:

- T_R : nilai temperatur dalam derajat Kelvin
- $K1$: konstanta kalibrasi (60.7676 W/(m² sr μ m))
- $K2$: konstanta kalibrasi (1260.56 °K)
- \ln : *natural logarithm*
- L_λ : nilai radiansi spektral (W/(m² sr μ m))

Ekstraksi nilai suhu permukaan dilakukan dengan menggunakan perhitungan temperatur kinetik. Ekstraksi nilai suhu permukaan secara konvensional dilakukan pada Landsat 5, 7, dan saluran 10 dan 11 Landsat 8 (persamaan 2).

$$T_s = T_R / \varepsilon^{1/4} \dots\dots\dots(\text{persamaan 2})$$

Keterangan:

- T_s : suhu permukaan
- T_R : suhu kecerahan
- ε : adalah emisivitas

Dilakukan juga ekstraksi suhu dengan menggunakan metode *Split Window Algorithm* (SWA) yang dikembangkan oleh Rozenstein *et al.* pada tahun 2014 untuk gabungan saluran 10 dan 11 Landsat 8 (persamaan 3).

$$T_s = A_0 + A_1 \times T_{10} - A_2 \times T_{11} \dots\dots(\text{persamaan 3})$$

Keterangan:

- T_s : suhu permukaan (°K)

T_{10} : suhu kecerahan saluran 10

T_{11} : suhu kecerahan saluran 11

A_0 , A_1 , dan A_2 : koefisien transmisi atmosfer Modis dan emisivitas Landsat 8 yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$A_0 = E_1 \times a_{10} + E_2 \times a_{11} \dots\dots\dots(\text{persamaan 4})$$

$$A_1 = 1 + A + E_1 \times b_{10} \dots\dots\dots(\text{persamaan 5})$$

$$A_2 = A + E_2 \times b_{11} \dots\dots\dots(\text{persamaan 6})$$

Citra ALOS PALSAR digunakan untuk membantu dalam melihat kondisi fisik permukaan berupa subbentuklahan dan litologi yang dilakukan dengan cara interpretasi visual. Pendekatan yang dapat membantu dalam interpretasi subbentuklahan maupun litologi adalah relief dan pola aliran.

Pengukuran suhu permukaan objek panasbumi di lapangan dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Pengukuran suhu permukaan dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung pada permukaan objek panasbumi dengan menggunakan alat pengukur suhu kinetik yaitu *thermometer infrared* dan pengukuran ini juga termasuk ke dalamnya objek lain yang ada di sekitar panasbumi. Luas dari objek panasbumi dan objek yang ada di sekitarnya juga diukur dengan menggunakan pita ukur untuk mengetahui persentase luas objek panasbumi dan objek lainnya yang ada pada satu piksel citra. Metode yang digunakan untuk menentukan lokasi sampel adalah *stratified random sampling* (sampel acak berstrata).

Tahap pengolahan lapangan dilakukan dengan menguji akurasi prediksi nilai temperatur sekitar objek panasbumi yang dilakukan dengan cara menghitung nilai suhu rata-rata objek selain panasbumi pada piksel sekitar yang di dalamnya memiliki kenampakan objek panasbumi dan membandingkannya dengan nilai suhu rata-rata objek selain panasbumi yang ada di sekitar objek panasbumi itu sendiri.

Analisis korelasi dan regresi dilakukan antara nilai suhu objek panasbumi yang didapat dari kegiatan lapangan dengan nilai suhu yang ditampilkan oleh piksel citra. Analisis regresi menghasilkan persamaan yang nantinya digunakan untuk membangun model nilai suhu permukaan citra (persamaan 7). Metode regresi linier sederhana juga dilakukan untuk mengetahui korelasi antara proporsi luas kemunculan objek panasbumi dalam satu piksel dengan nilai suhu objek panasbumi itu sendiri.

