

ANALISIS ANOMALI LAND SURFACE TEMPERATURE MENGGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT 8 UNTUK IDENTIFIKASI PROSPEK PANAS BUMI GUNUNG SIRUNG DI KABUPATEN ALOR, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

ANALYSIS OF ANOMALY LAND SURFACE TEMPERATURE USING LANDSAT 8 SATELLITE IMAGERY TO IDENTIFY GEOTHERMAL PROSPECT OF MOUNT SIRUNG IN ALOR REGENCY, EAST NUSA TENGGARA PROVINCE

Annisha Bunga Fathya¹, Husin Setia Nugraha², Alvira Gusti Ranti¹, dan Rina Wahyuningsih²

¹Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung

Annisha.119230058@student.itera.ac.id

ABSTRAK

Analisis anomali tinggi *Land Surface Temperature (LST)* dari citra Landsat 8 merupakan metode penginderaan jauh untuk mendeteksi keberadaan prospek panas bumi. Analisis ini dilakukan melalui indikasi anomali temperatur di permukaan. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya indikasi prospek panas bumi Gunung Sirung di Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur melalui analisis anomali tinggi *LST* yang berguna untuk menentukan area yang lebih spesifik dari lokasi rencana survei lapangan. Metode penelitian yang digunakan adalah *LST* dengan algoritma *single-channel* menggunakan citra Landsat 8 dan penentuan indikasi suhu tinggi berdasarkan anomali *LST* dengan klasifikasi *natural breaks*, *persentil*, dan *classical statistics*. *Thermal Infrared Sensor (TIRS) Band* citra Landsat 8 dapat menjadi alternatif yang murah dan cepat untuk analisis estimasi suhu permukaan tanah dengan metode penentuan anomali *LST* yang berguna untuk menentukan batas area indikasi prospek panas bumi sebelum dilakukan survei lapangan. Hal ini dibuktikan dengan kesesuaian antara area anomali tinggi *LST* dengan area prospek panas bumi hasil survei lapangan. Metode klasifikasi untuk menentukan nilai anomali dengan pendekatan *natural break* dan *persentil* lebih baik dari pendekatan statistik klasik (rata-rata + 2 deviasi standar) karena pendekatan *natural break* dan *persentil* yang lebih *robust* terhadap bentuk distribusi data sehingga area anomali tinggi yang dihasilkan lebih detail dan spesifik.

Kata kunci: Algoritma *Single-Channel*, Penginderaan Jauh, Pulau Pantar, *Thermal Infrared Sensor (TIRS) Band*, Temperatur Permukaan Tanah

ABSTRACT

High anomaly analysis of Land Surface Temperature (LST) on Landsat 8 imagery is a remote sensing method to detect the presence of geothermal prospects. This analysis is carried out through the presence of ground surface temperature anomalies. This study aims to identify the indication of Mount Sirung geothermal prospect in Alor Regency, East Nusa Tenggara Province through high LST anomaly analysis which is useful for determining more specific areas for field survey locations. The research method used is LST with a single-channel algorithm using Landsat 8 imagery and determination of high temperature indications based on LST anomalies with natural breaks classification, percentiles, and classical statistics. The Thermal Infrared Sensor (TIRS) band of Landsat 8 imagery could be a cheap and fast alternative for estimating land surface temperature analysis using the LST anomaly determination method which is useful for determining the boundaries of geothermal prospect indication areas prior to field surveys. This is evidenced by the suitability between the LST high anomaly area and the geothermal prospect area resulting from a field survey. The classification

method for determining anomaly values using the natural break and percentile approaches is better than the Classic Statistics approach (mean + 2 Standard Deviation) because the natural breaks and percentile approaches are more robust to the shape of the data distribution, therefore the resulting high anomaly areas becomes detailed and specific.

Keywords: Land Surface Temperature, Pantar Island, Remote Sensing, Single-Channel Algorithm, Thermal Infrared Sensor (TIRS) Band

PENDAHULUAN

Penginderaan jauh dalam bidang panas bumi digunakan baik dengan sistem aktif maupun sistem pasif. Penggunaan ini antara lain untuk mendeteksi anomali suhu permukaan tanah, menentukan mineral alterasi hidrotermal, dan mendeteksi keberadaan prospek panas bumi, serta manfaat lainnya Identifikasi prospek panas bumi ini melalui indikasi keberadaan mineral berubah, anomali suhu dan *heat-flux*, serta anomali kenampakan vegetasi dan perubahan muka bumi di suatu wilayah, (Faridah, 2014; van der Meer *et al.*, 2014; Yalcin *et al.*, 2020).

Untuk mengidentifikasi keberadaan wilayah prospek panas bumi, beberapa metode dan citra peinginderaan jauh dapat diintegrasikan. Sebagai contoh, Nugraha *et al* (2021) dan Hakim *et al.* (2017) menggabungkan interpretasi dan analisis citra DEMNAS dengan metode *Fault and Fracture Density (FFD)* dan Landsat 8 dengan metode *Land Surface Temperature (LST)* untuk mengidentifikasi keberadaan wilayah prospek panas bumi di Provinsi Aceh.

Penentuan suhu permukaan tanah dengan metode *LST* banyak digunakan dalam mengidentifikasi adanya indikasi daerah prospek panas bumi. Hal ini karena adanya kemudahan perhitungan metodenya dan keakuratan hasilnya (Nugraha *et al.*, 2021). Menurut Zhang (2012) daerah yang memiliki potensi panas bumi ditandai dengan anomali tinggi suhu permukaan dan/atau perbedaan kerapatan vegetasi dengan daerah sekitarnya.

Analisis *LST* membantu perencanaan survey lapangan. Sebelum pelaksanaan survei lapangan, *LST* ini dapat membantu

mendelineasi adanya indikasi area prospek panas bumi dari sebaran titik atau area yang memiliki anomali suhu. Dari analisis *LST* akan didapatkan luasan area yang lebih spesifik untuk survey lapangan (Saragih *et al.*, 2015; Nugraha *et al.*, 2021).

Penggunaan nilai *LST* di bidang panas bumi telah dilakukan dengan beberapa metode dan citra satelit yang berbeda sebagaimana diurai Abubakar *et al.* (2017). Qin *et al.* (2011) mendeteksi anomali panas bumi dari *LST* dengan menggunakan algoritma *Single Channel* berdasarkan Landsat *Enhanced Thematic Mapper (ETM)+TIR*. Mia *et al.* (2012) mengestimasi *LST* dengan algoritma *monowindow* dan *Radiance Heat Flux (RHF)*. Algoritma ini dikuantifikasi menggunakan persamaan Stefan-Boltzmann untuk identifikasi daerah anomali termal. Tian *et al.* (2015) menggabungkan data Landsat 8 *OLI* dan *TIRS* dengan rentang spektral yang terlihat (0,435 μ m - 0,445 μ m) hingga TIR (10,60 μ m - 11,19 μ m), *Sea Surface Temperature 3D (SST)*, dan pengukuran *LST* untuk menilai potensi sumber daya panas bumi di Pulau Hokkaido, Jepang.

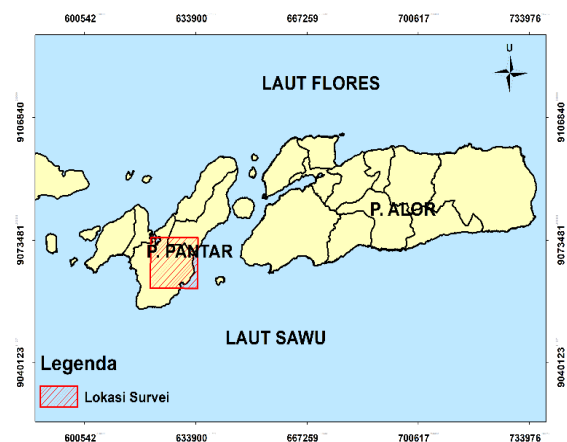
Beberapa algoritma estimasi yang dapat digunakan antara lain *Split-Window (SW)*, algoritma *Single Channel (SC)*, *Dual-Angle*, Sobrino, Mao, dan Submao. Algoritma tersebut diterapkan pada citra satelit dengan resolusi sedang seperti Landsat dan Aster yang memiliki band termal (Solanky *et al.*, 2018). Citra Landsat paling banyak digunakan karena ketersediaan datanya dan kemudahan akses mendapatkannya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan prospek panas bumi Gunung Sirung melalui analisis anomali tinggi *LST*. Analisis ini

menggunakan citra Landsat 8 yang memiliki band *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* untuk mendeteksi suhu permukaan bumi, sehingga didapatkan area spesifik untuk pelaksanaan survei

Area Penelitian

Area penelitian Gunung Sirung terletak di Pulau Pantar bagian selatan, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pulau Pantar merupakan gugusan pulau yang terletak di antara Pulau Lomblen dan Pulau Alor. Pulau ini dibatasi oleh Laut Flores dan Laut Banda di sebelah utara, Selat Pantar di bagian timur, Selat Ombai di bagian selatan, dan Selat Alor di bagian barat. Luasan area penelitian sekitar 13 x 15 km pada posisi geografis antara 124°05'56" – 124°12'50" BT dan 8°22'53" – 8°31'00" LS (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Indeks Area Penelitian

Prospek panas bumi Pantar di mana Gunung Sirung ada di dalamnya telah ditetapkan menjadi Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) pada tahun 2016. WKP ini mempunyai luas 5.567 hektar dengan estimasi cadangan mungkin sebesar 125 MW (Kementerian ESDM, 2016).

