

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/350819219>

Landsat 8 – Sebuah Teori dan Teknik Pemrosesan Tingkat Dasar

Book · April 2021

CITATION

1

READS

16,290

2 authors:



[Nurul Ihsan Fawzi](#)

Tay Juhana Foundation

52 PUBLICATIONS 238 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Vina Nurul Husna](#)

Bogor Agricultural University

10 PUBLICATIONS 50 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

LANDSAT 8

Sebuah Teori dan Teknik
Pemrosesan Tingkat Dasar

NURUL IHSAN FAWZI &
VINA NURUL HUSNA

Landsat 8

Sebuah Teori dan teknik pemrosesan tingkat dasar

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 19 tahun 2002 tentang Hak Cipta

Lingkup Hak Cipta

Pasal 2

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak Ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Ketentuan pidana

Pasal 72

1. Barang siapa dengan sengaja atau tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Landsat 8

Sebuah Teori dan Teknik Pemrosesan Tingkat Dasar

Nurul Ihsan Fawzi

Vina Nurul Ihsan



EL-MARKAZI
publish your dream with a book

Landsat 8 - Sebuah Teori dan Teknik Pemrosesan Tingkat Dasar

Oleh: Nurul Ihsan Fawzi dan Vina Nurul Husna

Diterbitkan oleh: PENERBIT EL MARKAZI

Cover Landsat 8 perekaman tanggal 11 Jun 2019, dari NASA Earth Observatory

Diterbitkan pada April 2021

Copyright © 2021 **by Elmarkazi Publisher** All Rights Reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Perpustakaan Nasional RI. Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Fawzi, Nurul Ihsan; dan Husna, Vina Nurul

Landsat 8 - Sebuah teori dan teknik pemrosesan tingkat dasar

April, 2021.

viii, 76 p. : il. : ind ; 18,2 x 25.7 cm.

ISBN 978-623-331-054-3

KATA PENGANTAR

Satelit Landsat 8 merupakan seri Landsat yang paling terbaru dan masih mengorbit hingga saat ini. Sebelum Landsat 9 diluncurkan pada akhir tahun ini, kebutuhan analisis data Landsat 8 merupakan hal yang tidak dapat dihindarkan.

Analisis kebumian membutuhkan pengetahuan dasar terhadap karakteristik citra dan teknik dasar pengolahannya. Sebenarnya, Landsat 8 merupakan perbaikan dari seri satelit Landsat sebelumnya, mulai dari resolusi radiometrik, penambahan band baru, dan ketersediaan data setiap siklus 16 hari. Walaupun telah banyak satelit kebumian lain yang telah diluncurkan, kemudahan akses dan pengolahan tidak dapat menyamai seri satelit Landsat.

Dengan buku ini diharapkan mampu memberi gambaran dasar tentang pemanfaatan citra Landsat untuk analisis geospasial. Serta terdapat beberapa tutorial singkat menggunakan QGIS agar memudahkan dalam proses analisisnya.

Semoga dapat membuka jendela pengetahuan yang baru bagi kita semua.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Spesifikasi dan Karakteristik Landsat 8.....	1
Sejarah Pengembangan	1
Karakteristik Umum Landsat 8.....	3
Tujuan Pemilihan Band Pada Landsat 8	6
Koreksi Geometrik dan Resolusi Spasial.....	17
Format Data dan Penamaan	17
Level Koreksi Landsat 8	18
Resolusi Spasial	20
Koreksi Radiometrik Landsat 8	25
Apa itu koreksi radiometrik?	25
Jenis koreksi radiometrik: Koreksi radian atau reflektan.....	27
Reflektan atau Radian?	28
Beberapa Pertanyaan yang Muncul.....	29
Konsep Dasar Koreksi Radiometrik Landsat 8	35
Tahapan Koreksi Radiometrik Landsat 8.....	35
Konversi Nilai Piksel (DN) ke Nilai Radian Spektral (<i>TOA Radiance</i>)	35
Konversi Nilai Piksel (DN) ke Nilai Reflektan (<i>TOA reflectance</i>).....	37
Teknis Koreksi Radiometrik (Reflektan) Menggunakan QGIS	41
Perolehan Suhu Permukaan Menggunakan Citra Landsat 8	47
Definisi Suhu Permukaan Dalam Penginderaan Jauh.....	47

Metode Perolehan Suhu Permukaan	49
Permasalahan yang Sering Ditanyakan.....	51
Teknis Pengolahan Suhu Permukaan Menggunakan QGIS	53
Suhu Kecerahan (T_b) dan Suhu Radian (T_{sr})	53
Pre-processing Citra untuk Mendapatkan Nilai Radian (T_{sr}).....	54
Koreksi Emisivitas Menggunakan Indeks Vegetasi.....	58
Kenapa perlu dilakukan koreksi emisivitas?.....	58
Perolehan NDVI (<i>Normalized Vegetation Difference Index</i>)	58
Penentuan Fraksi Vegetasi (P _v)	60
Perolehan Emisivitas Objek	62
Koreksi Radian <i>at Surface</i>	63
Perolehan Suhu Permukaan	67
Keterbatasan dan diskusi.....	69
Daftar Pustaka	71

BAB 1

SPESIFIKASI DAN KARAKTERISTIK LANDSAT 8

Sejarah Pengembangan

Generasi pertama seri satelit Landsat, yaitu Landsat 1, diluncurkan pada 24 Juli 1972. Landsat 1 memiliki dua sensor, yaitu sensor *Return Beam Vidicon* (RBV) dan *Multispectral Scanner* (MSS). Sensor MSS memiliki resolusi 80 meter dengan 4 band. Seri satelit Landsat berikutnya, Landsat 2 dan 3 diluncurkan pada tahun 1974 dan 1978 dengan konfigurasi sensor yang sama.

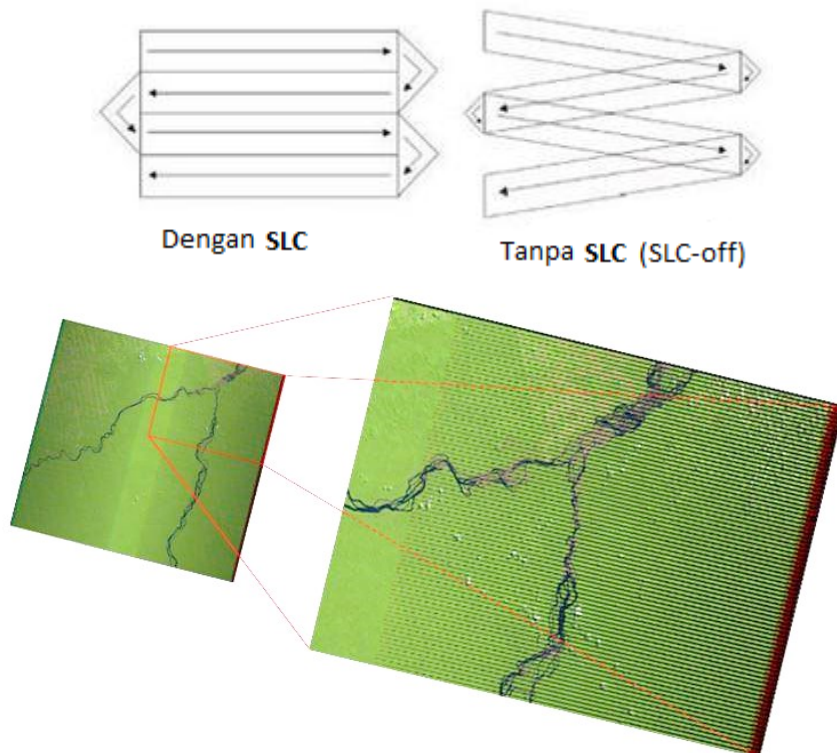
Pada 16 Juli 1982, Landsat 4 diluncurkan ke orbit dengan roket Delta 3920. Landsat 4 dilengkapi dengan dua sensor, yaitu sensor MSS dan *Thematic Mapper* (TM). Satu tahun setelah peluncurannya, Landsat 4 kehilangan 2 panel surya dan antena pemancar yang berfungsi untuk transfer data citra yang direkam. Namun, Badan Penerbangan dan Antariksa Amerika Serikat (NASA) berhasil menemukan cara agar satelit Landsat 4 tetap mampu mengirimkan data citra hingga tahun 1993. Pada tahun 2001, NASA memutuskan menghentikan operasional Landsat 4.