Selain itu, dilakukan analisis regresi linier berganda untuk melihat apakah nilai suhu lingkungan di sekitar objek panasbumi berpengaruh pada nilai suhu objek panasbumi yang terekam dalam nilai satu piksel.

$$y = ax + b \dots\dots\dots(\text{persamaan 7})$$

Keterangan:

y: nilai piksel

x: pengukuran lapangan suhu objek panasbumi

a dan b: nilai estimasi suhu

Uji Akurasi model dilakukan untuk melihat akurasi model dari masing-masing saluran yang dilakukan. Uji akurasi ini digunakan dengan menghitung nilai *Standard Error of Estimate* yang hasilnya nanti akan memperlihatkan akurasi dari model (persamaan 8).

$$SE = \sqrt{\frac{(y-y')^2}{n-2}} \dots\dots\dots(\text{persamaan 8})$$

Keterangan:

SE: *standard error*

y: pengukuran lapangan

y': nilai dugaan

n: jumlah sampel.

Dalam penelitian ini juga dilakukan penentuan nilai ambang suhu objek panasbumi dengan cara melihat pada *range* suhu berapa objek panasbumi akan muncul dalam tiap pikselnya. Penentuan nilai ambang ini dilakukan pada nilai suhu permukaan tiap saluran termal citra dan hasil model regresi. Hal ini dilakukan untuk melihat saluran mana yang mampu menunjukkan lokasi kemunculan objek panasbumi yang lebih akurat. Uji akurasi pada tahap ini dilakukan dengan cara *confusion matrix* dimana sampel objek panasbumi dilihat kemunculannya pada distribusi spasial kemunculan objek panasbumi yang dihasilkan oleh nilai ambang suhu yang telah dikelompokkan sebelumnya.

Reinterpretasi dilakukan untuk mencocokkan bentuklahan yang telah dilihat dan batuan yang diambil saat lapangan dengan hasil interpretasi. Hasil dari interpretasi inilah yang dijadikan sebagai acuan untuk analisis dan dianggap sesuai dengan keadaan lapangan yang sebenarnya. Uji akurasi pada hasil interpretasi litologi dilakukan dengan menggunakan Peta Geologi skala 1:100.000 lembar Banjarnegara – Pekalongan dan bentuklahan dilakukan perbandingan dengan menggunakan Peta *Land System Jawa Tengah*. Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan metode *confusion matrix*

dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Akurasi total} = \frac{B}{S} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{persamaan 9})$$

Keterangan:

B: hasil interpretasi benar

S: jumlah seluruh grid sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konversi nilai kecerahan dilakukan untuk mengetahui nilai suhu radian. Konversi tersebut menghasilkan nilai min, max, dan min yang masih dalam satuan derajat Kelvin. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Statistik Suhu Kecerahan Citra Landsat 5, 7, dan 8

Min (°K)	Max (°K)	Mean (°K)
Landsat 5		
281.46	312.35	294.87
Landsat 7		
283.04	330.45	301.60
Landsat 8 saluran 10		
289.07	318.06	300.43
Landsat 8 saluran 10		
287.13	312.67	297.11

Saluran yang dikonversi nilai suhu permukaannya adalah saluran 6 pada Landsat 5 dan 7 serta saluran 10, 11, dan gabungan saluran 10 dan pada Landsat 8. Masing-masing saluran tersebut menghasilkan nilai suhu permukaan yang berbeda-beda, nilai minimum dan minimumnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 5. 2. Nilai minimum dan maksimum yang dihasilkan pada konversi nilai suhu permukaan