Puncak Gunung Api Sirung (862 mdpl) merupakan pusat kegiatan vulkanik yang terletak di dalam kaldera Sirung pada ketinggian bibir kaldera sekitar 380 mdpl. Manifestasi panas Gunung Sirung berupa

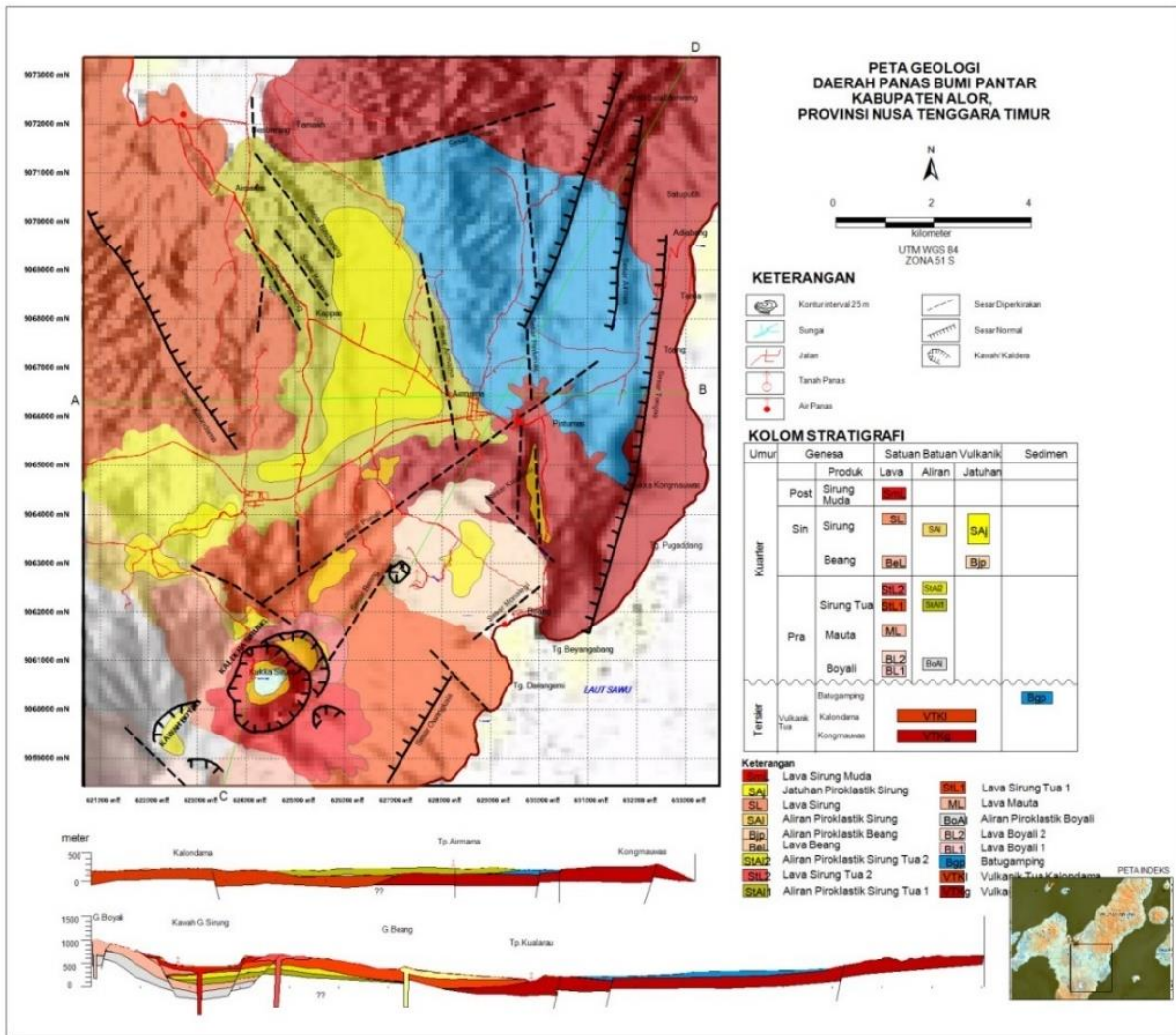
hembusan solfatara yang mempunyai tekanan cukup kuat dan air panas danau kawah yang sangat asam dengan pH 0,8 (Nurhadi & Kusnadi, 2015).

GEOLOGI

Jenis batuan di daerah panas bumi Pulau Pantar (Gambar 2) dikelompokkan menjadi tiga satuan batuan yaitu, batuan vulkanik Tersier, batuan vulkanik Kuartar dan endapan aluvial serta gamping terumbu. Batuan vulkanik Tersier berasal dari aliran lava andesit dan breksi vulkanik (aliran piroklastik). Menurut Kusumadinata (1991) dalam Nurhadi & Kusnadi (2015), Formasi Alor ini berumur Pliosen dan sumber erupsinya tidak dapat dikenali.

Batuan vulkanik Kuartar terdiri dari tujuh satuan. Satuan-satuan tersebut dipisahkan berdasarkan pusat erupsinya. Batuan vulkanik tersebut dari tua ke muda yaitu Batuan Vulkanik Wespila, Isiabang, Kongmouwas, Sirung Tua, Tomayang, Delaki dan batuan Vulkanik Sirung. Batuan-batuan tersebut umumnya terdiri dari aliran lava dengan komposisi andesit sampai basaltik, jatuhan atau aliran piroklastik dan endapan lahar. Endapan termuda adalah endapan alluvial (sungai dan pantai) serta endapan batugamping terumbu yang banyak dijumpai di sepanjang pantai (Nurhadi & Kusnadi, 2015).

Geomorfologi pada daerah penelitian dikelompokkan menjadi 7 (tujuh) satuan yaitu Satuan Geomorfologi Perbukitan Vulkanik Puncak Gn. Sirung Curam, Satuan Geomorfologi Perbukitan Vulkanik Tubuh Gn. Sirung Curam, Perbukitan Vulkanik Kaki Gn. Sirung Curam, Perbukitan Vulkanik Tubuh Gn. Beang Curam, Perbukitan Vulkanik Tua Curam, Satuan Geomorfologi Perbukitan Vulkanik Tua Bergelombang, dan Satuan Geomorfologi Perbukitan Sedimen Bergelombang (Nurhadi & Kusnadi, 2015).

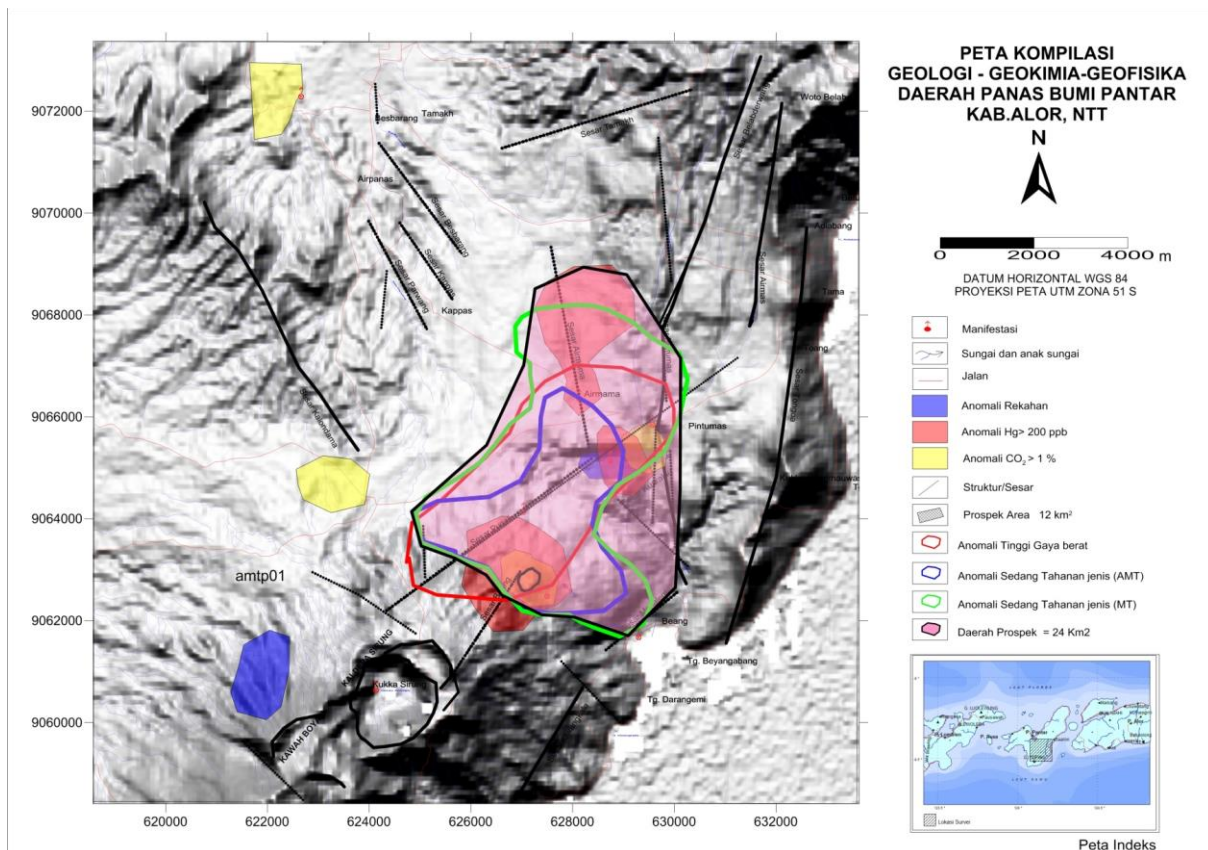


Gambar 2. Peta Geologi Daerah Panas Bumi Pantar (Nurhadi & Kusnadi, 2015)