NASA kemudian meluncurkan Landsat 5 pada tanggal 1 Maret 1984 dengan roket Delta 3920. Landsat 5 dapat dikatakan tiruan dari Landsat 4, karena memiliki sensor yang sama. Satelit Landsat 5 dirancang hanya memiliki umur 5 tahun, namun ternyata mampu beroperasi sampai 28 tahun.

Tahun 1993, tepatnya tanggal 5 Oktober 1993 diluncurkan Landsat 6 sebagai penerus Landsat 5. Akan tetapi, satelit tersebut gagal mengorbit akibat ledakan di roket Titan II saat proses separasi roket. Padahal, Landsat 6 telah dilengkapi dengan sensor terbaru, *Enhanced Thematic Mapper* (ETM). Butuh waktu 6 tahun kemudian, di tanggal 15 April 1999, untuk meluncurkan generasi penerus satelit Landsat yaitu satelit Landsat 7. Satelit Landsat 7 membawa sensor yang sama dengan Landsat 8,

yaitu sensor ETM. Namun, Landsat 7 memiliki satu band tambahan, band pankromatik dengan resolusi spasial 15 meter. Sehingga sensor pada Landsat 7 dikenal sebagai *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+).

Pada tanggal 31 Mei 2003, Landsat 7 ETM+ mengalami kerusakan pada *Scan Line Corrector* (SLC), atau dikenal dengan SLC-off. Kegunaan SLC adalah untuk mengkompensasi gerakan maju satelit di sepanjang jalur orbit agar hasil pindaian satelit sejajar satu sama lain. SLC-off mengakibatkan satelit Landsat 7 ETM+ merekam Bumi secara "zig-zag" (gambar 1.1). Perekaman yang zig-zag tersebut mengakibatkan beberapa area terekam dua kali dan ada area yang tidak terekam sama sekali. Efeknya terdapat 22-25% informasi pada citra yang hilang, atau dengan kata lain hanya 75-78% piksel yang dapat digunakan setelah duplikasi dikoreksi (NASA, 2021; Storey et al., 2005).



Gambar 1.1. [atas] Ilustrasi kegunaan SLC pada satelit Landsat 7 ETM+ dan hasil pindaian yang zigzag. [bawah] Efek SLC-off pada citra satelit yang terekam.
Sumber: USGS (2021a).

Selama kerusakan tersebut, kita masih bergantung terhadap ketersediaan data Landsat 5 TM yang telah mengorbit sejak 1 Maret 1984. Landsat 5 TM merupakan generasi satelit Landsat yang paling lama beroperasi, yaitu selama hampir 30 tahun. Sensor satelit Landsat TM telah mengalami kerusakan pada November 2011, dan pemberhentian operasi Landsat 5 pada tanggal 5 Juni 2013 (USGS, 2021b).

Dengan “pensiun”nya Landsat 5 pada tahun 2013, tersisa Landsat 7 yang mengorbit untuk menyediakan data citra permukaan Bumi. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan analisis kebumihutan, diluncurkan Landsat 8 ke orbit pada tanggal 11 Februari 2013.

Karakteristik Umum Landsat 8

Seri satelit Landsat berikutnya, Landsat 8 atau *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), mulai menyediakan produk citra *open access* sejak tanggal 30 Mei 2013. Pengembangan Landsat 8 merupakan kerjasama antara *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *U.S. Geological Survey* (USGS). NASA lalu menyerahkan satelit LDCM kepada USGS sebagai pengelola data terhitung 30 Mei tersebut. Pengelolaan arsip data citra masih ditangani oleh *Earth Resources Observation and Science* (EROS) *Center*. Landsat 8 hanya memerlukan waktu 99 menit untuk mengorbit bumi dan melakukan liputan pada area yang sama setiap 16 hari sekali. Resolusi temporal ini tidak berbeda dengan Landsat versi sebelumnya.

Citra satelit Landsat dapat diunduh secara gratis pada 3 website berikut.

1. EarthExplorer: <https://earthexplorer.usgs.gov>
2. Global Visualization Viewer: <https://glovis.usgs.gov>
3. LandsatLook Viewer: <https://landsatlook.usgs.gov>

Resolusi temporal 16 hari perlu diperpendek untuk analisis temporal yang lebih komprehensif. Seri satelit Landsat berikutnya, Landsat 9 direncanakan akan diluncurkan ke orbit pada bulan September 2021. Landsat 9 akan membawa sensor dengan resolusi geometrik dan radiometrik yang lebih baik. Nantinya, kombinasi Landsat 8 dan Landsat 9 akan membuat resolusi temporal seri satelit Landsat yang dapat digunakan turun menjadi 8 hari.

The figure consists of three screenshots of USGS satellite data portals. The top screenshot shows the EarthExplorer interface with search results for Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 data. The middle screenshot shows the GloVis interface with a map of Indonesia and a selected scene. The bottom screenshot shows the LandLook interface with a map of Indonesia and a table of 291 scenes.

EarthExplorer Search Results:

4. Search Results
If you selected more than one data set to search, use the dropdown to see the search results for each specific data set.
Note: You must be logged in to download and order scenes

Show Result Controls

Data Set
Click here to export your results

Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1

ID: LC08_L1TP_122064_20200524_20200608_01_T1
Acquisition Date: 2020-05-24
Path: 122
Row: 64

ID: LC08_L1TP_122064_20200508_20200526_01_T1
Acquisition Date: 2020-05-08
Path: 122
Row: 64

GloVis Selected Scenes:

Selected Scenes (0)

USGS GloVis
Lat: -6.7002, Lon: 104.9469

Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 LC08_L1TP_122064_20180908_20180912_01_T1

LandLook Scene Table:

Standard Product	LandLook Product	Details	Sensor	Acquisition Date	Path	Row	Tile Number	Cloud Cover	Collection Category	Collection Number	Product ID	Scene ID
☐	☐	☐	OLI	17 Mar 2021	121	64	N/A	7%	RT	1	LC08_L1TP_121064_20210317_20210317_01_RT	LC812106420_21076LGN00
☐	☐	☐	OLI	17 Mar 2021	121	65	N/A	5%	RT	1	LC08_L1TP_121065_20210317_20210317_01_RT	LC812106520_21076LGN00
☐	☐	☐	OLI	02 Dec 2020	122	64	N/A	18%	T1	1	LC08_L1TP_122064_20201202_20210312_01_T1	LC812206420_20337LGN00
☐	☐	☐	OLI	09 Nov 2020	121	65	N/A	0%	RT	1	LC08_L1TP_121065_20201109_20201112_01_RT	LC812106520_20314LGN00

Gambar 1.2. Tampilan muka website untuk mengunduh Landsat 8, [atas] tampilan <https://earthexplorer.usgs.gov/>, [tengah] <https://glovis.usgs.gov/app?fullscreen=1>, dan [bawah] <https://landlook.usgs.gov/landlook/viewer.html>.

