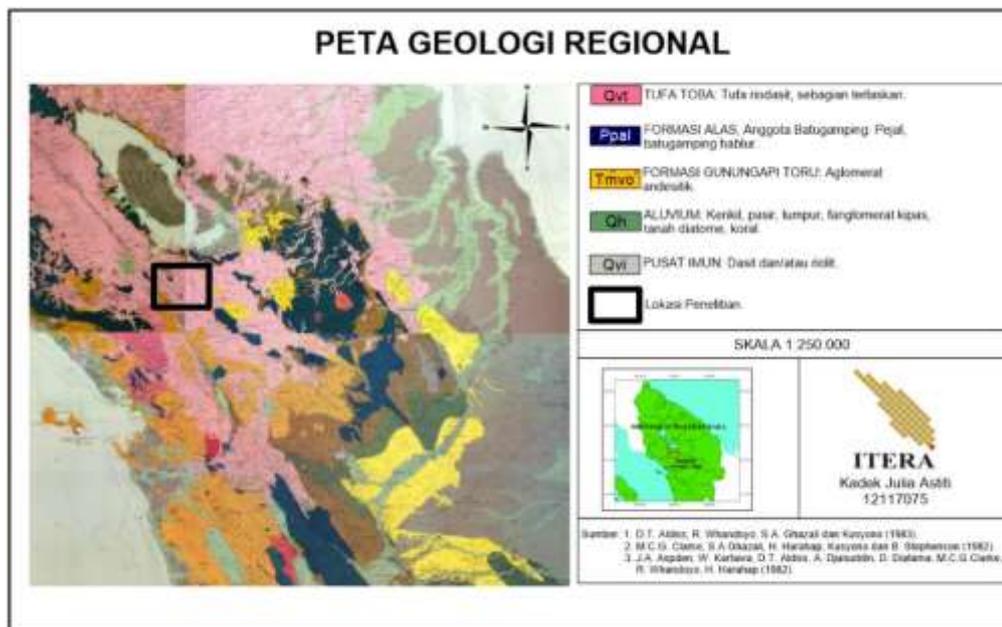


BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Geologi Regional

Aktivitas tektonik daerah Sipoholon disebabkan adanya pergeseran lempeng utama benua Eurasia bagian utara dan kepulauan Australia-India bagian selatan saling bertumbukan dan menunjam. Proses ini menyebabkan adanya jalur pegunungan yang disebut Bukit Barisan Nasional. Keberadaan rangkaian gunung api sangat berpengaruh terhadap litologi batuan Sumatera. Aktivitas vulkanik di pulau Sumatera terus berlangsung sejak zaman Tersier hingga saat ini, menghasilkan batuan vulkanik, yang biasanya merupakan produk gunung berapi strato yang muncul di atas batuan sedimen Tersier dan Pratersier serta batuan malihan. Litologi batuan spesifik daerah Sipoholon ditunjukkan pada (**Gambar 2.3**).



Gambar 2. 1 Peta geologi regional. Peta lembar Sidikalang, Padangsidempuan dan Pematang Siantar.

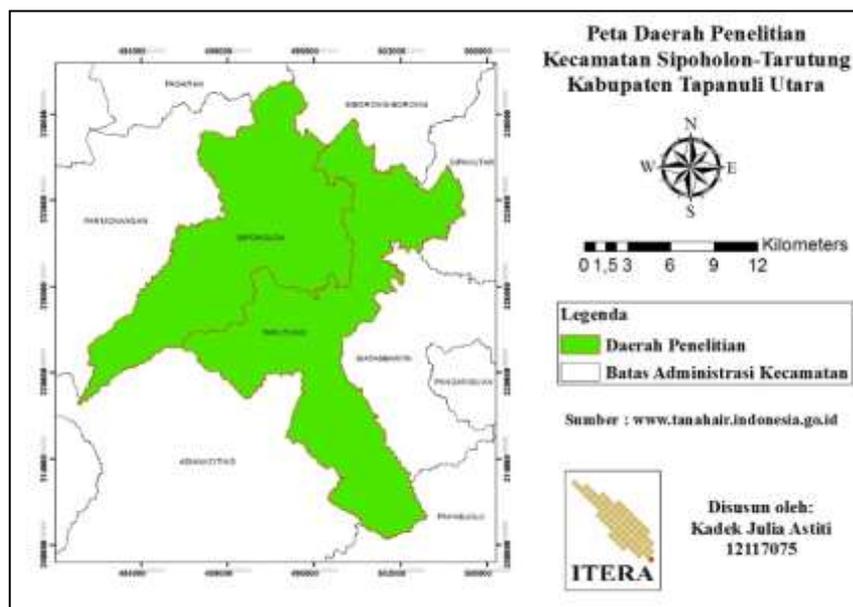
(Sumber: Modifikasi dari peta geologi)

Secara regional, kawasan Sipoholon terletak pada jalur *Sumatera Fault System* (SFS) terbentang dari timur ke barat, utara ke selatan, dengan total panjang 1.650 kilometer. Umur patahan ini berkisar dari batugamping sampai Paleogen. Sistem sesar terdiri dari sedikitnya 18 segmen patahan dan masih aktif sampai sekarang.