Area Prospek Panas Bumi

Gambar 3 menunjukkan hasil integrasi data geologi, geokimia dan geofisika didapatkan luas prospek sebesar 24 km² (Nurhadi & Kusnadi, 2015). Dari data geologi, didapatkan struktur yang menjadi pembatas indikasi area prospek panas bumi. Untuk geokimia, nilai anomali dari Hg (area berwarna merah muda) dan CO₂ (area berwarna biru) menjadi salah satu

indikator area prospek. Sedangkan tiga jenis data geofisika menghasilkan tiga area anomali yaitu area prospek yang didapat dari data anomali gaya berat (garis berwarna merah), anomali tahanan jenis hasil AMT (garis berwarna biru) dan anomali sedang tahanan jenis dari MT digambarkan dengan garis berwarna hijau (Nurhadi & Kusnadi, 2015).



Gambar 3. Peta Kompilasi Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panas Bumi Pantar (Nurhadi & Kusnadi, 2015)

METODOLOGI

Metode pada penelitian ini dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu penyiapan citra dan penentuan *LST* termasuk area anomali tinggi *LST*. Penentuan *LST* ditentukan dengan menerapkan algoritma *single-channel* pada *band* termal citra Landsat 8. Setelah nilai *LST* ditentukan, selanjutnya adalah penentuan nilai anomali tinggi *LST* tersebut (Gambar 4).

Land Surface Temperature (LST) atau Nilai suhu permukaan tanah dikendalikan oleh keseimbangan energi permukaan, atmosfer, sifat termal dari permukaan, dan media bawah permukaan tanah (Faridah, 2014). *LST* dihasilkan dari pantulan objek yang terekam oleh citra satelit pada waktu tertentu (Murni *et al.*, 2021). Hasil *LST* bergantung pada kondisi tanah, seperti tutupan lahan, kondisi vegetasi, kelembaban tanah, dan lain-lain (Choi & Suh, 2020).

Penyiapan Citra Landsat 8

Citra landsat yang dipergunakan dalam penelitian ini berupa citra yang diunduh pada laman *Earth Explorer* dari USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Berdasarkan metadata citra tersebut, citra ini diakuisisi pada tanggal 23 April 2022 pada *path* 111 dan *row* 66 dengan azimuth dan ketinggian matahari 52.97043665° dan 55.17935388°. Waktu akuisisi citra pukul 01:52 siang hari. Citra ini memiliki persentase *cloud cover* sebesar 0,39 % dan *land cloud cover* 2.22% (USGS, 2022).

Satelit Landsat 8 memiliki Sensor *Onboard Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* dengan jumlah seluruh kanal sebanyak 11 buah. Diantara *band* tersebut, 9 *band* (*band* 1-9) berada pada *OLI*, sedangkan 2 *band* lainnya (*Band* 10 dan 11) termasuk *TIRS*. Sedangkan *Pixel size* pada citra Landsat 8 terbagi menjadi tiga yaitu *OLI/OLI-2*

dengan *Band* Multispektral (*Band* 1-7 dan *Band* 9) memiliki ukuran *pixel* sebesar 30 meter, *OLI/OLI-2* pankromatik (*Band* 8) *pixel size* sebesar 15-meter, dan *pixel size* dari *TIRS/TIRS-2* (*Band* 10 dan 11) yaitu 100-meter seperti tercantum pada Tabel 2 (NASA, 2013).

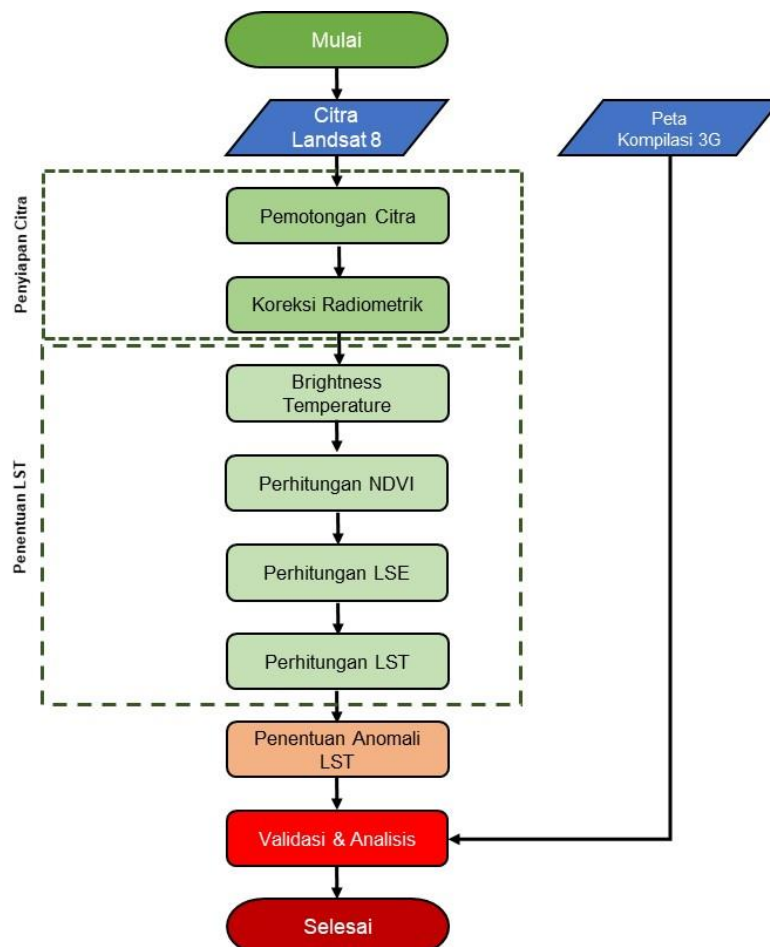
Pengolahan data citra berupa menghitung, menganalisis dan menampilkan hasil pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak *ArcGIS 10.8*. *ArcGIS* merupakan *software* berbasis *geographic information system (GIS)* yang dikembangkan oleh *ESRI (Environment Science & Research Institute)*. Untuk aplikasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu *ArcMAP* yang digunakan dalam pengolahan data *GIS*. *ArcMAP* memiliki kemampuan untuk visualisasi, *editing*, pembuatan peta, pengolahan data, perhitungan, *query*, analisis dan *customize* data menggunakan fitur *geoprocessing* ataupun pembuatan

berupa tampilan peta sebagai *output* (Gorr & Kurland, 2020).

Penentuan LST

Penentuan nilai *LST* mengikuti tahapan algoritma menurut Avdan dan Jovanovska (2016). Ada lima tahap yang harus dilalui untuk memetakan nilai *LST*. Kelima tahap tersebut terdiri dari perhitungan *Top of Atmospheric Spectral Radiance*, konversi pada *Radiance to At-Sensor Temperature*, perhitungan *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, Proporsi Vegetasi, *Land Surface Emissivity (LSE)* dan *LST*.

Namun, sebelum diterapkan algoritma *single channel*, terlebih dahulu dilakukan pengolahan persiapan citra Landsat 8. Proses yang dilakukan antara lain pemotongan citra sesuai dengan *area of interest* penelitian dan koreksi radiometrik.



Gambar 4. Alur Kerja Analisis *Land Surface Temperature*

Tabel 1. Karakteristik Citra Landsat 8

Band	Jenis Band	Panjang Gelombang	Resolusi
1	Coastal/ Aerosol	0.435 – 0.451 μm	30 m
2	Blue	0.452 – 0.512 μm	30 m
3	Green	0.533 – 0.590 μm	30 m
4	Red	0.636 – 0.673 μm	30 m
5	Near-Infrared	0.851 – 0.879 μm	30 m
6	SWIR-1	1.566 – 1.651 μm	30 m
7	SWIR-2	2.107 – 2.294 μm	30 m
8	Pankromatik	0.503 – 0.676 μm	15 m
9	Cirrus	1.363 – 1.384 μm	30 m
10	TIRS-1	10,60 – 11,19 μm	100 m
11	TIRS-2	11,50 -12,51 μm	100 m

Sumber: Karakteristik Citra Landsat 8 (LAPAN, 2020)

Penentuan Nilai LST

Analisis *LST* pada penelitian kali ini menggunakan algoritma *single channel* (*SC algorithm*) dengan *Atmospheric Functions* (*AFs*) sebagai konsepnya. Konsep *AFs* bergantung pada nilai transmisivitas, *upwelling*, dan *downwelling* radiasi atmosfer (Avdan & Jovanovska, 2016).