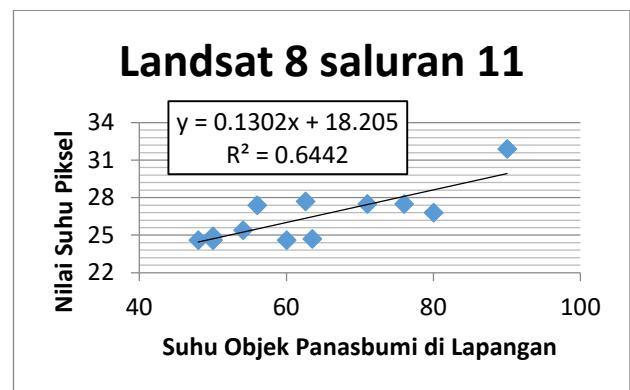
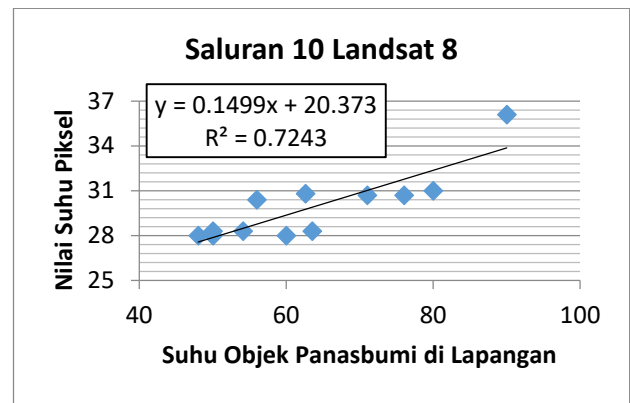
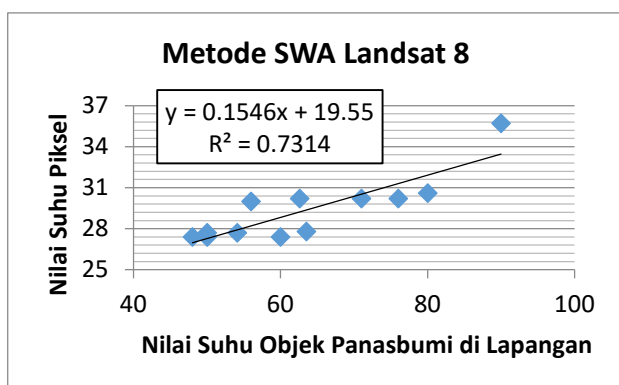
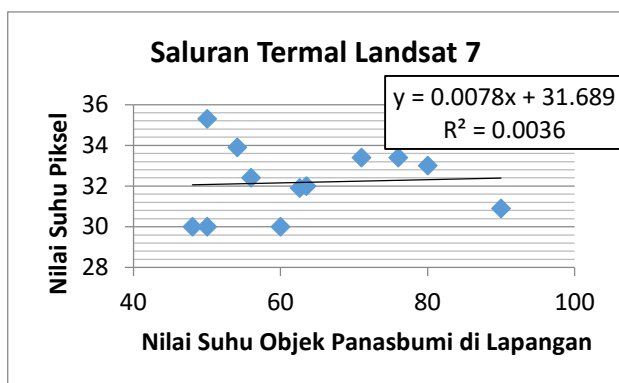
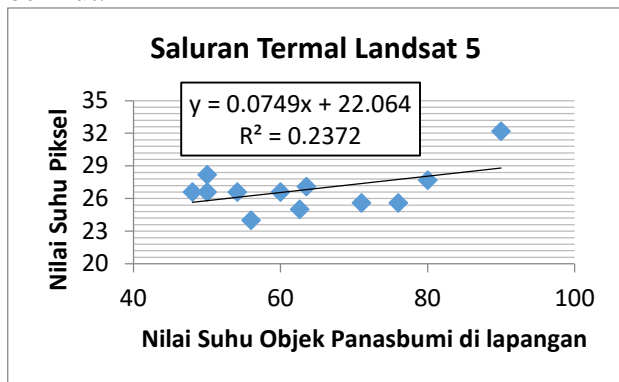
Nilai minimum	Nilai maksimum
Landsat 5	
9.89°C	40.94°C
Landsat 7	
11.47°C	59.12°C
Landsat 8 metode SWA	
16.77°C	45.38°C
Landsat 8 saluran 10	
16.79°C	47.07°C
Landsat 8 saluran 10	
14.86°C	42.99°C

Prediksi nilai temperatur sekitar objek panasbumi dilakukan dengan merata-ratakan nilai piksel sekitar objek panasbumi berdasarkan objek yang ada pada piksel tersebut. Untuk mengetahui objek yang ada pada piksel dibantu dengan menggunakan klasifikasi multispektral tiap-tiap citra. Untuk melihat akurasi yang diperoleh dari masing-masing saluran citra termal dalam

merepresentasikan nilai temperatur lingkungan objek panasbumi dilakukan perhitungan RMSE yang menghasilkan saluran 11 pada Landsat 8 yang lebih baik untuk merepresentasikan temperatur. Masing-masing nilai SE dapat dilihat sebagai berikut.