Akibat pergerakan aktif ini, banyak terjadi depresi (*graben*) di sepanjang garis patahan ini, terutama area bertemunya sesar yang merupakan hasil dari gaya tarikan (*extention*). Sumber daya panas bumi daerah Sipoholon, dikendalikan oleh struktur geologi yang ada di daerah tersebut (Hasan, dkk., 2005).

2.2 Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di daerah panas bumi Sipoholon di sebelah tenggara Kecamatan Sipoholon dan bagian utara Kecamatan Tarutung di Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. Kawasan ini terletak sekitar 280 kilometer arah selatan Kota Medan, dengan jarak tempuh darat 7 jam. Secara geografis, wilayah ini terletak antara 488000 mT-504000 mT dan 215600 mU – 232100 mU dalam sistem koordinat UTM Zona 47 di Belahan Bumi Utara.



Gambar 2. 2 Peta daerah penelitian. Warna hijau merupakan Kecamatan Sipoholon-Tarutung.

Wilayah penelitian adalah daerah yang memiliki potensi panas bumi dan telah ditetapkan sebagai Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Namun, hingga saat ini belum dimanfaatkan secara tidak langsung untuk pembangkit listrik. Karena itu perlu dilakukan kajian lain yang lebih detail untuk dipastikan model konseptual sistem

potensi panas bumi di daerah tersebut dan besarnya potensi energi yang dapat dihasilkan.

2.2.1 Struktur Geologi

Dalam analisis citra satelit dan observasi lapangan, terdapat 12 patahan di daerah penelitian. Sesar memiliki empat arah: barat laut-tenggara, timur laut-barat daya, selatan-utara, dan barat-timur. Sesar-sesar tersebut adalah Sesar Sipoholon, Sibatu-batu, Sigaeon, Toru, Pintubosi, Tarutung, Parbubu, Siborboron, Hutabarat, Martimbang, Sibadak, dan Jorbing. Sesar ini merupakan penyebab terjadinya manifestasi panas bumi di daerah penelitian. Manifestasi tersebut terdiri atas mata air panas, bualan gas, dan solfatara (Hasan, dkk., 2005).

2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil survei Tim Penyelidikan Terpadu PSDG (2005) di lapangan maupun pengamatan secara makroskopis litologi di daerah penelitian dapat dibedakan menjadi 8 satuan batuan, antara lain 6 satuan batuan vulkanik, 1 satuan batuan sedimen, dan 1 satuan batuan sedimen permukaan (lihat **Gambar 2.3**). Berikut urutan genesa batuan tersebut dari tua ke muda adalah:

1. Satuan Lava Jorbing (Tmlj)

Lava Jorbing (Tmlj) terdistribusi di bagian tenggara daerah penelitian sebagai penyusun satuan morfologi relief sedang-terjal yang terdiri dari batuan beku andesit berwarna abu-abu terang gelap, porfiritik, sebagian telah terjadi pelapukan dan ubahan yang lemah. Batuan ini diperkirakan Andesit Piroksen berumur Tersier serta berasal dari erupsi Gunung Jorbing.

2. Satuan Lava Siborboron (Tmlsb)

Satuan ini merupakan batuan beku dengan warna abu-abu muda-tua dengan komposisi andesitik yang tersebar di barat daerah penelitian dengan menempati satuan morfologi relief terjal di lereng Gunung Siborboron.