Metode *LST* dengan algoritma *single channel* diterapkan pada band *TIRS* citra Landsat 8 yaitu band 10 dengan melibatkan band *OLI* sebagai koreksinya. Untuk band *OLI* yang akan digunakan dalam *range spectral red* dan *near infrared*, yaitu *band 4* dan *band 5* (Avdan and Jovanovska, 2016).

Untuk penentuan *LST* menggunakan citra Landsat 8, band 10 dipilih dibandingkan band 11. Menurut Azhali & Jaelani (2020), band 11 sudah tidak efektif digunakan karena adanya *stray light* yang berdampak pada *band* lain, sehingga digunakan algoritma *SC* untuk mengkalibrasi sensor dari *band 11*.

Selain itu, penggunaan band 10 ini akan memiliki nilai hasil ekstraksi suhu permukaan yang lebih besar, dibandingkan band 11. Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang dari kedua band berbeda. Panjang gelombang kanal 10 lebih pendek dibandingkan panjang gelombang kanal 11, yaitu sebesar 10,60 - 11,19 μm maka radiasi yang terekam sensor menjadi lebih besar (Azhali & Jaelani, 2020).

Dalam analisis *LST* dengan algoritma *single channel*, setidaknya terdapat lima tahap pemrosesan. Kelima tahap tersebut terdiri atas perhitungan *Top of Atmospheric Spectral Radiance*, konversi pada *Radiance to At-Sensor Temperature*, kalkulasi *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*), Proporsi Vegetasi, menghitung *LSE* (*Land Surface Emissivity*), dan *LST* (Avdan and Jovanovska, 2016).

Perhitungan Top of Atmospheric Spectral Radiance

Tahap awal dari alur perhitungan untuk mendapatkan suhu permukaan adalah *Top of Atmospheric Spectral Radiance* (Koreksi Radiometrik). Untuk perhitungan tersebut yaitu menggunakan *single channel TIRS* citra Landsat 8 yaitu *band 10*. Tahap ini dilakukan pada data *OLI* untuk mengubah *Digital Number (DN)* yang terekam oleh sensor ke dalam spektral cahaya. Untuk pengolahan tahap ini, dimasukkan *band 10* ke dalam *software ArcGIS 10.8* dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada situs USGS, yaitu:

$$L\lambda = M_L \times Q_{cal} - A_L O_i \dots\dots\dots(1)$$

Dengan *L λ* merupakan spektral cahaya ($\text{W/m}^2\text{sr}\mu\text{m}$), *M_L* merupakan faktor skala pekalian radian, *Q_{cal}* adalah nilai piksel dalam *DN*, *A_L* merupakan *Radiance additive scaling factor for the band*, dan *O_i* adalah untuk *band 10*.

Konversi Radiance to At-Sensor Temperature

Setelah *Digital Number (DN)* dikonversi menjadi nilai *radiance*, nilai dari *band TIRS* dikonversi menjadi nilai *brightness temperature (BT)* menggunakan nilai konstanta termal yang terdapat dalam metadata citra Landsat 8 (Tabel 1) Sensor *TIR* pada Landsat 8 memiliki dua *band thermal* yaitu *band 10* dan *band 11* dengan panjang gelombang λ 10.9-12 μm . Namun dalam penentuan *LST*, *band 10* ($\lambda = 10.9 \mu\text{m}$) lebih sesuai digunakan, dibandingkan *band 11*, karena *band 11* memiliki ketidakpastian yang besar.

Tabel 2. Nilai Konstanta Pada Metadata

Konstanta Termal	
K ₁	1.321,08
K ₂	77.89
Faktor Rescalling Band 10	
M _L	0,000342
A _L	0,1
Koreksi Band 10	
O _i	0,29

Sumber: (Nugraha et al., 2021)

Kalkulasi *Brightness Temperature (BT)* pada *band TIRS* melalui Pendekatan Fungsi Radiasi *Plank* sebagai berikut:

$$BT = \frac{K_2}{\ln \left[\frac{K_1}{L\lambda} \right] + 1} - 273.1 \dots \dots \dots (2)$$

BT merupakan suhu kecerahan dalam derajat celcius. *K₁* dan *K₂* merupakan nilai konstanta konversi termal yang nilainya diperoleh dari metadata citra pada *file* dengan format *.mtl yang tercantum pada Tabel 1.

Perhitungan NDVI

Kalkulasi nilai *NDVI* dilakukan untuk melihat gambaran keberadaan vegetasi untuk penentuan suhu permukaan. Kalkulasi ini merupakan korelasi antara parameter fisik dengan suatu fisik tertentu dari tutupan vegetasi yang terdapat di suatu permukaan (Carlson and Ripley, 1997). Nilai indeks vegetasi dihitung dengan menggunakan *band visible (Band 4)* dan *near-infrared (Band 5)* dari data citra landsat 8 *OLI*. Dari nilai *NDVI* ini,

selanjutnya akan dihitung nilai proporsi vegetasi (*P_v*) dan menggunakan nilai proporsi vegetasi tersebut akan dihitung emisivitasnya. Kalkulasi *NDVI* dilakukan dengan menggunakan formula di bawah ini:

$$NDVI = \frac{NIR (Band 5) - R (Band 4)}{NIR (Band 5) + R (Band 4)} \dots \dots \dots (3)$$

Perhitungan nilai proporsi vegetasi (*P_v*) menggunakan formula berikut:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \dots \dots \dots (4)$$

NDVI_v adalah nilai *NDVI* untuk vegetasi atau nilai paling besar dari hasil *NDVI* dan *NDVI_s* adalah nilai *NDVI* min yang dipergunakan untuk tanah atau nilai paling kecil dari hasil *NDVI* (Muslim, 2016).

Perhitungan Land Surface Emissivity (LSE)

Perhitungan nilai *LSE* berkaitan dengan perubahan tutupan lahan, juga parameter utama dalam proses interaksi *surface-atmosphere* yang bertujuan untuk penurunan suhu permukaan tanah, dan bermanfaat untuk memperkirakan *surface energy* (Aris, 2019). Jika dikaitkan dengan nilai *LST*, nilai *LSE* menjadi faktor proporsional dari nilai *radiance* untuk memperkirakan nilai *radiance* dan untuk menentukan efisiensi nilai energi panas yang ditransmisikan ke atmosfer (Avdan & Jovanovska, 2016).

Formula untuk memperhitungkan nilai *LSE* menggunakan persamaan:

$$\varepsilon\lambda = \varepsilon v\lambda P_v + \varepsilon s\lambda(1 - P_v) + C\lambda \dots \dots \dots (5)$$

εv dan *εs* merupakan nilai emisivitas vegetasi dan emisivitas tanah. Untuk variable *C* merupakan gambaran kekasaran sebuah bidang dengan konstanta 0,005 (*C* dapat bernilai 0 jika bidang datar dan homogen).

Perhitungan LST

Setelah melakukan empat tahapan di atas, tahap terakhir adalah melakukan

perhitungan *LST*. Perhitungan *LST* dilakukan dengan menggunakan algoritma persamaan *single channel* dihitung dengan formula berikut:

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda BT}{\rho}\right) \ln \epsilon \lambda} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana *LST* dalam derajat Celcius (°C), *BT* adalah *Brightness Temperature*, λ merupakan panjang gelombang *radiance* (nilai $\lambda = 0,005$). Untuk nilai ρ sebesar $1,438 \times 10^{-2}$ MK yang didapatkan dari didapatkan dari persamaan berikut ini:

$$\rho = h \frac{c}{\sigma} \dots\dots\dots (7)$$

Penentuan Nilai Anomali Tinggi *LST*

Penentuan nilai anomali tinggi *LST* akan menggunakan tiga pendekatan klasifikasi data yaitu *natural breaks*, *persentil*, dan *classical statistics*. Sebelum penerapan penentuan nilai anomali, *exploratory data analysis (EDA)* diterapkan untuk melihat struktur data atau bentuk distribusi data. Hal ini dikarenakan pada metode *classical statistics*, data diasumsikan memiliki bentuk distribusi normal atau setidaknya mendekati simetris. Jadi jika bentuk histogram tidak berbentuk normal, maka diperlukan transformasi data (Reinmann *et al.*, 2008).