Secara umum, Landsat 8 memiliki berat 2.071 kg, dengan tinggi 3 meter dan diameter 2.4 meter. Landsat 8 mengorbit 705 km diatas permukaan Bumi, dengan resolusi temporal 16 hari. Landsat 8 memiliki dua sensor, yaitu *Onboard Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*. Sensor TIRS menggunakan *Quantum Well Infrared Photodetectors (QWIPs)* untuk merekam gelombang inframerah termal yang dipancarkan oleh Bumi.

Landsat 8 memiliki jumlah band sebanyak 11 buah. Diantara band-band tersebut, 9 band (band 1-9) berada pada OLI dan 2 lainnya (band 10 dan 11) pada TIRS. Tabel 1.1 menyajikan band dan panjang gelombang pada Landsat 8 (Loyd, 2013).

Tabel 1.1. Band dan panjang gelombang pada Landsat 8

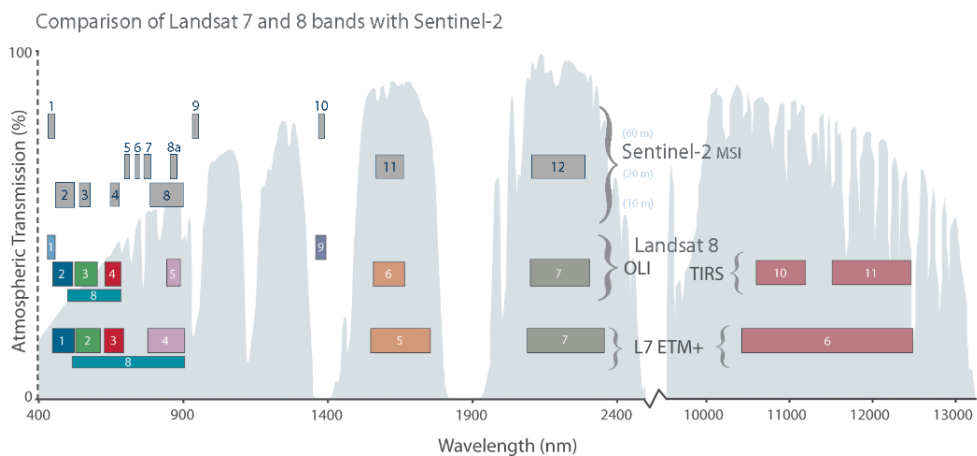
Band	Panjang gelombang (μm)		Resolusi	Aplikasi
1	0.433 - 0.453	Ultra blue/violet	30 m	Gelombang tampak
2	0.450 – 0.515	Biru	30 m	
3	0.525 – 0.600	Hijau	30 m	
4	0.630 – 0.680	Merah	30 m	
5	0.845 – 0.885	Inframerah dekat	30 m	Analisis vegetasi
6	1.560 – 1.660	SWIR 1	30 m	
7	2.100 – 2.300	SWIR 2	30 m	
8	0.500-0.680	Pankromatik	15 m	Resolusi lebih bagus
9	1.360 – 1.390	Cirrus	30 m	Analisis awan
10	10.6 – 11.2	Termal	100 m	Pemetaan suhu bumi
11	11.5 – 12.5	Termal	100 m	

Sensor OLI di Landsat 8 menyediakan 12-bit citra satelit dan merekam objek dengan metode *push-broom*. Jumlah bit ini meningkat signifikan dari Landsat 5 dan 7 yang hanya 8-bit, rentang nilai kecerahan dari 0 – 255 menjadi 0 – 4097 di Landsat 8. Namun, nilai bit direpresentasikan menjadi 16-bit pada citra yang diunduh melalui situs USGS, atau dengan rentang nilai piksel 0 – 55.000. Peningkatan jumlah bit ini meningkatkan perolehan informasi deteksi penggunaan lahan di permukaan Bumi, jika dibandingkan dengan seri Landsat sebelumnya.

Tujuan Pemilihan Band Pada Landsat 8

Sensor pada satelit merekam pantulan gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh objek di permukaan Bumi. Gelombang elektromagnetik tersebut melewati atmosfer untuk mencapai ke sensor. Dalam perjalanannya, terdapat “seleksi” oleh atmosfer, hanya panjang gelombang tertentu yang dapat dengan baik melewatinya hingga ke sensor. Penyebabnya adalah terdapat absorpsi oleh hamburan di atmosfer, seperti aerosol di atmosfer.

Kita mengenal fenomena tersebut dengan nama jendela atmosfer. Hanya terdapat beberapa rentang panjang gelombang yang dapat melewati atmosfer dengan baik untuk mencapai ke sensor. Panjang gelombang tersebut yang dipilih sebagai “band” dalam sensor multispektral satelit. Gambar 1.3 menunjukkan alasan panjang gelombang yang digunakan oleh sensor satelit Landsat 8 berdasarkan besarnya kemampuan gelombang elektromagnetik mentransmisikan energinya ke sensor.

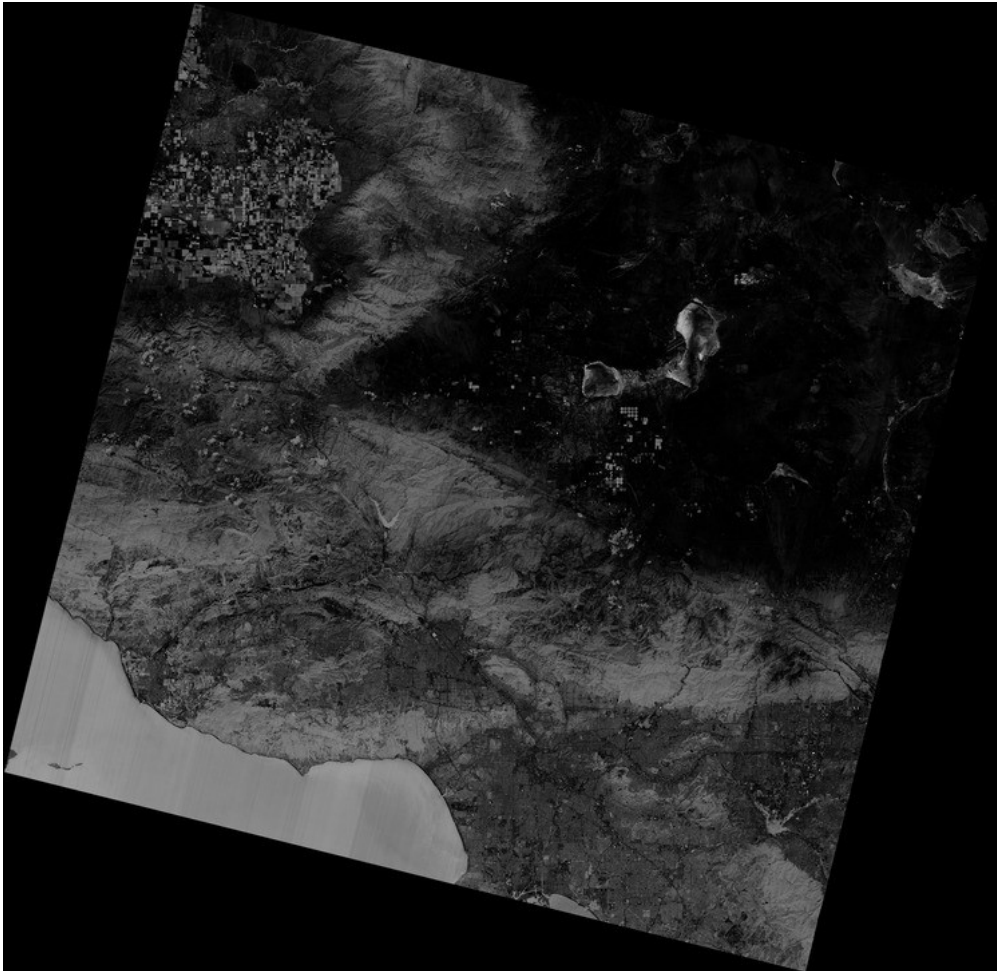


Gambar 1.3. Jendela atmosfer untuk masing-masing band pada satelit Landsat 8 dan Sentinel-2. Sumber: Masek (2021).