3. Satuan Piroklastik Toba 1 (Qvt 1)

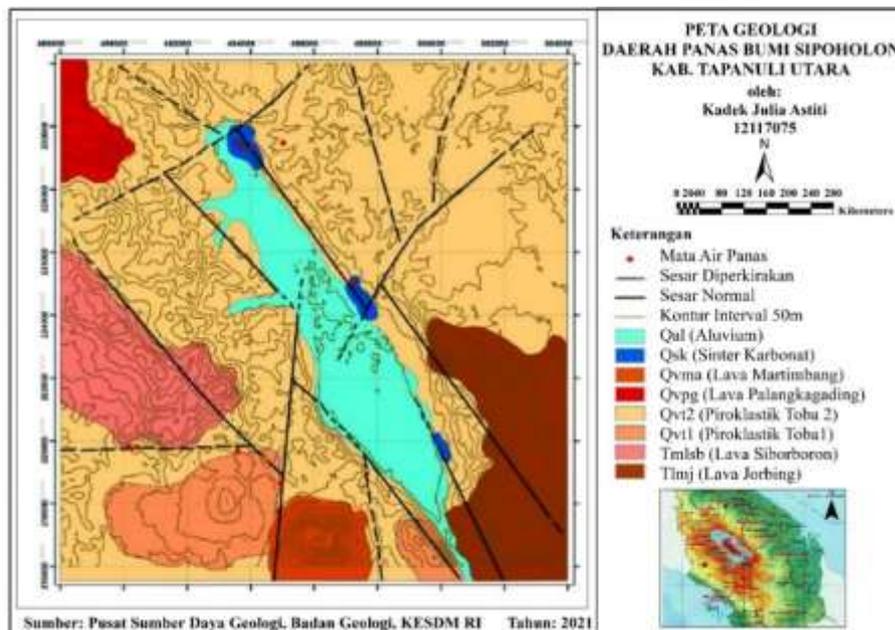
Satuan Piroklastik Toba 1 (Qvt 1) terdistribusi dari bagian selatan daerah penelitian sampai ke arah barat Gunung Malimbang. Menurut hasil sayatan kecil, satuan ini termasuk dalam tufa gelas berumur Kuartar, hasil dari aktivitas vulkanik gunung api purba Toba.

4. Satuan Piroklastik Toba 2 (Qvt 2)

Satuan Piroklastik Toba 2 (Qvt 2) dicirikan dengan warna abu-abu terang, terdapat fragmen batu apung, serta tersusun oleh riodasit yang terdistribusi hampir di seluruh bagian daerah penelitian serta berkomposisi riodasit. Satuan ini merupakan hasil aktivitas gunung api purba Toba berupa aliran piroklastik berumur Kuartar.

5. Satuan Lava Palangka Gading (Qvpg)

Satuan tersebut terdiri atas piroksen andesit dan terletak di atas Toba 2 dari satuan piroklastik yang tersebar di bagian barat daerah penelitian dan tersusun atas batuan beku andesit dengan karakteristik berwarna abu-abu kehijauan. Satuan ini diperkirakan berumur Kuartar merupakan hasil dari letusan Gunung Palangka Gading.



Gambar 2. 3 Peta geologi daerah panas bumi Sipoholon.
(Sumber: Modifikasi dari PSDG, 2011)

6. Satuan Kubah Lava Martimbang (Qvma)

Satuan tersebut tergolong andesit piroksen dan diperkirakan berumur Kuartar, serta tersebar di bagian selatan daerah penelitian yaitu di sekitar lereng Gunung Marimbang.

7. Satuan Sinter Karbonat (Qsk)

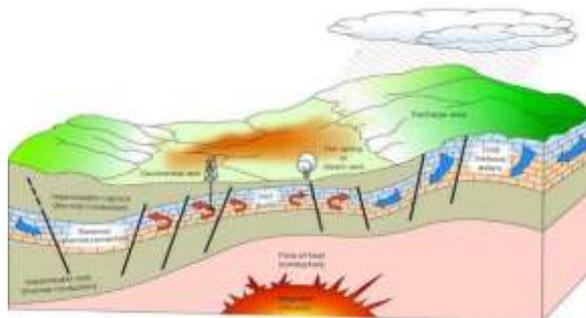
Satuan ini merupakan hasil endapan fluida panas bumi dengan kandungan bikarbonat, dengan struktur berlapis dan gua dengan stalaktit dan stalagmit di beberapa tempat. Satuan ini tersusun atas kristal kalsit, yang terdiri dari cairan rekristalisasi dan bikarbonat yang merupakan batuan sedimen.

8. Satuan endapan Alluvial (Qal)

Satuan ini merupakan endapan permukaan terdiri atas batuan beku pasir, tufa dan andesit, terfokus di sepanjang lereng Sungai Sigeon. Batuan ini mengandung fragmen berbentuk bulat dan tidak padat dengan diameter 50 cm.