Penentuan batas kelas pada klasifikasi pendekatan *natural breaks* ialah mengelompokkan data-data yang memiliki nilai serupa menjadi satu grup dan memaksimalkan perbedaan antar kelas. Dalam *ArcGIS 10.8*, jumlah bisa ditentukan secara otomatis atau secara manual (Gorr & Kurland, 2020). Pada penelitian ini, jumlah kelas ditentukan secara manual yaitu sebelas kelas yang berasal dari

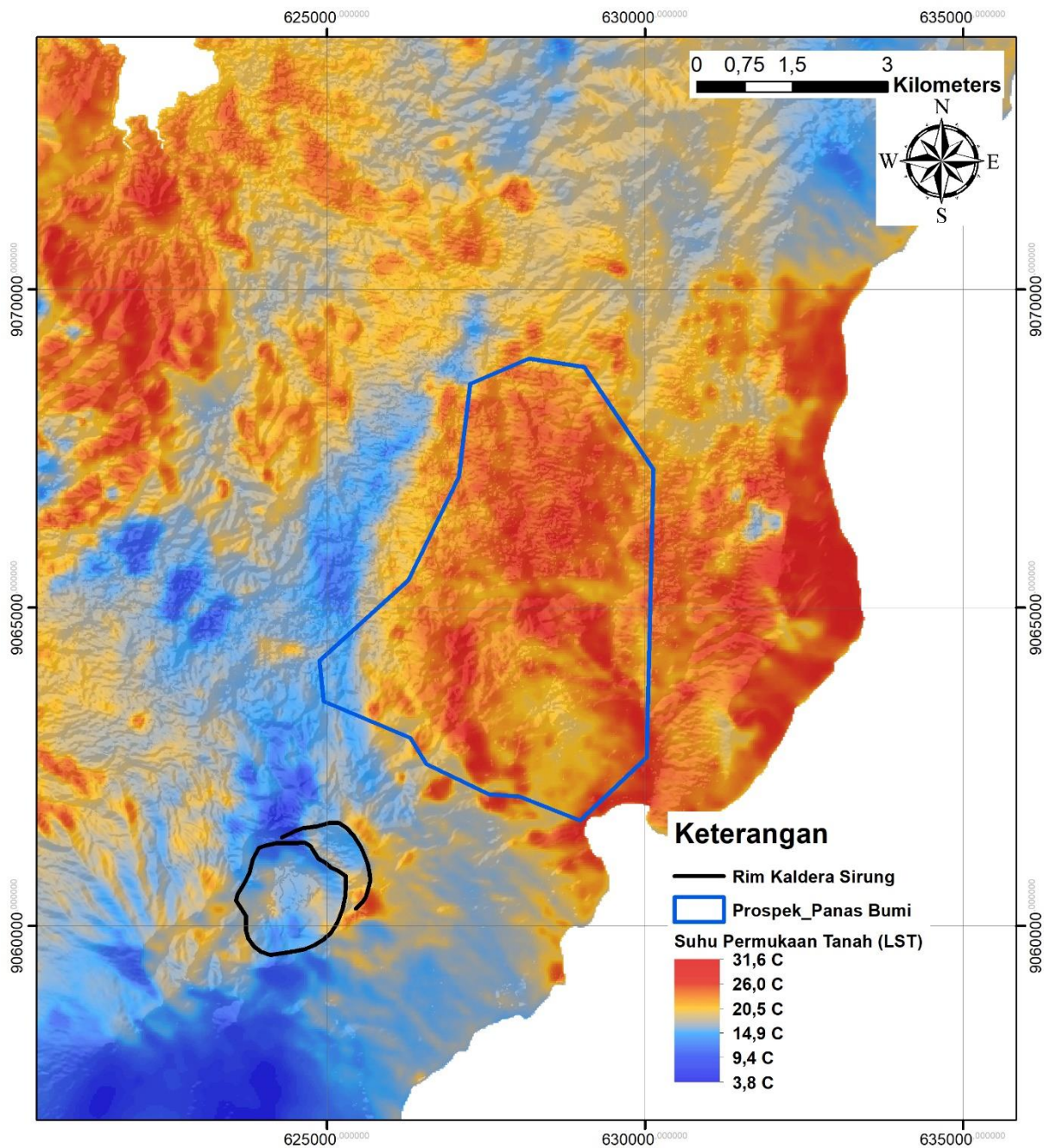
formula *sturgess* $1+3,3\log(n)$. Formula ini digunakan untuk menentukan jumlah kelas optimal dalam pembuatan histogram (Loftus, 2021). Kelas terakhir dianggap sebagai nilai anomali.

Klasifikasi pendekatan *persentil* merupakan pengelompokan data menjadi 100 kelas. Klasifikasi memiliki nilai interval yang sama setiap kelas. Interval tersebut merupakan pengurangan antara nilai maksimum dan minimum dibagi dengan 100 (Reinmann *et al.*, 2008). Nilai *threshold* untuk *persentil* adalah P90, jadi nilai diatas P90 diasumsikan sebagai nilai anomali tinggi.

Pendekatan *classical statistic* menggunakan nilai *mean* dan standar deviasi. *Threshold* yang digunakan adalah $Mean \pm 2 \times SD$. Jadi nilai yang melebihi nilai *threshold* dikelompokkan sebagai nilai anomali. Jika distribusi data bukan distribusi normal maka perlu dilakukan tranformasi data terlebih dahulu (Reinmann *et al.*, 2008). Pada penelitian ini, distribusi mendekati bentuk distribusi normal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan *LST* menggunakan citra Landsat 8 pada daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil *LST* pada daerah ini memiliki nilai maksimum sebesar 31,6°C dan nilai minimum 3,86°C, sehingga memiliki perbedaan interval suhu yang cukup lebar yaitu sebesar 27,74°C. Nilai minimum diperkirakan pada *pixel* yang tertutup awan. Secara umum, area yang memiliki suhu tinggi (didas 22°C) terdapat pada bagian utara - baratlaut dan tenggara - timur.



Gambar 5. Peta LST Menggunakan Algoritma *Single Channel* Pulau Pantar

Ketiga pendekatan dalam penentuan anomali, mampu mengidentifikasi tiga area yang memiliki nilai anomali suhu tinggi (Gambar 7). Ketiga area anomali tersebut ialah area bagian utara, tenggara dan timur dari area penelitian. Hasil ini memiliki kecenderungan yang sama dengan peta LST pada Gambar 5. Namun, peta anomali tinggi LST ini mampu membedakan area suhu tinggi di bagian tenggara – timur. Di

bagian ini terbagi menjadi menjadi dua area anomali tinggi yang berbeda yaitu anomali bagian tenggara dan anomali bagian timur. Selain itu, area yang memiliki suhu tinggi pada bagian utara - barat laut pada peta LST, hanya terdeteksi sebagai anomali tinggi bagian utara saja.

Daerah pertama anomali tinggi LST yang terletak di bagian utara merupakan daerah

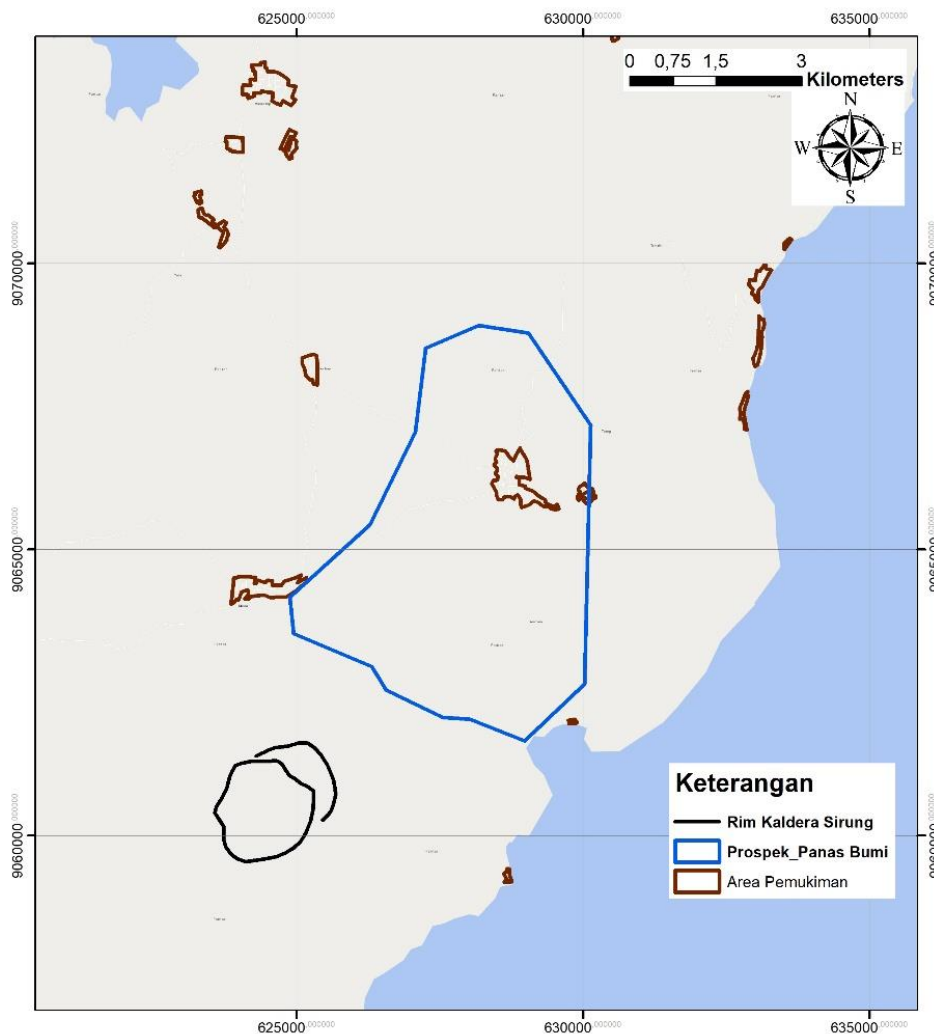
pemukiman (**Gambar 6**), sehingga memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan sekitarnya. Hal ini juga dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh Nugraha *et al* (2021), bahwa daerah pemukiman memiliki nilai anomali suhu tinggi. Hal ini dikarenakan adanya aktivitas manusia yang dinamakan *urban heat island*.