Jika dibandingkan dengan pemilihan band pada satelit Sentinel-2, hampir tidak jauh berbeda. Beberapa panjang gelombang yang tidak mampu mentransmisikan gelombang elektromagnetik tidak digunakan dalam pemilihan band di sensor satelit.

Ada beberapa spesifikasi baru yang terpasang pada band Landsat ini khususnya pada band 1, 9, 10, dan 11. **Band 1** (*ultra blue*) dapat menangkap panjang gelombang elektromagnetik lebih rendah dari pada band yang sama pada Landsat 7, sehingga

lebih sensitif terhadap perbedaan reflektan air laut atau aerosol (gambar 1.4). Band ini unggul dalam membedakan konsentrasi aerosol di atmosfer dan mengidentifikasi karakteristik tampilan air laut pada kedalaman berbeda.



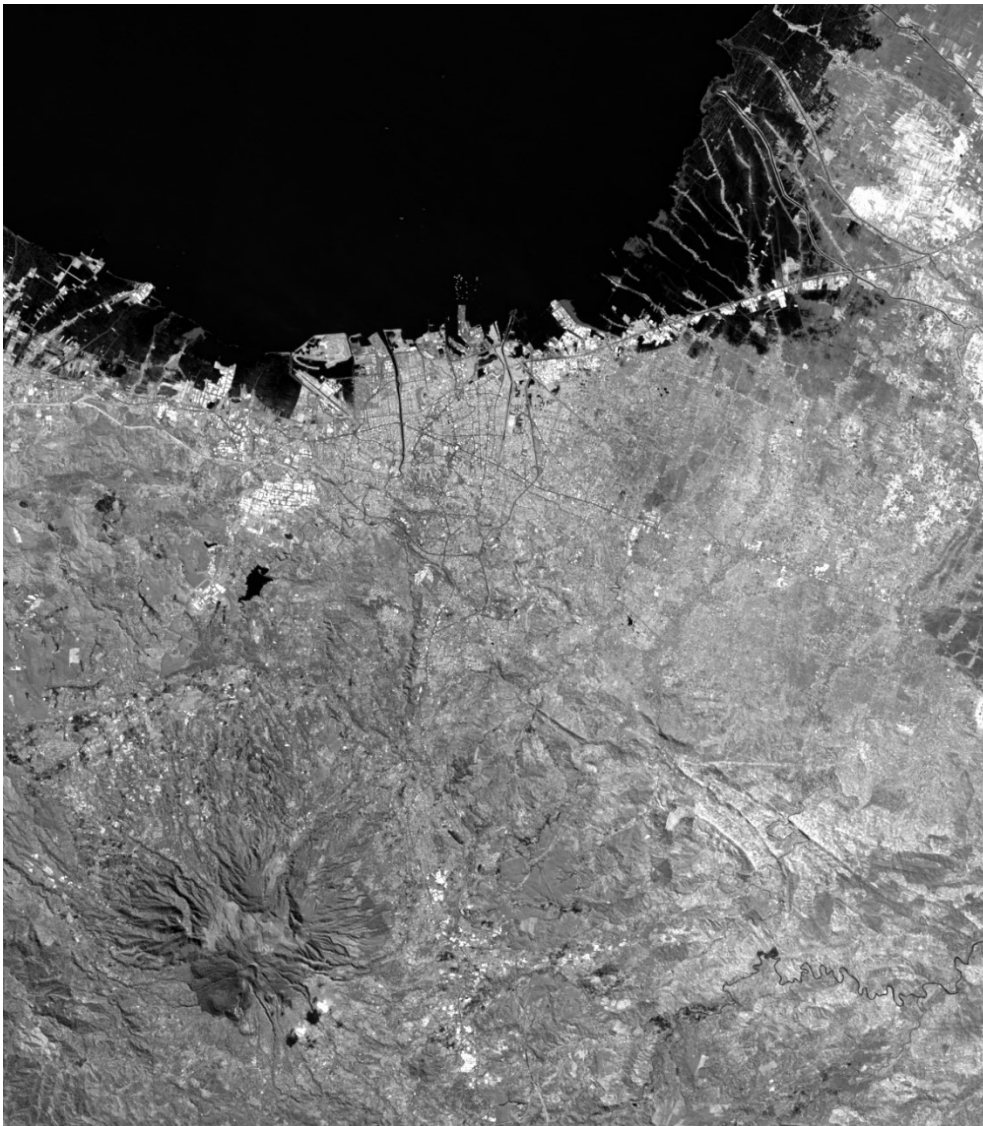
Gambar 1.4. Operasi pengurangan citra (*Image Differencing*), Band 1 dikurang band 2. Laut dan organisme laut memantulkan lebih banyak gelombang biru-violet. Sehingga band 1 dirancang untuk analisis pantai dan aerosol (laut terlihat lebih cerah). Sumber: (Loyd, 2013).

Band 2, 3, dan 4 merupakan band yang dapat terlihat oleh mata manusia, yakni gelombang biru, hijau dan merah. Kombinasi ketiga band tersebut (komposit) menghasilkan citra dengan warna aktual (gelombang tampak) (gambar 1.5).