1. Saluran 6 pada Landsat 5 : 5,4
2. Saluran 6 pada Landsat 7 : 14,8
3. Metode SWA pada Landsat 8 : 6,5
4. Saluran 10 pada Landsat 8 : 4,8
5. Saluran 11 pada Landsat 8 : 3,9

Analisis korelasi dan regresi dilakukan untuk membantu melihat korelasi antara nilai di lapangan dengan nilai piksel. Data dapat dikatakan berkorelasi apabila pada hasil regresi memiliki nilai r sebesar $>0,5$. Masing-masing grafik regresi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Grafik Regresi Nilai Lapangan dan Piksel pada masing-masing citra

Nilai determinasi (R^2) menunjukkan pengaruh variabel independen dengan variabel dependen. Sebagai contoh nilai determinasi yang dihasilkan pada metode SWA sebesar 0,73, hal ini berarti suhu lapangan berpengaruh sebesar 73% terhadap nilai piksel citra, sementara 27% dipengaruhi oleh variabel lain. Saluran pada Landsat 8 dapat memiliki nilai korelasi yang kuat tinggi di antara saluran lain pada dasarnya karena pada dasarnya saluran termal pada Citra tersebut merupakan saluran pengembangan dari Landsat 5 dan Landsat 7. Menurut USGS (2015), saluran 10 dan 11 Landsat 8 memiliki kesalahan yang berupa penyimpangan cahaya (*stray light*) yang mempengaruhi hasil pemrosesan citra. Akan tetapi, nilai kesalahan pada saluran 11 lebih tinggi dari saluran 10. Hal tersebut dapat mempengaruhi hasil korelasi yang dihasilkan saluran 11 lebih kecil dari saluran 10.

Nilai akurasi yang dihasilkan pada uji regresi ini dapat dilihat dengan cara menghitung *root mean square error* (RMSE). Nilai akurasi yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 2. Nilai eror yang dihasilkan pada masing-masing model dikatakan cukup tinggi. Seperti contohnya nilai RMSE yang dihasilkan oleh metode SWA Landsat 8 sebesar 32 yang dapat dikatakan bahwa nilai model yang dihasilkan

memiliki perbedaan sebesar $\pm 32^{\circ}\text{C}$ /piksel. Nilai error ini dapat menghasilkan nilai suhu yang lebih tinggi atau lebih rendah sebesar SE dari nilai lapangan. Nilai error yang tinggi tersebut dapat diakibatkan karena nilai suhu permukaan dan nilai piksel yang dihasilkan oleh citra tidak ideal untuk dilakukan uji regresi. Hal tersebut karena nilai yang direkam oleh citra satelit saluran termal adalah pancaran dari energi radiasi dari objek yang ada di permukaan bumi sementara nilai suhu objek panasbumi diambil langsung dari objek. Selain itu, tanggal perekaman yang dilakukan jauh dari tanggal pengukuran lapangan juga mempengaruhi nilai akurasi yang didapat, terlebih pada nilai error yang sangat tinggi pada Landsat 7 yaitu yang direkam pada tahun 2001, selain itu nilai r yang diperoleh dari regresi yang sangat rendah dan tidak menunjukkan adanya korelasi.