Daerah anomali kedua terletak di daerah timur daerah penelitian. Suhu tinggi di wilayah tersebut diperkirakan karena bentuk kelerengan terdiri dari lereng curam hingga sangat curam ($>45^\circ$) dan arah kemiringan lereng seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Lereng yang curam tersebut memiliki arah kemiringan lereng menghadap ke arah timur, sehingga akan terkena sinar matahari secara langsung lebih lama. Metadata citra menunjukkan

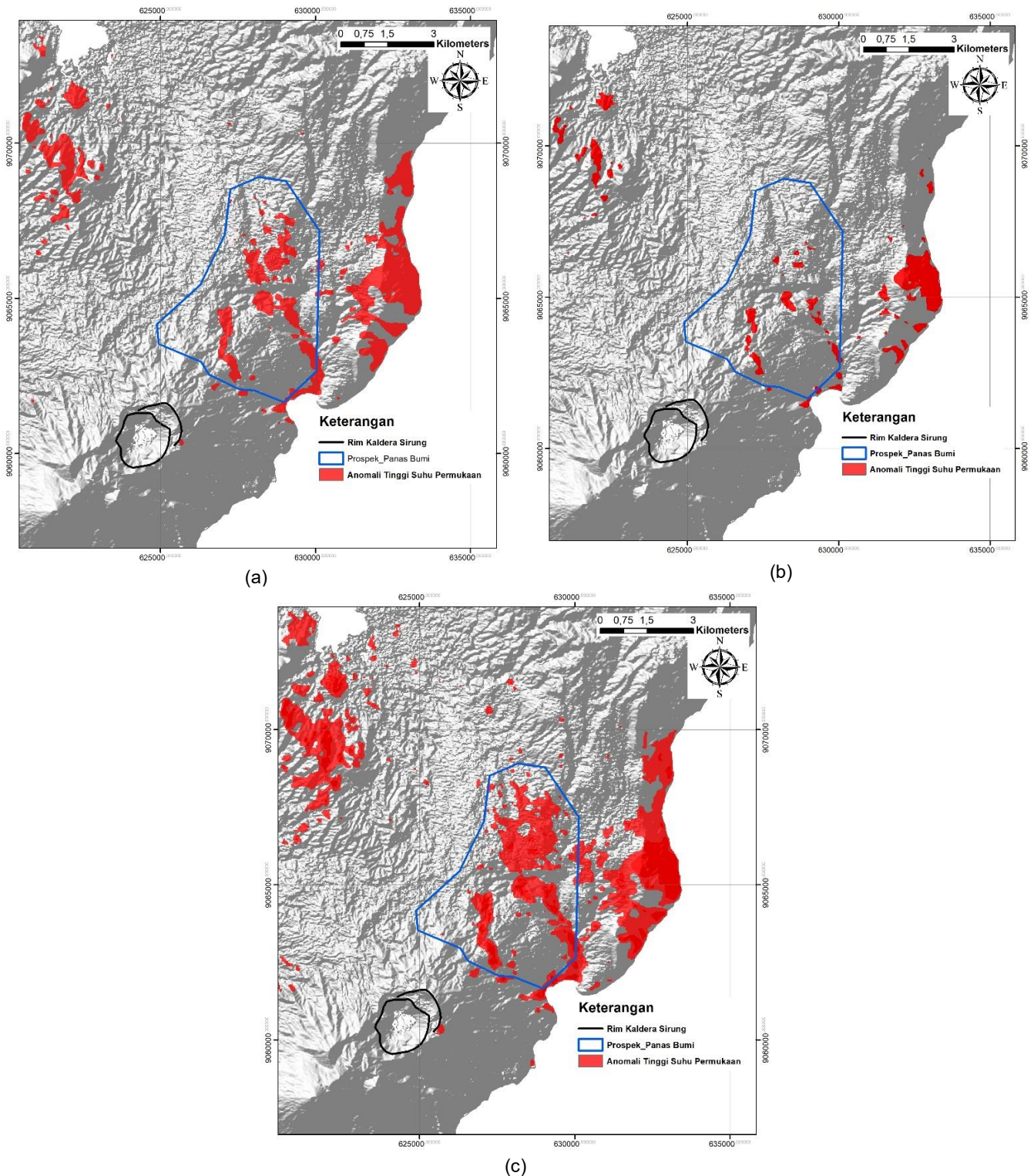
bahwa akuisisi dilakukan ketika matahari pada titik maksimal.

Daerah anomali ketiga berada di daerah tenggara daerah penelitian. Anomali ini merupakan daerah prospek panas bumi Pulau Pantar dengan validasi menggunakan Peta Kompilasi Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panas Bumi Pantar pada Gambar 3.

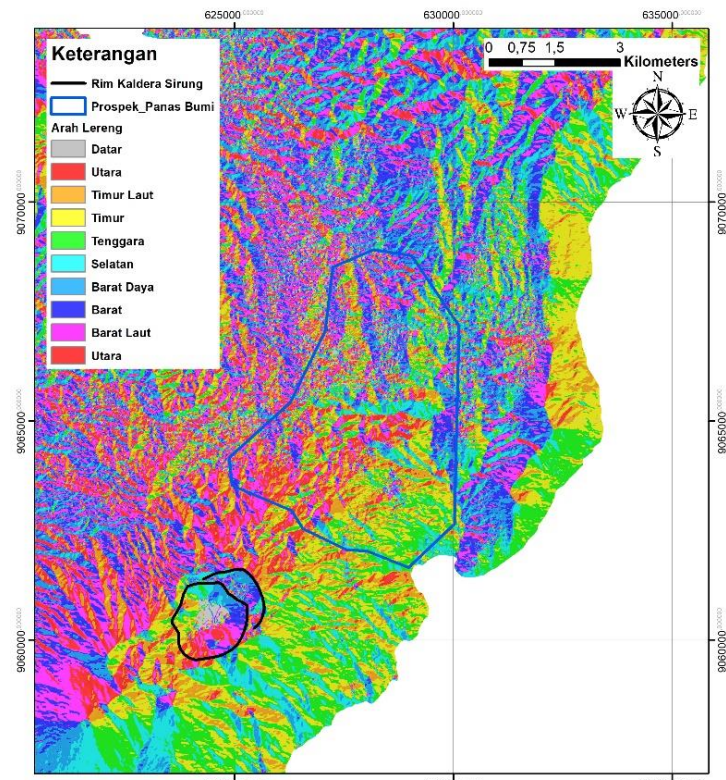
Kisaran nilai anomali tinggi *LST* pada bagian daerah anomali ketiga dengan menggunakan ketiga pendekatan menghasilkan nilai *threshold* yang berbeda. Untuk pendekatan *natural breaks* nilai *threshold* berada pada nilai $28,57^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk pendekatan *persentil* dan *classical statistics* adalah pada nilai $25,28^\circ\text{C}$ dan $22,74^\circ\text{C}$.



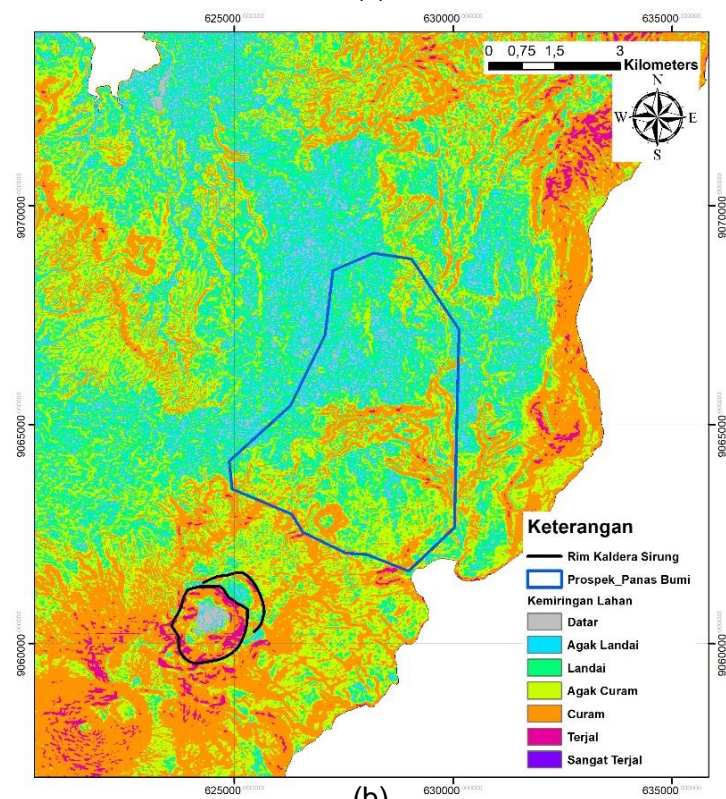
Gambar 6. Lokasi Kaldera Gunung Sirung, Prospek Panas Bumi dan Area Permukiman



Gambar 7. Peta Anomali Tinggi LST Pulau Pantar menggunakan berbagai pendekatan klasifikasi; (a) *Natural Breaks*; (b) *Persentil*; (c) *Statistik klasik*.