2.3 Sistem Panas Bumi

Energi panas bumi (*geothermal*) adalah energi panas yang tersimpan di dalam inti bumi. Panas bumi juga merupakan sumber energi panas yang mengandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetis tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi. Sistem panas bumi dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas di mantel atas dan kerak, di mana panas ditransfer dari sumber panas ke *heat sink* yang biasanya permukaan bumi (Handayani, 2012).



Gambar 2. 4 Model sistematis sistem panas bumi.
(Sumber: Handayani, 2012)

Proses perpindahan panas melibatkan transfer cairan panas, yakni lava dan gas panas (dalam kasus sistem vulkanik), air panas, air garam panas, uap dan gas lainnya (dalam kasus sistem panas bumi). Dalam setiap kasus, partikel fluida bergerak dengan kekuatan *bouyancy* dan panas dari daerah yang dekat dengan sumber panas ke permukaan. Selama perjalanannya, fluida termal dapat disimpan di penyimpanan panas yang terletak di sumber panas dan area penyimpanan panas untuk jangka waktu tertentu (Handayani, 2012).

Ketersediaan sumber daya panas bumi dapat dibuktikan dengan manifestasi permukaan, seperti mata air panas, tanah hangat, udara panas (fumarol), dan lumpur panas (Bujung, dkk., 2011). Pada dasarnya, sistem panas bumi terbentuk dengan melakukan perpindahan panas dari sumber panas ke lingkungan sekitarnya. Panas berpindah secara konduksi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan sumber panas. Manifestasi panas bumi di permukaan terjadi karena penyebaran panas di bawah permukaan atau retakan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (Handayani, 2012).

2.4 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi permukaan merupakan tanda alam yang muncul di permukaan sebagai tanda awal aktivitas panas bumi di bawah permukaan (Wahyuningsih, 2005). Manifestasi tersebut berupa mata air panas, gelembung, fumarol, solfatara dan tanah panas. Secara umum, manifestasi daerah penelitian meliputi mata air panas dan gelembung. Manifestasi ini terbentuk atau dikendalikan oleh struktur geologi atau sesar yang ditemukan di daerah penelitian (Hasan, dkk., 2005).

Keberadaan sumber air panas di alam juga menjadi pertanda terdapat sumber panas bumi di bawah permukaan yang dihasilkan dari aliran air panas dari bawah tanah melalui rekahan batuan. Penguapan di permukaan air terjadi karena perpindahan panas dari permukaan ke atmosfer. Panas yang hilang ke atmosfer sebanding dengan luas mata air panas, suhu permukaan, dan kecepatan angin (González & Rodríguez-Gonzálvez, 2019).

2.5 Penginderaan Jauh

Teknologi penginderaan jauh adalah metode yang ampuh untuk menganalisis area yang luas (*remote area*) yang seringkali sulit dijangkau. Teknologi ini biasanya dikombinasi dengan sistem informasi geografis (SIG) untuk memperoleh informasi yang sangat berguna. Penginderaan jauh adalah mengukur data dari objek melalui peralatan yang tidak memiliki kontak fisik dengan objek, atau untuk memperoleh data atau fenomena dari jarak jauh melalui peralatan, seperti pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, satelit, dan kapal (Gaffar, 2013).

Penginderaan jauh yang memanfaatkan pancaran suhu suatu benda disebut penginderaan jauh sistem termal. Panas yang dipancarkan semua benda disebabkan oleh gerak acak partikelnya yang mengakibatkan pergeseran antara partikel benda serta menimbulkan peningkatan suhu maka permukaan benda tersebut memancarkan panasnya. Satuan energi elektromagnetik atau energi radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda adalah radian ($W/m^2 \mu mSr$). Jumlah panas yang dipancarkan berbeda setiap benda karena dipengaruhi oleh tiga faktor, yakni suhu permukaan benda, panjang gelombang dalam pengukuran, serta nilai pancarannya (Priyanto, dkk., 2015).

Sensor penginderaan jauh mengukur energi, yang dapat dibagi menjadi teknologi pasif dan aktif. Teknologi penginderaan jauh pasif menggunakan energi alam, seperti energi pantul matahari atau cahaya buatan yang hanya dapat berproses pada siang hari. Sistem sensor pasif yang mengukur panjang gelombang lebih panjang terkait dengan suhu bumi tidak bergantung pada matahari sebagai sumber cahaya dan dapat beroperasi kapan saja. Misalnya, sistem sensor pasif perlu menangani berbagai kondisi pencahayaan matahari yang dipengaruhi oleh kondisi atmosfer. Teknologi penginderaan jauh aktif memiliki sumber energinya sendiri dengan memancarkan sinar energi yang ditransmisikan ke permukaan serta mengukur jumlah energi yang dipantulkan kembali ke sensor (Bakker, dkk., 2004).