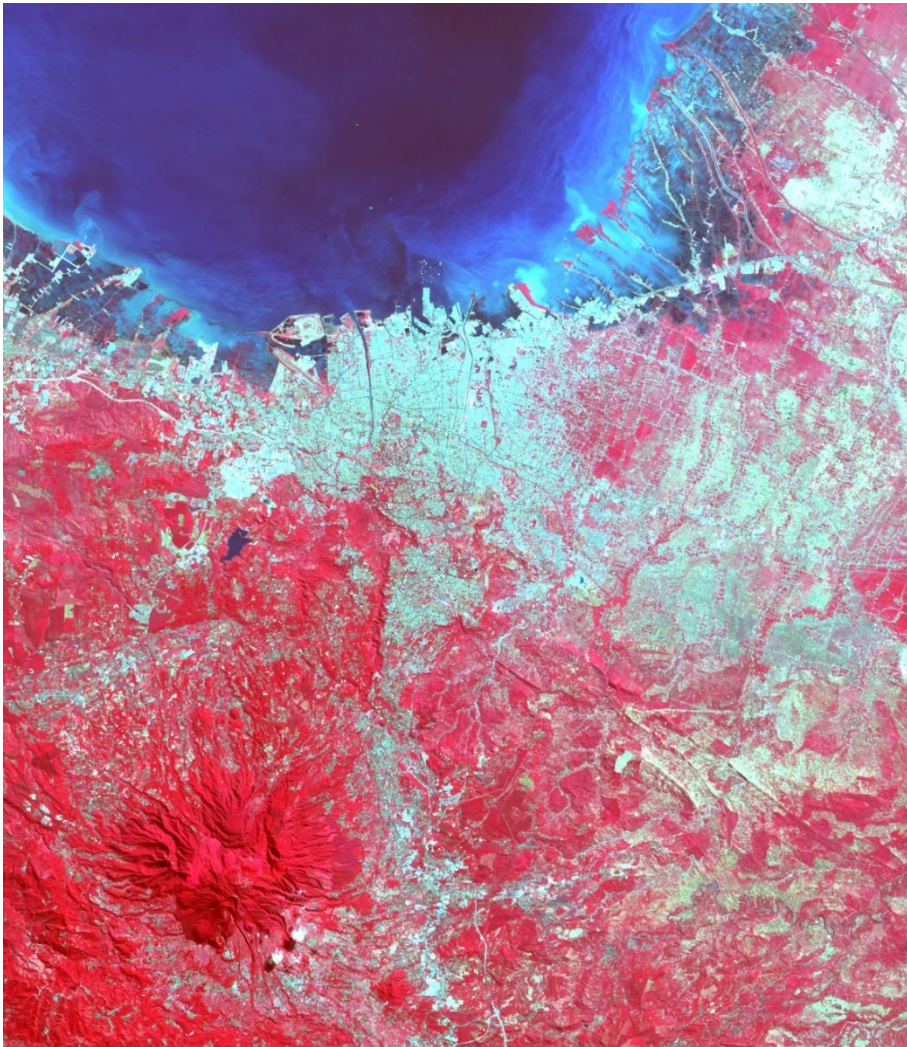
Gambar 1.5. Citra hasil komposit band 4, 3 dan 2 di mana menunjukkan warna alami permukaan Bumi. Citra diatas berada di Kota Semarang dan sekitarnya, terlihat objek air berwarna biru, vegetasi berwarna hijau, dan area perkotaan memiliki kontras yang lebih tinggi karena atap bangunan memantulkan cahaya lebih banyak, dan area lahan terbuka berwarna coklat yang merupakan objek tanah. Citra ini direkam pada tanggal 25 Juni 2019 dan diunduh pada situs USGS.

Sedangkan **band 5** merekam panjang gelombang inframerah dekat atau NIR (gambar 1.6). Spektrum inframerah dekat berguna untuk analisis vegetasi, terutama penilaian kesehatan tanaman. Salah satu indeks vegetasi yang paling sering digunakan adalah NDVI, yang menggunakan panjang gelombang NIR dan hijau.



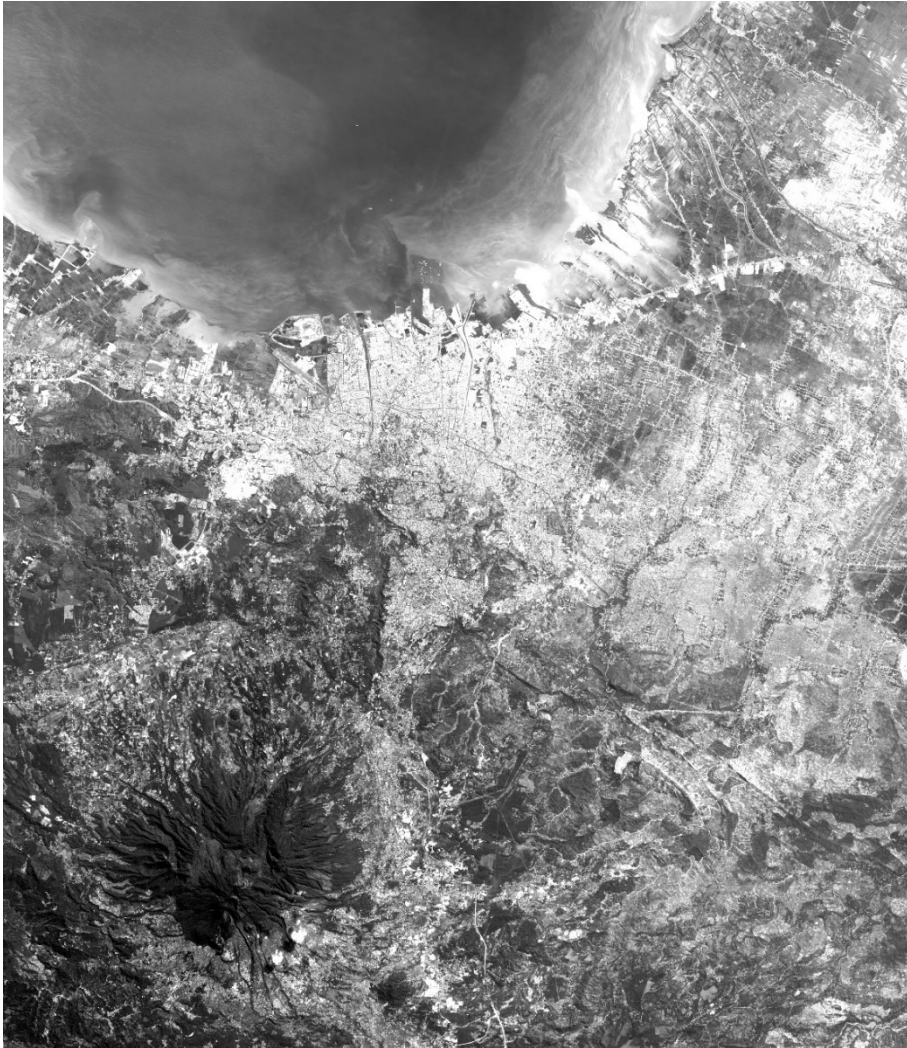
Gambar 1.6. Citra band 5, di mana rona paling gelap (bukan laut) adalah vegetasi dengan kerapatan yang tinggi. Citra ini direkam pada tanggal 25 Juni 2019 dan diunduh pada situs USGS.

Berbeda dengan **band 5**, **band 6** dan **7** merupakan band pada gelombang inframerah yang ditujukan untuk analisis vegetasi. Namun dalam aplikasinya dapat digunakan untuk analisis lain seperti kekeringan, geologi, dan analisis tanah. Gambar 1.7 merupakan komposit yang menonjolkan vegetasi, bandingkan perbedaannya dengan gambar 1.5 yang berupa komposit gelombang tampak.



Gambar 1.7. Komposit 543 menonjolkan keberadaan vegetasi. Warna merah merupakan vegetasi, rona yang semakin gelap menunjukkan kerapatan vegetasi yang semakin tinggi, warna bukan merah adalah bukan vegetasi. Citra ini direkam pada tanggal 25 Juni 2019 dan diunduh pada situs USGS.

Sedangkan **band 8**, adalah band pankromatik (gambar 1.8). Definisi pankromatik adalah perekaman menggunakan spektrum cahaya yang lebih lebar, dalam hal ini adalah spektrum tampak. Sehingga resolusi spasial yang dihasilkan juga lebih baik, yaitu 15 meter. Band pankromatik ini dapat diintegrasikan dengan komposit band 2, 3, dan 4 untuk mendapatkan visual berwarna dengan resolusi yang lebih tinggi (gambar 1.9).



Gambar 1.8. Citra band 8 (pankromatik) yang memiliki resolusi spasial 15 meter. Objek pada band ini ditampilkan lebih baik. Penggunaan band ini seringkali untuk *pan-sharpening* sehingga menghasilkan objek berwarna yang lebih baik resolusi spasialnya.



Gambar 1.9. [atas] Citra komposit 4, 3, dan 2 (warna alami) di kota Malibu, Amerika Serikat. Citra ini akan diintegrasikan dengan citra pankromatik yang memiliki resolusi lebih tinggi, atau disebut dengan proses fusi atau *pan-sharpening*. [bawah] Hasil *pan-sharpened*, resolusi spasial menjadi 15 meter. Terlihat perbedaannya sebelum dan sesudah proses fusi. Sumber: Loyd (2013).