Tabel 2. Akurasi model masing-masing Citra

Citra	RMSE
Landsat 5	47
Landsat 7	593
Landsat 8 SWA	32
Landsat 8 saluran 10	32
Landsat 8 saluran 11	32

Penentuan nilai ambang dalam penelitian ini dilakukan untuk melihat pada rentang berapa nilai suhu objek panasbumi yang muncul. Nilai ambang yang dihasilkan oleh nilai piksel suhu permukaan dan nilai piksel model dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Ambang Kemunculan Objek Panasbumi pada Citra Suhu Permukaan dan Citra Hasil Model Regresi

Saluran	Nilai Ambang ($^{\circ}\text{C}$)	
	Berdasarkan Nilai Suhu Permukaan	Berdasarkan Model Regresi
Landsat 5	24-32	46-74
Landsat 7	30-35	34-35; 96-97; 158-159; 219-220; 280-281; 463-464
SWA	27-35	51-71
Saluran 10	28-36	51-71
Saluran 11	24-31	49-73

Nilai ambang yang dihasilkan model pada saluran termal Landsat 7 bukan merupakan nilai *range* sebagaimana saluran lainnya karena hasil regresi yang sangat tidak logis yang dihasilkan oleh model tersebut. Akan tetapi, nilai-nilai tersebut merupakan nilai suhu yang muncul pada model dengan piksel yang memiliki kenampakan objek panasbumi dengan mengabaikan nilai suhu yang menyentuh nilai minus. Nilai ambang suhu

tersebut dianggap merupakan nilai suhu yang dapat merepresentasikan objek panasbumi.

Akurasi yang dihasilkan berdasarkan nilai piksel asli suhu permukaan didapatkan bahwa akurasi pada saluran termal Landsat 5 sebesar 42%, Landsat 7 sebesar 50%, metode SWA Landsat 8 sebesar 62%, saluran 10 Landsat 8 sebesar 65%, dan saluran 11 Landsat 8 sebesar 58%. Sementara berdasarkan model regresi didapatkan akurasi pada Landsat 5 sebesar 54%, Landsat 7 sebesar 50%, dan metode SWA, saluran 10, dan saluran 11 Landsat 8 masing-masing memiliki akurasi sebesar 54%.

Selain nilai suhu objek panasbumi, terdapat indikator lain yang memengaruhi nilai piksel objek panasbumi pada citra berupa nilai suhu lingkungan sekitar dan proporsi luas objek panasbumi dalam satu piksel citra. Nilai suhu lingkungan atau objek lain yang ada di sekitar kawah bisa dikatakan mempengaruhi nilai piksel karena nilai satu piksel yang direpresentasikan oleh citra merupakan nilai campuran dari beberapa objek yang ada di dalamnya. Untuk melihat pengaruh tersebut, dilakukan analisis korelasi dengan menggunakan metode regresi linier berganda.

Hasil dari uji regresi linier berganda menunjukkan bahwa besarnya nilai suhu lingkungan sekitar mempengaruhi nilai yang direpresentasikan oleh satu piksel. Dapat dilihat pada tabel 4. bahwa nilai r yang dihasilkan oleh regresi ini memperlihatkan adanya korelasi yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum terdapat korelasi antara nilai yang dihasilkan oleh piksel dengan suhu objek lain yang ada di sekitar objek panasbumi. Satu piksel yang ada pada citra tentunya terdiri dari berbagai objek yang ada di permukaan bumi. Hal ini tentu saja mempengaruhi nilai suhu yang terakumulasi dalam satu piksel sehingga logis jika dikatakan nilai objek lain yang ada di sekitar objek panasbumi mempengaruhi nilai suhu dalam satu piksel.

Tabel 4. Hasil perhitungan uji regresi linier berganda pada tiap citra

Citra	r	R^2	SE
Landsat 5	0,51	0,26	1,27
Landsat 7	0,68	0,46	1,50
Landsat 8 SWA	0,65	0,43	1,47
Landsat 8 saluran 10	0,65	0,44	1,43
Landsat 8 saluran 11	0,60	0,37	1,40