2.6 Landsat 8 (OLI/TIRS)

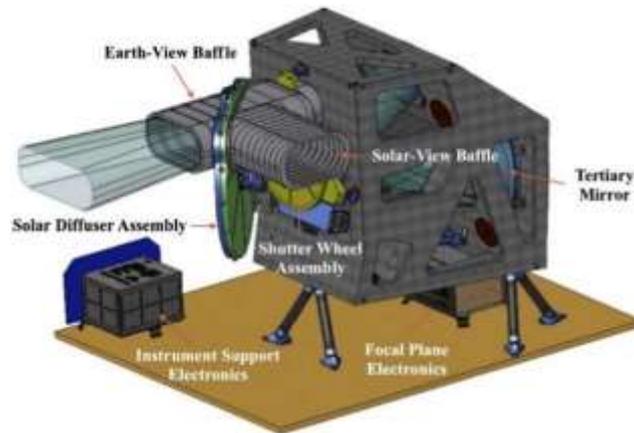
Satelit LDCM (Landsat 8) merupakan misi kerjasama antara NASA dan (Amerika Serikat) mencakup panjang gelombang yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, resolusi spasialnya sama dengan Landsat pendahulunya, yaitu 30 meter. Pada tahun 2008, sensor gambar *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) dipilih sebagai opsi untuk tugas Landsat 8, yang dapat menghasilkan kontinuitas data untuk saluran inframerah termal yang tidak memiliki karakteristik OLI (NASA, 2020).



Gambar 2. 7 Ilustrasi observatorium Landsat 8.
(Sumber: USGS, 2019)

2.6.1 *Operational Land Imager* (OLI)

Pengoperasian sensor *Land Imager* (OLI) memiliki masa pakai desain selama lima tahun dan serupa dalam desain dengan *Advanced Land Imager* (ALI), yang mencakup *Earth Observation 1* (EO-1), yang mewakili perbandingan dengan sensor Teknologi ET7 + L7 dengan kemajuan besar. Instrumen sebelumnya pada satelit Landsat menggunakan cermin berkilasi untuk memindai detektor *Field of View* (FOV) pada rentang yang luas (*whiskbroom*), namun OLI menggunakan rangkaian detektor linier panjang dengan ribuan detektor per pita spectral sebagai gantinya. Detektor disejajarkan di seluruh bidang, dan fokus instrumen dikumpulkan melalui pencitraan dengan cara "*Push-Broom*", yang membuat instrumen lebih sensitif dan memiliki lebih sedikit bagian yang bergerak. OLI memiliki empat cermin teleskop. Dibandingkan dengan data 8-bit yang dihasilkan oleh sensor TM dan ETM+, data yang dihasilkan oleh OLI dikuantisasi menjadi 12 bit (USGS, 2019).



Gambar 2. 8 Instrumen OLI.
(sumber: USGS, 2019)

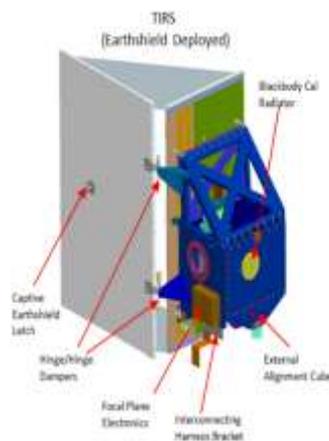
Sensor OLI mengakumulasi data gambar dari 9 panjang gelombang pendek *band* spektral sejauh 190 km dengan resolusi spasial 30 m kecuali pita Pankromatik dengan resolusi 15 meter. Lebar beberapa pita OLI telah ditingkatkan agar terhindar dari karakteristik penyerapan atmosfer pada saluran ETM+. Perubahan terbesar terjadi pada OLI band 5 (0,845-0,885 μm) dengan mengecualikan karakteristik penyerapan uap air pada 0,825 μm di tengah-tengah band ETM+ inframerah-dekat (band 4; 0,775-0,900 μm). Pita audiovisual 8 OLI juga lebih sempit daripada pita audiovisual ETM+. Karena ada kontras yang lebih besar antara area vegetasi dan lahan yang tidak tertutup vegetasi. Selain pita frekuensi Landsat lama (1-5, 7 dan pan), OLI juga memiliki dua pita frekuensi baru. Pita *Aerosol* (pita 1; 0,435 – 0,451 μm), terutama untuk pengamatan warna laut yang mirip dengan pita ALI 1 dan pita *neo-cirrus* (pita 9; 1,36 – 1,38 μm). Ini dapat membantu mendeteksi awan kristal es tipis (awan *cirrus* terlihat cerah, sementara sebagian besar permukaan bumi terlihat gelap melalui atmosfer tak berawan yang mengandung uap air) (USGS, 2019).