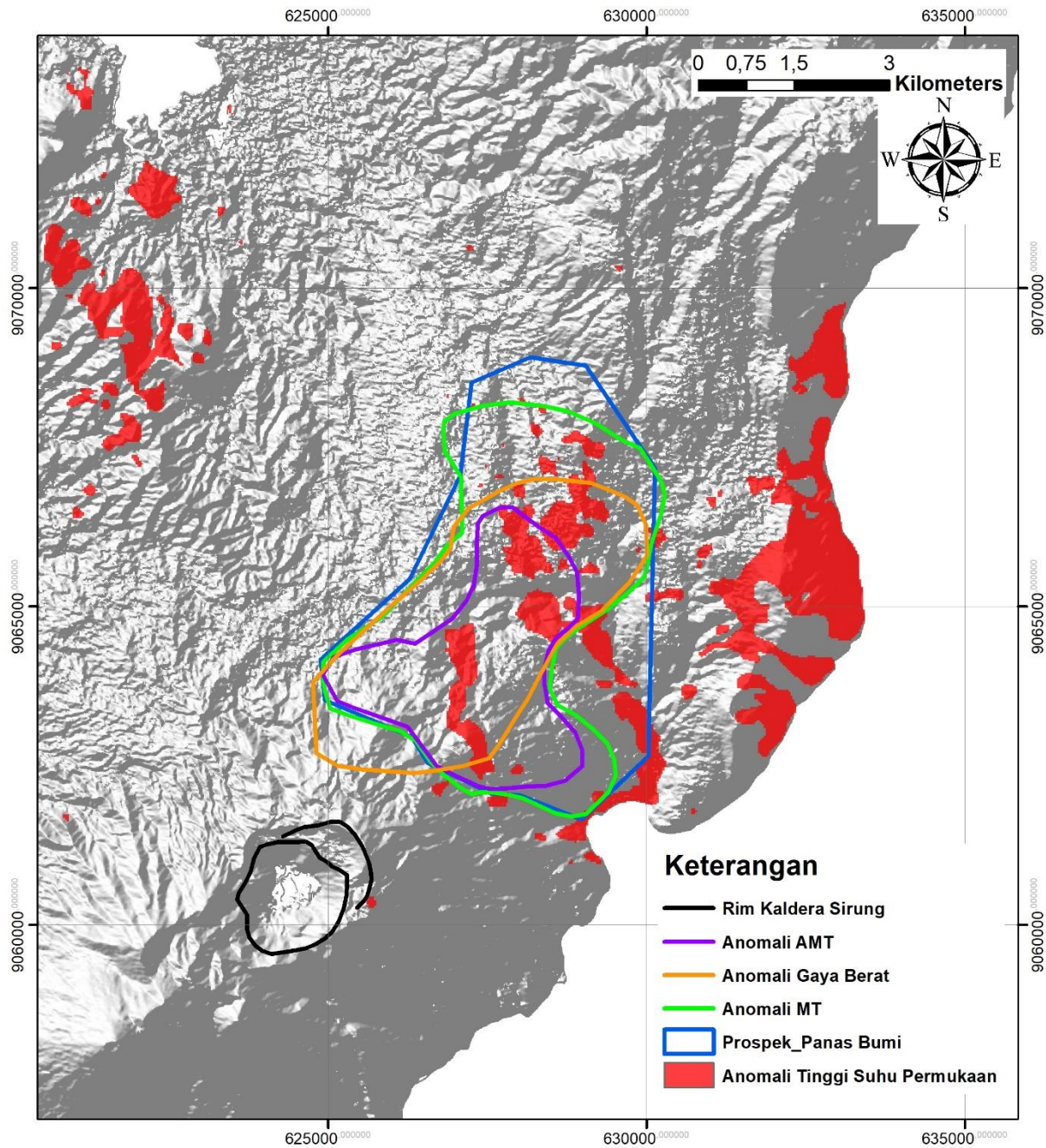


(a)



(b)

Gambar 8. Hasil Peta Morfologi Pulau Pantar; (a) Peta Arah Kemiringan Lereng; (b) Peta Kemiringan Lereng



Gambar 9. Peta Kompilasi Anomali *LST* dan Area Prospek Panas Bumi Pulau Pantar

Dari ketiga pendekatan yang digunakan dalam penentuan anomali tinggi *LST* ini, penerapan klasifikasi pendekatan *natural breaks* lebih baik dibandingkan pendekatan *persentil* dengan *threshold* > 90% dan statistik klasik. Hal ini ditunjukkan dengan titik-titik anomali tinggi yang lebih detil dan spesifik sesuai dengan tujuan penelitian ini. Peta hasil dari penerapan pendekatan *natural breaks* dan *persentil* dengan *threshold* > 90% memiliki kemiripan.

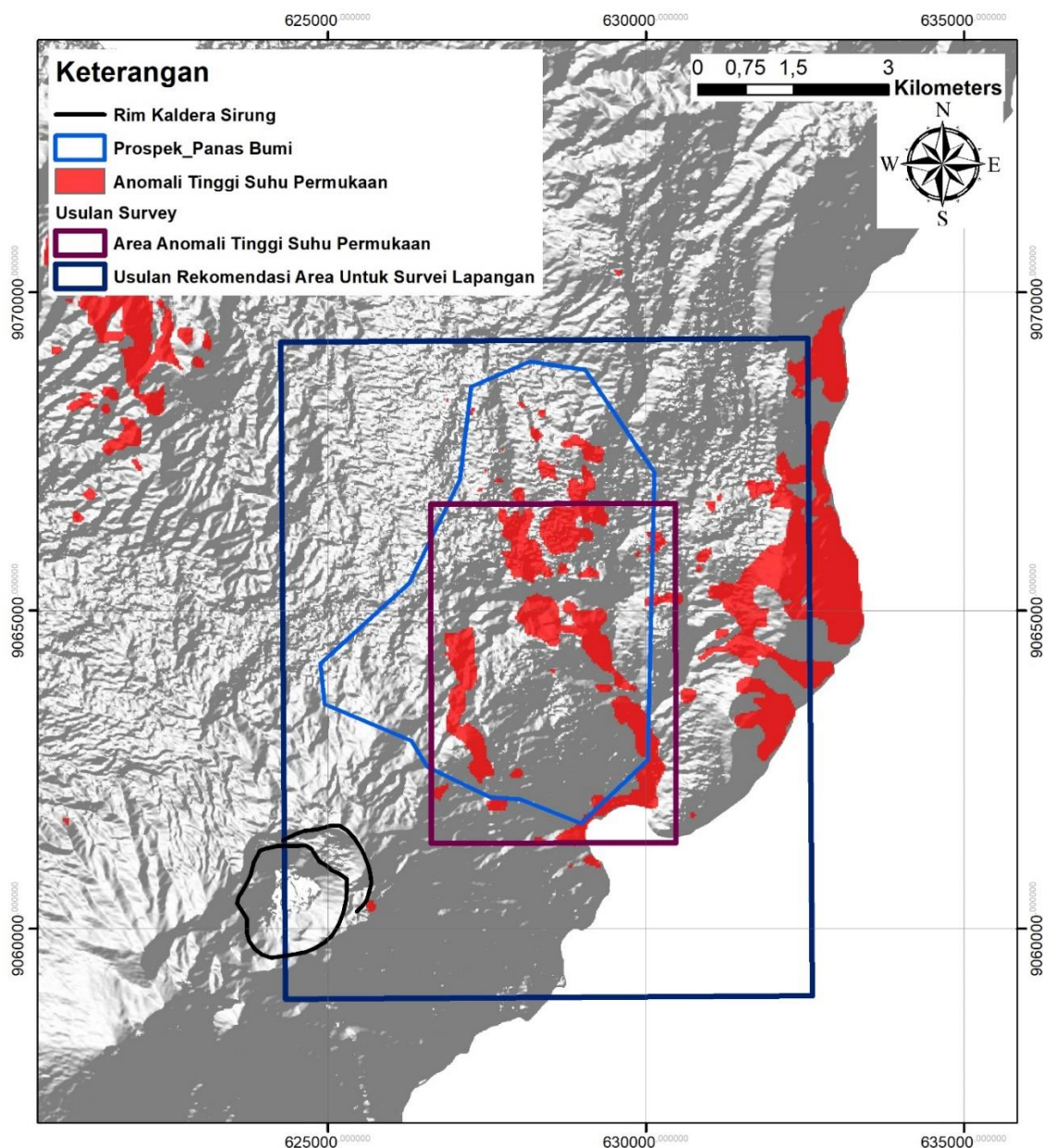
Meskipun, peta anomali *persentil* menunjukkan area lebih luas. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kedua pendekatan ini tidak terlalu dipengaruhi oleh bentuk distribusi data. Sedangkan pendekatan statistik klasik lebih sensitif terhadap bentuk distribusi data tersebut.

Gambar 9 menunjukkan bahwa area anomali tinggi *LST* (area berwarna merah) berada pada sebagian besar area prospek

panas bumi (garis berwarna biru). Berdasarkan luasnya, area anomali tinggi *LST overlap* dengan delineasi area prospek panas bumi hasil survei 3G yang telah dilakukan sebesar 55% atau $\pm 11 \text{ km}^2$. Area ini akan bertambah luas, apabila ditambahkan nilai *buffer*, dikarenakan untuk survei pendahuluan lapangan, biasanya lebih luas dari luas area dengan indikasi atau manifestasi yang ada.