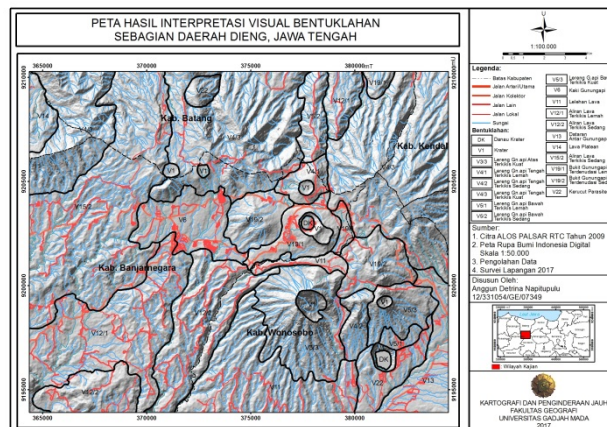
Selain itu ukuran luas objek panasbumi yang dapat diukur di lapangan dalam satu piksel. Hasil analisis antara proporsi luas objek panasbumi dalam satu piksel dengan suhu objek panasbumi di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai yang dihasilkan menunjukkan korelasi yang kuat yang ditandai dengan nilai r sebesar 0,76. Dapat diartikan bahwa luas objek panasbumi dalam satu piksel memengaruhi nilai piksel yang dihasilkan oleh masing-masing saluran.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Regresi antara Proporsi Luas dengan Suhu Objek Panasbumi

Citra	r	R^2	SE
Landsat 5	0,76	0,59	0,11
Landsat 7	0,76	0,59	0,46
Landsat 8	0,76	0,59	0,16

Cuaca maupun iklim saat perekaman merupakan indikator pengaruh yang penting. Perbedaan waktu perekaman citra yang digunakan dalam penelitian ini tentu saja berpengaruh terhadap iklim dan memengaruhi nilai suhu permukaan yang direkam oleh citra. Kondisi cuaca yang sangat dinamis dapat memengaruhi nilai suhu permukaan yang direkam oleh citra satelit. Sehingga dilihat lagi berdasarkan cuaca yang terjadi saat perekaman berlangsung. Cuaca pada bulan tersebut di tiap tahunnya pasti sangat berbeda. Hal ini berpengaruh terhadap nilai suhu permukaan pada masing-masing piksel yang dihasilkan oleh masing-masing saluran. Waktu perekaman yang juga dapat berbeda dapat memengaruhi nilai-nilai suhu permukaan yang dihasilkan oleh tiap piksel. Dalam penelitian ini, hal-hal tersebut tidak dikontrol karena keterbatasan ketersediaan data yang digunakan. Di mana Landsat 5 berhenti beroperasi pada tahun 2011 dan Landsat 7 yang mengalami kerusakan. Sehingga hal tersebut menjadi keterbatasan dalam penelitian ini.

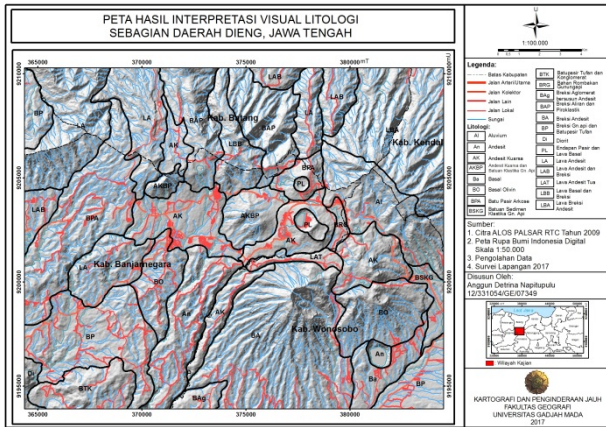
Bentuklahan pada penelitian ini dibantu dengan menggunakan Citra ALOS PALSAR RTC. Pada dasarnya objek panasbumi berarosiasi pada bentuklahan asal vulkanik, maka pada citra ini dibagi lagi menjadi subbentuklahan. Subbentuklahan daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Subbentuklahan Daerah Penelitian