Tabel 2. 1 Spesifikasi sensor OLI

<i>Band</i>	Resolusi (m)	Panjang Gelombang (μm)	Keterangan
1	30	0.435 – 0.451	<i>Coastal/Aerosol</i>
2	30	0.452 – 0.512	<i>Blue</i>
3	30	0.533 – 0.590	<i>Green</i>
4	30	0.636 – 0.673	<i>Red</i>
5	30	0.851 – 0.879	NIR
6	30	1.566 – 1.651	SWIR-1
7	30	2.107 – 2.294	SWIR-2
8	15	0.503 – 0.676	Pankromatik
9	30	1.363 – 1.384	<i>Cirrus</i>

2.6.2 Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Seperti OLI, sensor inframerah termal (TIRS) merupakan sensor *push-broom* yang memanfaatkan bidang fokus dengan *array* panjang detektor fotosensitif. Dalam pengukuran energi inframerah termal (TIR) gelombang Panjang memanfaatkan *Quantum Well Infrared Photodetector* (QWIP) yang dipantulkan dari permukaan bumi dengan intensitasnya adalah fungsi dari suhu permukaan. TIRS QWIP peka terhadap dua pita inframerah termal dan dapat memisahkan suhu permukaan bumi dari suhu atmosfer. Desain QWIP didasarkan pada prinsip kompleks mekanika kuantum. Elektron yang ditinggikan menghasilkan sinyal listrik yang dapat dibaca, direkam, dan diubah menjadi unit fisik, dan digunakan sebagai gambar digital (USGS, 2019).



Gambar 2. 9 Instrumen TIR.
(Sumber: USGS, 2019)

Umur desain sensor TIRS adalah tiga tahun dan mampu mengumpulkan data gambar dalam dua pita termal dalam jarak 190 kilometer dengan resolusi spasial 100 meter. Dua pita inframerah termal menjangkau rentang panjang

gelombang yang lebih luas dari pita termal Tm dan ETM+ (10,0 – 12,5 μm), yang menunjukkan peningkatan dalam data termal pita tunggal. Data yang diproduksi oleh TIRS dikuantisasi menjadi 12 bit. Resolusi spasial TIRS lebih rendah dari 60 meter ETM+ pita 6, dua pita termal secara teoritis suhu permukaan mungkin untuk ditangkap. Namun, masalah cahaya yang menyimpang dengan pita 11 terhalang dalam mengaplikasikan metode ini. Misalnya OLI, TIRS juga menentukan keseragaman spektral jalur dan kinerja radiasi, termasuk ketidakpastian kalibrasi mutlak, sensitivitas polarisasi, stabilitas jarak sampel tanah dan respons tepi, geometri citra dan posisi geografis. (USGS, 2019).

Tabel 2. 2 Spesifikasi sensor TIRS

<i>Band</i>	Resolusi (m)	Panjang Gelombang (μm)	Keterangan
10	100	10.60 – 11.16	TIR-1
11	100	11.50 – 12.51	TIR-2

2.7 Suhu Permukaan Tanah

Ukuran keadaan dingin atau panas disebut suhu atau temperatur. Satuan pengukuran suhu yang banyak digunakan di Indonesia adalah *Celcius* ($^{\circ}\text{C}$) (Mustamin, dkk., 2017). Suhu permukaan merupakan suhu radiasi bagian terluar objek di permukaan dari radiasi matahari. Dari perspektif satelit, permukaan adalah segala sesuatu yang dilihat satelit saat melewati atmosfer ke tanah, seperti salju atau es, rumput di halaman, atap bangunan, atau dedaunan di kanopi hutan. Suhu permukaan berbeda dari suhu yang tercantum dalam laporan cuaca harian. Suhu permukaan mengacu pada suhu permukaan atas di bawah kondisi tanah gundul, dan suhu efektif kanopi vegetasi transmisi ditentukan dari sudut puncak kanopi (ESA, 2019). Berikut ini adalah beberapa langkah untuk menentukan suhu permukaan tanah.