(area dibatasi garis berwarna biru) dengan luas $\pm 90 \text{ km}^2$. Area tersebut didapat dari batas-batas terluar anomali tinggi *LST* pada Gambar 9 ditambah dengan nilai *buffer* sejauh 2,5 km. Nilai *buffer* tersebut didapat dari rata-rata panjang sisi Wilayah Penugasan Survei Pendahuluan (WPSP) Panas Bumi sampai saat ini (Direktorat Panas Bumi, 2022). Dengan penambahan *buffer* tersebut, maka rekomendasi untuk dilakukan survei lapangan panas bumi bertambah empat kali lipat dari area anomali tinggi *LST*.

Gambar 10 merupakan rekomendasi untuk dilakukan survei lapangan panas bumi



Gambar 10. Peta rekomendasi untuk dilakukan survei lapangan Panas Bumi Pulau Pantar berdasarkan analisis anomali tinggi *LST*

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Analisis perbandingan beberapa pendekatan untuk menentukan anomali tinggi temperatur permukaan tanah atau *LST* dengan menggunakan Band 10 (*TIRS*) Landsat 8 menunjukkan bahwa hasil penerapan pendekatan *natural break* lebih baik dibandingkan hasil penerapan pendekatan persentil dan statistik klasik. Hal ini ditunjukkan dengan kesesuaian antara area anomali tinggi *LST* dengan indikasi aktivitas termal bawah permukaan dengan dengan deliniasi prospek hasil survei 3G yang telah dilakukan yang mencapai 55%.

Studi ini juga menunjukkan bahwa anomali tinggi bisa disebabkan dua faktor utama yaitu kegiatan diatas permukaan dan aktivitas termal bawah permukaan. Untuk eksplorasi panas bumi, penentuan anomali tinggi *LST* sebagai indikasi aktivitas termal bawah permukaan ditentukan setelah mengeliminasi area anomali tinggi *LST* karena kegiatan permukaan seperti adanya aktivitas manusia atau bentuk morfologi yang memungkinkan permukaan menerima sinar matahari lebih lama.

Usulan rekomendasi area untuk survei lapangan pada tahap pendahuluan berdasarkan area anomali tinggi *LST* dengan indikasi aktivitas termal bawah permukaan adalah seluas $\pm 90 \text{ km}^2$. Luasan ini diambil berdasarkan penambahan zona buffer sejauh $2,5 \text{ km}^2$ masing-masing sisi sehingga luasnya bertambah kurang lebih empat kali lipat dari area anomali tinggi *LST*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMP) atas izin penggunaan data untuk penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim editor yang telah memberikan koreksi serta saran dalam perbaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A. J. A., Hashim, M., Pour, A. B., & Shehu, K. (2017). A Review of Geothermal Mapping Techniques using Remotely Sensed Data. *Science World Journal*, 12(4), 72-82.
- Aris, A. (2019). Analisis Land Surface Emissivity menggunakan Data *NDVI* Landsat 8 dan Pengaruhnya terhadap Formasi Land Surface Temperature di Wilayah Kota Kendari. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 1(2), 39-44.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature using Landsat 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016.
- Azhali, F. M., & Jaelani, L. M. (2020). Analisis Pola Distribusi dan Pola Perubahan Suhu Permukaan Tanah di Kota Surabaya Menggunakan Citra Landsat 8 dan Stasiun Cuaca Otomatis. *Geoid*, 15(2), 264-273.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press.
- Choi, Y. Y., & Suh, M. S. (2020). Development of a Land Surface Temperature Retrieval Algorithm from GK2A/AMI. *Remote Sensing*, 12(18), 3050.
- Direktorat Panas Bumi (2022). *Pengembangan Panas Bumi di Indonesia*. Direktorat Panas Bumi.
- Faridah, S. A. N., & Krisbiantoro, A. (2014). Analisis Distribusi Temperatur Permukaan Tanah Wilayah Potensi Panas Bumi Menggunakan Teknik Penginderaan Jauh di Gunung Lamongan, Tiris - Probolinggo, Jawa Timur. *Berkala Fisika*, 17(2), 67-72.
- Gorr, W. L., & Kurland, K. S. (2020). *GIS Tutorial for ArcGIS Desktop 10.8*. ESRI Press.

- Hakim, L., Ismail, N., & Faisal, F. (2017). Kajian Awal Penentuan Daerah Prospek Panas Bumi di Gunung Bur Ni Telong Berdasarkan Analisis Data DEM SRTM dan Citra Landsat 8. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(3), 125-132.
- Kementerian ESDM (2016), *Penetapan Wilayah Kerja Panas Bumi di Daerah Gunung Sirung, Kabupaten Alor, Provisi Nusa Tenggara Timur*. SK Menteri ESDM Nomor: 7440K/30/MEM/2016.
- Kurniati, E., & Rahardjo, N. (2015). *Evaluasi Metode Klasifikasi dalam Pembuatan Peta Kepadatan Penduduk DIY dengan Permukaan Statistik dan Uji Proporsi*. Universitas Gadjah Mada.
- LAPAN (2018). *Katalog Inderaja - Citra Satelit Resolusi Menengah - Landsat-8*. Diakses pada 1 Agustus 2022. Diakses dari https://inderaja-catalog.lapan.go.id/application_data/default/pages/about_Landsat-8.html.
- Loftus, S. C. (2021). *Basic Statistics with R*. ELSEvier Science.
- Murni, L. Y., Yuliara, I. M., & Windaryoto, W. (2021). Distribusi Land Surface Temperature (LST) Menggunakan Metode Spasial Berdasarkan Citra Landsat 8 di Kabupaten Manggarai Nusa Tenggara Timur Pada Periode Juni-Juli 2015-2019. *Buletin Fisika*, 24(1), 1-9.
- Muslim, S., Suherman, A., & Bochori, B. (2021). *Analisis Anomali Suhu dan Kerapatan Vegetasi Berdasarkan Citra Satelit Landsat 8 untuk Pemetaan Potensi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Rantau Dedap Provinsi Sumatera Selatan*. Universitas Sriwijaya.
- NASA (2013). *Landsat Data Continuity Mission Continuously Observing Your World.*, Diakses pada 1 Agustus 2022, Diakses dari https://landsat.gsfc.nasa.gov/sites/landsat/files/2012/12/LDCM_Brochure_Dec2012.pdf.
- Nugraha, H. S., & Permana, L. A., & Sukaesih (2021). Analisis Citra Satelit Landsat 8 dan DEMNAS untuk Identifikasi Prospek Panas Bumi di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(3), 166-184.
- Nurhadi, M., & Kusnadi, D. (2015). Survei Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pualu Pantar Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun Anggaran 2015*.
- Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., & Chai, L. (2011). Geothermal Area Detection using Landsat ETM+ Thermal Infrared Data and Its Mechanistic Analysis—A Case Study in Tengchong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(4), 552-559.
- Ramadhan, R. F., & Saputra, R. A. (2021). Identifikasi Area Prospek Panas Bumi Menggunakan Integrasi Citra Landsat 8 OLI/TIRS dan DEM: Studi Kasus Batu Bini, Kalimantan Selatan. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 11(2), 37-50.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R., & Dutter, R. (2011). *Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R*. John Wiley & Sons.
- Saragih, B. F., Prasetyo, Y., & Sasmito, B. (2015). Identifikasi Manifestasi Panas Bumi dengan Memanfaatkan Kanal Thermal pada Citra Landsat (Studi Kasus: Kawasan Dieng). *Jurnal Geodesi Undip*, 4(4), 25-33.
- Solanky, V., Singh, S., & Katiyar, S. K. (2018). Land Surface Temperature Estimation using Remote Sensing Data. In *Hydrologic Modeling* (pp. 343-351). Springer, Singapore.

- Tian, B., Wang, L., Kashiwaya, K., & Koike, K. (2015). Combination of Well-logging Temperature and Thermal Remote Sensing for Characterization of Geothermal Resources in Hokkaido, Northern Japan. *Remote Sensing*, 7(3), 2647-2667.
- USGS (2022). *Earth Explorer*. Diakses pada 1 Agustus 2022, dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Van der Meer, F., Hecker, C., van Ruitenbeek, F., van der Werff, H., de Wijkerslooth, C., & Wechsler, C. (2014). Geologic remote sensing for geothermal exploration: A review. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 33, 255-269.
- Yalcin, M., Kilic Gul, F., Yildiz, A., Polat, N., & Basaran, C. (2020). The Mapping of Hydrothermal Alteration Related to the Geothermal Activities with Remote Sensing at Akarcay Basin (Afyonkarahisar), using Aster Data. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(21), 1-17.
- Zhang, G., Dong, J., Xiao, X., Hu, Z., & Sheldon, S. (2012). Effectiveness of Ecological Restoration Projects in Horqin Sandy Land, China based on SPOT-VGT *NDVI* Data. *Ecological Engineering*, 38(1), 20-29.

Diterima	: 18 Oktober 2022
Direvisi	: 8 Mei 2023
Disetujui	: 31 Mei 2023