Deteksi terhadap awan sirus (*cirrus*) juga lebih baik dengan dipasangnya **band 9** pada sensor OLI. Band ini banyak memiliki rentang panjang gelombang yang kecil, yaitu 1.360 – 1.390 μm . Pada panjang gelombang ini, hampir seluruh gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh permukaan diserap oleh atmosfer. Sehingga yang terekam oleh sensor adalah pantulan dari objek paling tinggi di atmosfer, yaitu awan. Keberadaan band 9 ini sangat penting terutama dalam analisis suhu permukaan. Seperti yang dijelaskan oleh Fawzi and Iswari (2019), dalam komposit warna alami, citra tampak bebas awan (gambar 1.10). Namun, jika melihat band 9, terlihat jelas keberadaan awan sirus. Keberadaan awan sirus ini mempengaruhi nilai suhu permukaan yang diperoleh (Cornette & Shanks, 1993), tentu saja dalam hal akurasi akan berkurang.

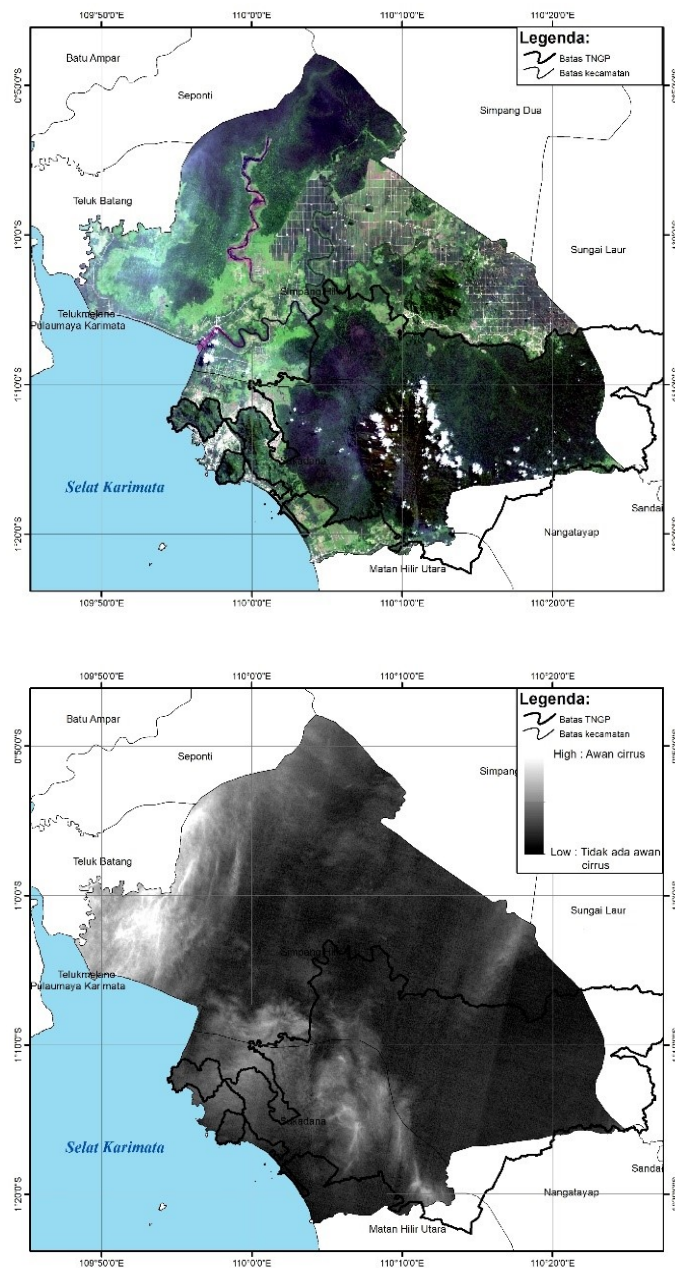
Sedangkan band termal (**band 10 dan 11**) sangat bermanfaat untuk mendeteksi perbedaan suhu permukaan bumi dengan resolusi spasial 100 meter. resolusi spasial band termal pada Landsat 8 lebih rendah dari resolusi di Landsat 7. Hal ini dikarenakan pada Landsat 8 memiliki rentang panjang gelombang yang lebih pendek.

Secara singkat, keberadaan band multispektral pada Landsat 8 mendukung kombinasi band RGB (komposit) sesuai kebutuhan untuk mengungkap fenomena yang terjadi di permukaan Bumi. Tabel 1.2 menunjukkan beberapa pilihan kombinasi band untuk komposit dan tujuan analisisnya (dalam kombinasi RGB).

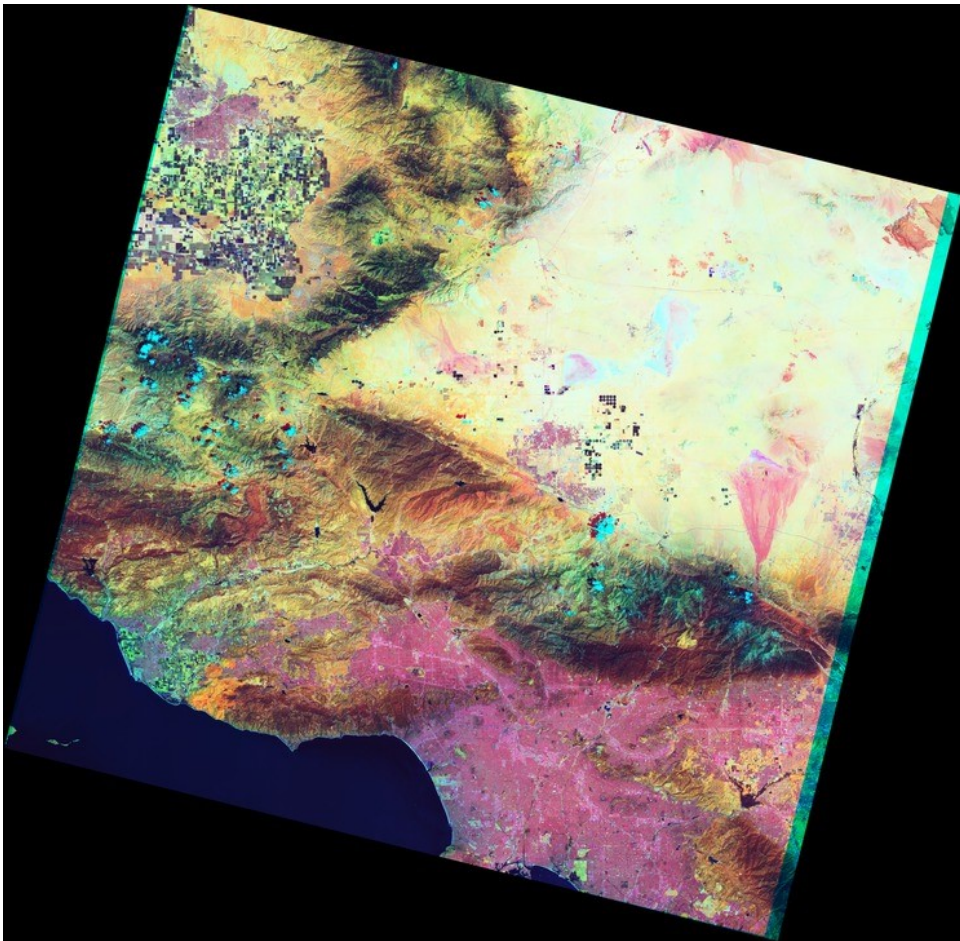
Tabel 1.2. Kombinasi band untuk analisis pada Landsat 8