2.7.1 *Top of Atmosphere* (TOA)

Untuk mendapatkan utilitas penuh dari citra *thermal*, harus dilakukan konversi citra dari *Digital Number* (DN) ke nilai yang lebih mewakili energi yang diinginkan di daerah penelitian. Dalam penentuan suhu kecerahan pita TIR Landsat 8, nilai DN harus diubah menjadi cahaya *Top of Atmosphere* (TOA), lalu diubah menjadi suhu kecerahan pada sensor. Produk Landsat 8 standar dikirimkan dalam bentuk integrasi

unsigned 16 bit, yang dapat dikonversi kembali ke TOA dengan faktor skala radiometrik pada file metadata Landsat 8. Hal ini juga berisi konstanta termal yang diperlukan untuk mengubah data TIR menjadi suhu kecerahan sensor (Ishimwe, dkk., 2014). Berikut persamaan untuk menghitung nilai DN menjadi nilai spektral radian TOA memanfaatkan *radiance rescaling factor* (USGS, 2019):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2.1)$$

Keterangan

- L_{λ} : Spektral radian (Watts/(m²*srad*μm))
- M_L : Faktor skala (*RADIANCE_MULT_BAND_n* dari metadata)
- Q_{cal} : Level 1 piksel nomor digital
- A_L : Faktor penambah (*Band-specific additive rescaling factor*)

2.7.2 Brightness Temperature

Selain itu, sensor konstanta termal digunakan dari emisi spektrum ke pita TIRS dari suhu kecerahan. Data TIRS juga dapat diubah dari emisi spektral ke suhu kecerahan, yang merupakan suhu efektif yang terlihat oleh satelit, dengan menganggap emisivitas persatuan. Persamaan yang digunakan adalah (USGS, 2019):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2.2)$$

Keterangan

- T_B : Suhu kecerahan (°K)
- K_1 : Konstanta konversi termal khusus pita dari metadata (*K1_CONSTANT_BAND_x*, di mana x adalah angka pita termal)

- K_2 : Konstanta konversi termal khusus band dari metadata ($K2_CONSTANT_BAND_x$, dimana x adalah angka band termal)
- L_λ : Spektral Radian (Watts/(m²*srad* μ m))

2.7.3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Indeks vegetasi adalah indeks yang menunjukkan tingkat kehijauan tanaman. Selain itu, indeks vegetasi adalah gabungan matematis antara pita merah dan pita NIR (*Near-Infrared Radiation*), yang dimanfaatkan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi. Selanjutnya, akan digunakan untuk menentukan FVC (*Fractional Vegetation Cover*). Berikut ini adalah rumus menghitung NDVI (Burgan & Hardford, 1993).

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (2.3)$$

Keterangan

- NDVI : Indeks vegetasi
- NIR : Nilai infra merah dari piksel
- Red : Radiasi cahaya merah dari piksel

Rentang nilai NDVI yang dihasilkan oleh persamaan ini adalah -1 hingga +1. Nilai negatif umumnya mewakili permukaan tanpa vegetasi seperti awan, salju, dan air, dan nilai positif mewakili vegetasi di permukaan. Secara umum, indeks vegetasi adalah metode standar untuk mengukur vegetasi yang sehat. Perubahan vegetasi secara keseluruhan dari waktu ke waktu dapat terlihat dengan melakukan koreksi atmosfer (USGS, 2019). Sistem klasifikasi indeks vegetasi yang ada mengacu pada peraturan Kementerian Kehutanan (2012) sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Kelas kerapatan vegetasi

Kelas	Kisaran NDVI	Tingkat Kerapatan
1	-1 - 0	Nonvegetasi
2	0 – 0,25	Rendah
3	0,25 – 0,55	Sedang
4	0,55 – 0,78	Tinggi
5	0,78 - 1	Sangat tinggi

2.7.4 *Fractional Vegetation Cover (FVC)*

Definisi FVC adalah perkiraan persentase dari total area studi (akar, batang, dan daun) yang tertutup oleh vegetasi. FVC tidak hanya menggambarkan luas area fotosintesis tanaman dan kerapatan pertumbuhan vegetasi, melainkan mewakili area pertumbuhan vegetasi sampai batas tertentu. , FVC dimanfaatkan dalam berbagai penelitian terkait perubahan iklim, tanah, dan hidrologi sebagai parameter penting bagi keseimbangan serta perkembangan ekosistem terestrial (Zhang, dkk., 2019). Adapun persamaan dalam menentukan FVC sebagai berikut:

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_V + NDVI_S} \quad (2.4)$$

Dimana P_v adalah FVC; NDVI merupakan rata-rata terhitung dari area vegetasi dan nonvegetasi; $NDVI_S$ adalah indeks vegetasi piksel lahan kosong dan $NDVI_V$ yakni indeks vegetasi dari seluruh tutupan vegetasi (Zhang, dkk., 2019).