Batuan yang ada di bentuklahan tersebut juga sudah tidak resisten. Faktor umur dan batuan yang tidak resisten tersebut dapat mempengaruhi terjadinya proses panasbumi yang ada di sekitar daerah tersebut. Kemunculan objek panasbumi yang muncul pada subbentuklahan yang telah disebutkan sebelumnya dibuktikan dengan melihat distribusi sampel uji untuk melihat apakah sampel uji panasbumi berada pada bentuklahan yang sama dengan sampel objek panasbumi yang juga ditambah dengan asosiasi sumur-sumur pembangkit listrik tenaga panasbumi dengan jenis subbentuklahan yang ada di wilayah kajian. Terdapat lima lokasi sumur panasbumi, dimana kelima sumur tersebut berada pada bentuklahan bukit gunungapi yang terdenudasi. Dari distribusi sampel uji akurasi dan dihasilkan bahwa sampel uji akurasi berada pada lereng gunungapi tengah dan bukit gunungapi terdenudasi. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa objek panasbumi akan muncul pada subbentuklahan yang berupa lereng gunungapi tengah dan bukit gunungapi terdenudasi.

Batuan yang menyusun bentuklahan vulkanik pada dasarnya adalah batuan beku. Namun, tidak semua batuan di daerah ini terdiri dari batuan beku. Terdapat beberapa lokasi yang terdiri dari batuan sedimen. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengangkutan yang disebabkan oleh angin, air, longsor, atau gerakan tanah lainnya. Batuan sedimen yang ada di daerah ini juga ada yang telah bercampur dengan material vulkanik. Batuan tersebut adalah batuan sedimen klastika gunungapi. Jenis-jenis batuan pada daerah ini dapat dilihat pada tabel Hasil Interpretasi Litologi menggunakan Citra ALOS PALSAR RTC dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Peta Kelas Litologi dan Struktur Geologi

Banyaknya batuan basalt dan andesit yang ditemukan di daerah ini dapat diartikan bahwa lava yang mengalir ketika gunungapi meletus memiliki temperatur yang tinggi dan dapat mengalir cukup jauh dari kawah gunungapi. Titik sampel objek panasbumi secara litologi terdapat pada batu pasir arkose, andesit kuarsa, breksi aliran piroklastik, dan batuan rombakan gunungapi.

Sama halnya dengan bentuklahan, akurasi objek panasbumi yang muncul pada jenis batuan yang telah disebutkan sebelumnya juga akan diuji. Sampel uji yang digunakan sama dengan sampel uji yang digunakan dalam akurasi bentuklahan dan ditambah dengan sumur panasbumi yang ada di lokasi kajian. Sampel panasbumi tersebut secara umum juga berada pada batu pasir arkose, andesit kuarsa, breksi aliran piroklastik, dan batuan rombakan gunungapi. Sehingga dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa panasbumi akan berasosiasi pada batuan berupa batu pasir arkose, andesit kuarsa, breksi aliran piroklastik, dan batuan rombakan gunungapi.

Penggabungan kondisi fisik terhadap identifikasi awal lokasi kemunculan panasbumi yang telah dilakukan pada saluran termal selanjutnya dilakukan. Hal ini agar dapat memberikan gambaran yang lebih spesifik terhadap lokasi kemunculan panasbumi. Penggabungan ini dilakukan dengan melakukan tumpang susun (overlay) terhadap informasi yang didapat dari saluran termal dan bentuklahan dan litologi yang berasosiasi dengan panasbumi tersebut. Penggabungan informasi tersebut dapat dilihat pada lembar lampiran. Penggabungan dilakukan pada saluran termal yang memiliki nilai piksel asli suhu permukaan dan juga terhadap model nilai suhu permukaan.

Objek panasbumi akan muncul pada bentuklahan dan litologi yang saling bertumpang susun. Tumpang susun yang dilakukan terhadap penggabungan tersebut dengan melihat terlebih dahulu bentuklahan yang berasosiasi pada objek panasbumi yaitu lereng gunungapi tengah dan bukit terdenudasi. Setelah dilihat bentuklahan tersebut, maka dimasukkan informasi batuan berupa batupasir arkose, andesit kuarsa, breksi aliran piroklastik, dan batuan rombakan gunungapi. Di mana bentuklahan, jenis batuan, dan ketersediaan objek panasbumi melalui citra saluran termal yang saling bertindihan yang mengindikasikan adanya kemunculan awal lokasi pansbumi.