Tujuan analisis	Kombinasi band (RGB)
Visualisasi gelombang tampak	4 3 2
<i>False color</i> untuk analisis perkotaan	7 6 4
Infrared untuk analisis vegetasi	5 4 3
Agrikultur/pertanian	6 5 2
Penetrasi atmosfer	7 6 5
Menilai vegetasi yang sehat	5 6 2
Daratan/air	5 6 4
Warna alami (dikurangi gangguan atmosfer)	7 5 3
Inframerah dekat	7 5 4
Analisis vegetasi	6 5 4

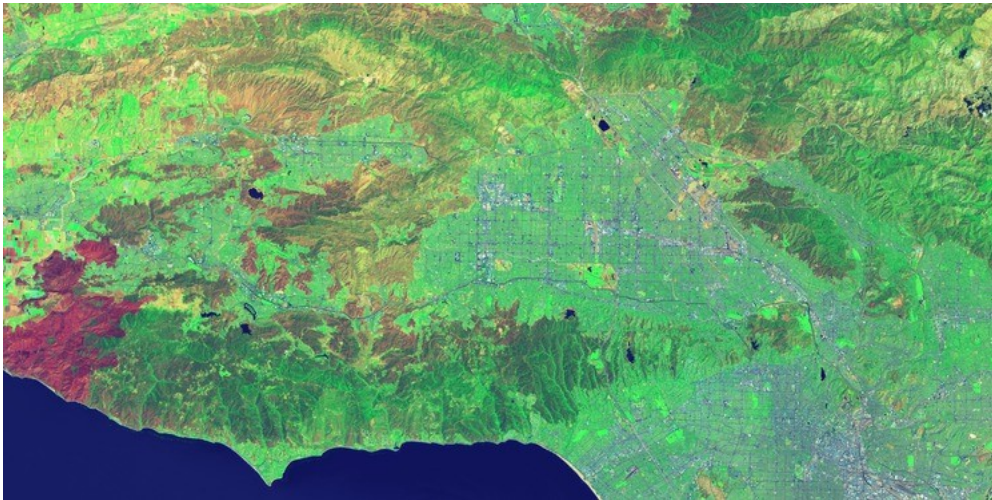
Sumber: (ESRI, 2013)



Gambar 1.10. Citra satelit Landsat 8 di Kabupaten Kayong Utara, Kalimantan Barat, dalam visualisasi komposit gelombang tampak [atas] dan representasi dari band 9 [bawah]. Band 9 mendeteksi keberadaan awan sirus dengan baik. Keberadaan awan sirus ini dapat menjadi pertimbangan dalam pemrosesan digital citra tersebut. Sumber: Fawzi et al. (2019).



Gambar 1.11. Citra dengan kombinasi band 10-7-3. Terlihat area perkotaan dan tanah berwarna merah muda. Kita juga dapat membedakan beberapa jenis vegetasi dari perbedaan ronanya. Sumber: Loyd (2013).



Gambar 1.12. Band 6 dan 7 merekam panjang gelombang inframerah tengah. Kegunaan band ini adalah untuk mengetahui kondisi bumi ketika basah dan kering, dan untuk analisis geologi. Gambar ini komposit 751. Sumber: Loyd (2013).

BAB 2

KOREKSI GEOMETRIK DAN RESOLUSI SPASIAL

Format Data dan Penamaan

Citra Landsat 8 yang diunduh memiliki format *Georeferenced Tagged Image File Format* (GeoTIFF). Format GeoTIFF ini telah terorientasi arah utara, menggunakan *cubic convolution resampling*, dan menggunakan proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM). Datum yang digunakan adalah *World Geodetic System 1984* (WGS84)

Tabel 2.1 merupakan format standar penamaan citra ketika mengunduh citra Landsat 8. Format data yang digunakan adalah tar.gz, sehingga harus di-*extract* terlebih dahulu agar dapat digunakan.

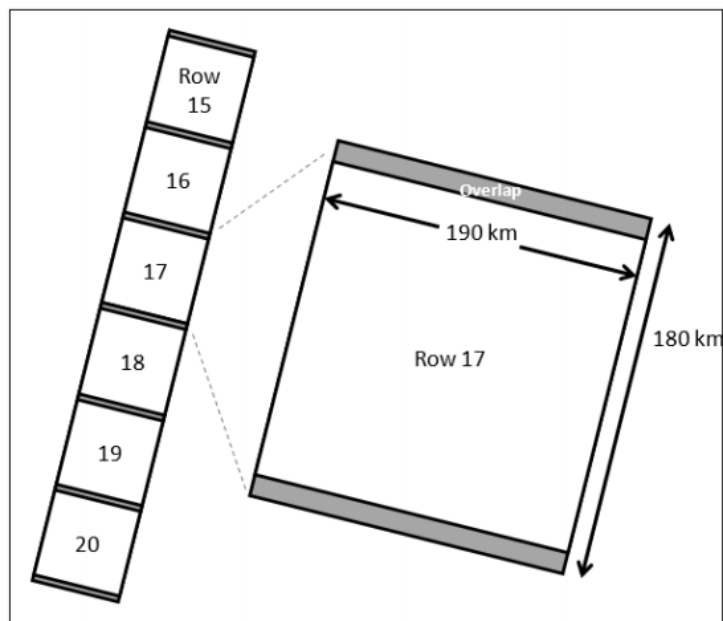
Tabel 2.1. Format penamaan citra satelit 8 yang diunduh melalui website USGS

Format Penamaan	LXSS LLLL PPPRRR YYYYMMDD yyyymmdd CC TX
L	Landsat
X	Sensor “C” = OLI/TIRS (dari kata combine, terdapat 2 sensor) “O” = hanya sensor OLI “T” = hanya sensor TIRS
SS	Seri satelit Landsat (“08” = Landsat 8, “07” = Landsat 7)
LLLL	Level koreksi (L1TP/L1GT/L1GS)
PPP	Path
RRR	Row
YYYYMMDD	Tanggal perekaman citra yang diunduh (tahun/bulan/tanggal)
Yyyymmdd	Waktu pemrosesan data
CC	Penomoran koleksi
TX	Kategori koleksi (“RT” = Real-time, “T1”=Tier 1, “T2” = Tier 2)
Contoh	LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T1

Level Koreksi Landsat 8

Data Level 1 tersedia untuk diunduh, dimana telah terkoreksi radiometrik dan geometrik. Koreksi tersebut dilakukan pada setiap *scene* menggunakan software dan algoritma yang telah teruji. Koreksi geometrik merupakan proses melakukan *georeferencing* pada citra satelit yang telah direkam agar memiliki koordinat dan proyeksi yang sesuai. Sehingga orientasi dan titik lokasi di citra sesuai dengan lokasi di permukaan Bumi.

Parameter yang dikoreksi pada Landsat 8 ini adalah distorsi citra yang terkait dengan sensor, perubahan ketinggian satelit ketika merekam, dan kondisi Bumi seperti rotasi Bumi, lengkungan Bumi, dan relief Bumi. Citra yang terkoreksi geometrik terlihat “miring” karena menyesuaikan dengan sudut perekaman satelit (gambar 2.1). Nilai kesalahan atau eror (*root mean square error*, RSME) dari proses koreksi geometrik ini kurang dari 12 meter (USGS, 2021a).