2.7.5 *Land Surface Emissivity (LSE)*

Emisivitas adalah rasio energi radiasi objek pada suhu tertentu dengan energi yang dipancarkan benda hitam pada benda yang sama (Kuenzer & Dech, 2013). Nilai LSE sangat bergantung pada kekerasan permukaan, dan sifat tutupan vegetasi (Jeevalakshmi, dkk., 2017). Persamaan yang digunakan untuk menentukan emisivitas adalah:

$$\varepsilon = 0,985P_v + 0,960(1 - P_v) + 0.06P_v(1 - P_v) \quad (2.5)$$

Perhitungan emisivitas diperlukan nilai emisivitas tanah dan vegetasi pada pita 10 dan 11. Untuk nilai emisivitas vegetasi $\varepsilon_v = 0,985 \pm 0,007$, rentang nilai emisivitas vegetasi yang diukur pada panjang gelombang 10,5-12,5 μm adalah 0,980-0,990. Emisivitas tanah mengambil nilai $\varepsilon_s = 0,960 \pm 0,010$. Semakin kasar dan gelap objek, semakin dekat nilai emisivitasnya dengan 1 (Valor & Caselles, 1996).

2.7.6 Land Surface Temperature (LST)

Suhu permukaan merupakan suhu rata-rata permukaan yang divisualisasikan dalam rentang piksel dengan jenis permukaan yang berbeda. Temperatur permukaan dapat didefinisikan sebagai temperatur permukaan pada lahan terbuka atau biasa disebut dengan *Land Surface Temperature* (LST) (Wiweka, 2014).

LST biasanya dapat diestimasi menggunakan algoritma matematika, seperti algoritma *mono-window* (MW), *splitwindow* (SW), *single channel* (SC), dan algoritma *multi angle* (MA) (Rongali, dkk., 2018). Algoritma *mono-window* hanya menggunakan pita 10, karena ada masalah dengan pita 11 yaitu efek *stray light* yaitu masuknya cahaya ke jalur teleskop TIRS. Oleh karena itu tidak disarankan penggunaan pita 11 (USGS, 2019). LST dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$LST = \frac{TB}{1 + \left(\frac{W * TB}{p}\right) * \ln(\varepsilon)} - 273,15 \quad (2. 6)$$

Keterangan

LST	: Suhu permukaan tanah ($^{\circ}\text{C}$)
T_B	: Suhu kecerahan ($^{\circ}\text{K}$)
W	: Nilai panjang gelombang pita 10
p	: $hc/\sigma = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ mK}$
h	: Konstanta Planck ($6.26 \times 10^{-34} \text{ Jsec}$)
c	: Kecepatan cahaya ($2.998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)
σ	: Konstanta Stefan Boltzman ($1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$)

ε : Emisivitas objek

2.8 Google Earth Engine (GEE)

Google Earth Engine (GEE) adalah platform berbasis awan untuk analisis geospasial skala planet yang menghadirkan kemampuan komputasi besar-besaran Google untuk menghadapi masalah sosial berdampak tinggi termasuk deforestasi, kekeringan, bencana, penyakit, ketahanan pangan, pengelolaan air, pemantauan iklim, dan perlindungan lingkungan. Itu diakses dan dikendalikan melalui *application programming interface* (API) yang dapat diakses melalui internet dan *interactive development environment* (IDE) (Gorelic, dkk., 2017). GEE mengakumulasi katalog *multi-petabyte* dari citra satelit dan data geospasial dengan kemampuan analisis skala planet serta dapat diakses bagi ilmuwan, peneliti, serta pengembang untuk mengetahui perubahan dan tren peta di permukaan bumi.

Pengguna dapat mendaftar pada halaman web <https://earthengine.google.com> untuk mendapatkan akses di beranda Earth Engine. Selain itu, dapat mengakses antarmuka pengguna serta panduan pengguna, tutorial, contoh, video pelatihan, referensi fungsi, dan kurikulum pendidikan. Meskipun pengalaman sebelumnya dengan GIS, penginderaan jauh, dan pembuatan *script* memudahkan untuk memulai, pengalaman tersebut tidak sepenuhnya diperlukan, serta panduan pengguna berorientasi pada pemula menyimpan produk perantara, serta setiap input atau hasil dapat diunduh untuk tidak digunakan (Gorelic, dkk., 2017).