Kondisi fisik berupa interpretasi terhadap bentuklahan dan litologi yang dilakukan pada penelitian ini masih belum cukup. Diperlukan adanya informasi mengenai struktur geologi yang dapat memperlihatkan rekahan-rekahan yang ada pada sekitar kemunculan objek panasbumi. Rekahan ini menjadi hal yang penting karena magma dari dalam bumi pada dasarnya akan keluar pada permukaan yang memiliki rekahan sehingga nantinya magma tersebut akan muncul di permukaan bumi menjadi objek panasbumi itu sendiri. Hal ini berkaitan juga dengan kondisi batuan yang permeable atau tidak, yang mana batuan permeable akan mudah untuk ditembus. Akan tetapi, dalam penelitian ini, keterkaitannya terhadap struktur geologi belum dilakukan, sehingga hal ini menjadi penting untuk dijadikan catatan apabila ingin dilakukan penelitian selanjutnya terhadap panasbumi.

KESIMPULAN

1. Prediksi nilai temperatur yang dilakukan di masing-masing saluran termal pada citra Landsat yang digunakan dan diuji dengan menggunakan metode root mean square error (RMSE) memperlihatkan bahwa saluran 11 pada Landsat 8 merupakan saluran yang lebih baik dari saluran lainnya dalam memprediksi nilai temperatur sekitar objek panasbumi. Nilai SE sebesar 3,9 yang dihasilkan dapat diartikan bahwa nilai suhu pada piksel citra dapat bergeser lebih besar atau lebih kecil sebesar 3,9°C.
2. Kajian terhadap akurasi citra termal dalam identifikasi awal lokasi panasbumi pada penelitian ini dilakukan pada nilai suhu permukaan lokasi kajian dan model regresi.

Berdasarkan nilai piksel asli suhu permukaan didapatkan bahwa akurasi pada saluran termal Landsat 5 sebesar 42%, Landsat 7 sebesar 50%, metode SWA Landsat 8 sebesar 62%, saluran 10 Landsat 8 sebesar 65%, dan saluran 11 Landsat 8 sebesar 58%. Sementara berdasarkan model regresi didapatkan akurasi pada Landsat 5 sebesar 54%, Landsat 7 sebesar 50%, dan metode SWA, saluran 10, dan saluran 11 Landsat 8 masing-masing memiliki akurasi sebesar 54%. Dari akurasi yang didapat tersebut juga dikaitkan dengan kondisi fisik permukaan di mana objek panasbumi akan muncul pada bentuklahan lereng tengah gunungapi dan bukit gunungapi terdenudasi dengan jenis batuan yang berupa batupasir arkose, andesit kuarsa, breksi aliran piroklastik, dan batuan rombakan gunungapi.

DAFTAR PUSTAKA

- Marilang. (2011). Pengelolaan Sumber daya Alam Tambang. *Jurnal Al-Risalah*, 11(1), hal. 1 – 12.
- Prasasti *et al.* (2012). Kajian Pemanfaatan Data ALOS PALSAR dalam Pemetaan Kelembaban Tanah. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 9(2), hal. 102 – 113.
- Rozenstein *et al.* (2014). Derivation of Lands Surface Temperature for Landsat 8 TIRS Using a Split Window Algorithm. *Sensors 2014*, 14, hal. 5768 – 5780.
- Rybach, L dan L. J. P. Muffler. (1981). *Geothermal Systems: Principles and Case Histories*. Amerika Serikat: John Willey and Sons Ltd.
- Sukhyar *et al.* (2014). *Potensi dan Pengembangan Sumber Daya Panasbumi Indonesia*. Bandung: Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- USGS. (2015). *Landsat 8 Data Users Handbook*. Amerika Serikat: Department of The Interior U.S. Geological Survey.

LAMPIRAN