Gambar 2.1. Koreksi geometrik menyebabkan citra Landsat terlihat “miring” karena menyesuaikan arah utara dan posisi perekaman satelit.

Sedangkan koreksi radiometrik adalah koreksi yang dilakukan untuk memperbaiki nilai piksel citra. Nilai piksel yang direkam oleh satelit adalah pantulan gelombang elektromagnetik – yang dalam prosesnya terjadi atenuasi di afmosfer. Koreksi radiometrik melakukan perbaikan nilai piksel citra agar gangguan dari atmosfer dapat dihilangkan. Hal ini penting terutama untuk analisis multitemporal.



Gambar 2.2. Citra satelit dengan path/row 120/65 yang mencakup provinsi Jawa Tengah (nama file LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T1). Terlihat citra memang miring, namun orientasi objek tetap sesuai arah utara Bumi (secara geometrik telah sesuai).

Citra Landsat yang diunduh dari situs USGS telah terkoreksi geometrik dengan datum WGS 1984. Citra Landsat diproses dengan kategori level-1 dan level-2.

Level-1

- **L1TP** – level koreksi yang paling bagus, karena telah dilakukan koreksi presisi. Makna “T” dan “P” yaitu telah dikoreksi *terrain* dan *precision*. Koreksi *terrain* menggunakan data *digital elevation model* (DEM) dan *precision* menggunakan *ground control points* (GCP). L1TP telah dapat digunakan untuk analisis multi-temporal. Eror dalam proses koreksi geometrik tersebut (*root-mean-square error*, RSME) dapat ditemukan dalam metadata citra.
- **L1GT** - telah dikoreksi radiometrik dan geometrik. Namun tidak dilakukan koreksi presisi, karena data yang tidak mencukupi ini seperti kurangnya *ground control points* (GCP) atau kondisi citra yang tertutup awan. Namun, akurasi level L1GT mendekati L1TP. Hal ini dikarenakan persyaratan akurasi geodetic absolut tanpa GCP pada Landsat 8 harus kurang dari 65 meter atau 2 piksel (Knight & Kvaran, 2014).
- **L1GS** – adalah level koreksi terendah, karena tidak tersedia data GCP atau DEM.

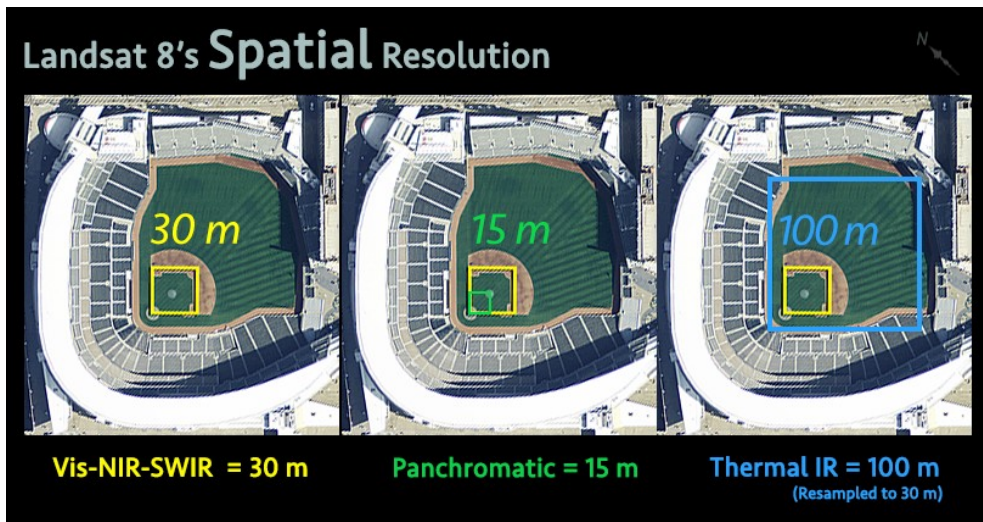
Level-2

USGS juga menawarkan data citra yang telah terkoreksi refleksi permukaan (*surface reflectance*). Namun, untuk mendapatkan data ini harus dipesan terlebih dahulu atau tidak bisa langsung diunduh seperti data level-1. Nilai reflektan pada citra diskalakan antara 0% sampai 100%, yang diolah dengan *Landsat Surface Reflectance Code* (LaSRC).

- **L2SP** – termasuk reflektasi permukaan (SR, *surface reflectance*), suhu permukaan (ST, *surface temperature*), ST *intermediate bands*, *angle coefficients file*, dan band untuk penilaian kualitas (QA, *quality assessment*).
- **L2SR** – termasuk reflektasi permukaan (SR, *surface reflectance*), *angle coefficients file*, dan band untuk penilaian kualitas (QA, *quality assessment*).

Resolusi Spasial

Resolusi spasial band pankromatik adalah 15 meter, band termal 100 meter, dan sisanya adalah 30 meter. Untuk band termal (10 dan 11), resolusi spasial telah di-*resampling* hingga dalam citra memiliki resolusi 30 meter. Alasan itulah mengapa kita dapat melakukan komposit dengan band 10 dan 11.



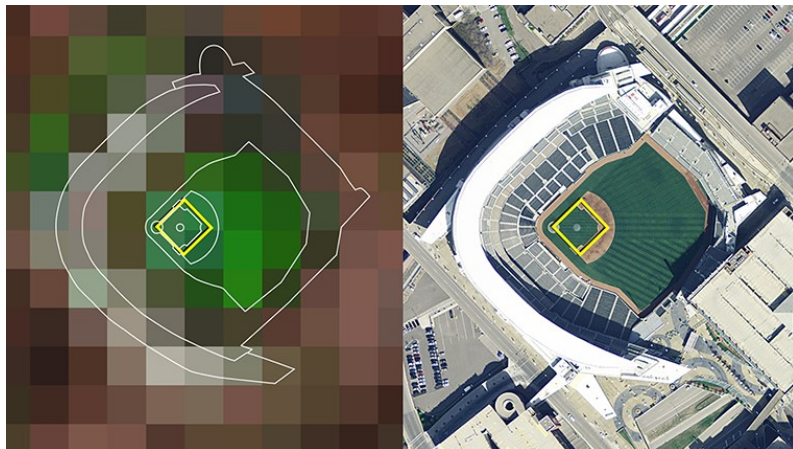
Gambar 2.3. Visualisasi resolusi spasial citra Landsat 8 dan perbandingan tiap masing-masing resolusi 15, 30, dan 100 meter. Sumber: Masek (2021).

Terdapat beberapa pertimbangan yang membuat seri satelit Landsat konsisten memiliki resolusi spasial 30 meter. Hal yang utama, tujuan satelit Landsat adalah untuk observasi kebumian, seperti perubahan tutupan lahan, deforestasi, geologi, pertanian, dan banyak topik lainnya. Setiap *scene* citra Landsat 8 berukuran 185 km x 180 km, sehingga cocok untuk analisis pada tingkat regional atau global, yang memberikan *synoptic view* untuk setiap analisisnya.

Alasan lainnya, citra satelit Landsat 8 memiliki beberapa band dengan panjang gelombang yang berbeda. Kombinasi citra (komposit) akan membuka banyak fitur tersembunyi dari permukaan Bumi yang tidak terlihat dari gelombang tampak. Termasuk banyak indeks yang dikembangkan seperti indeks vegetasi, perkotaan, atau untuk suhu permukaan. Selain itu, dalam perpektif historis, seri satelit Landsat telah menyediakan citra sejak tahun 1980-an. Arsip citra tersebut berguna untuk analisis perubahan permukaan Bumi secara komprehensif.

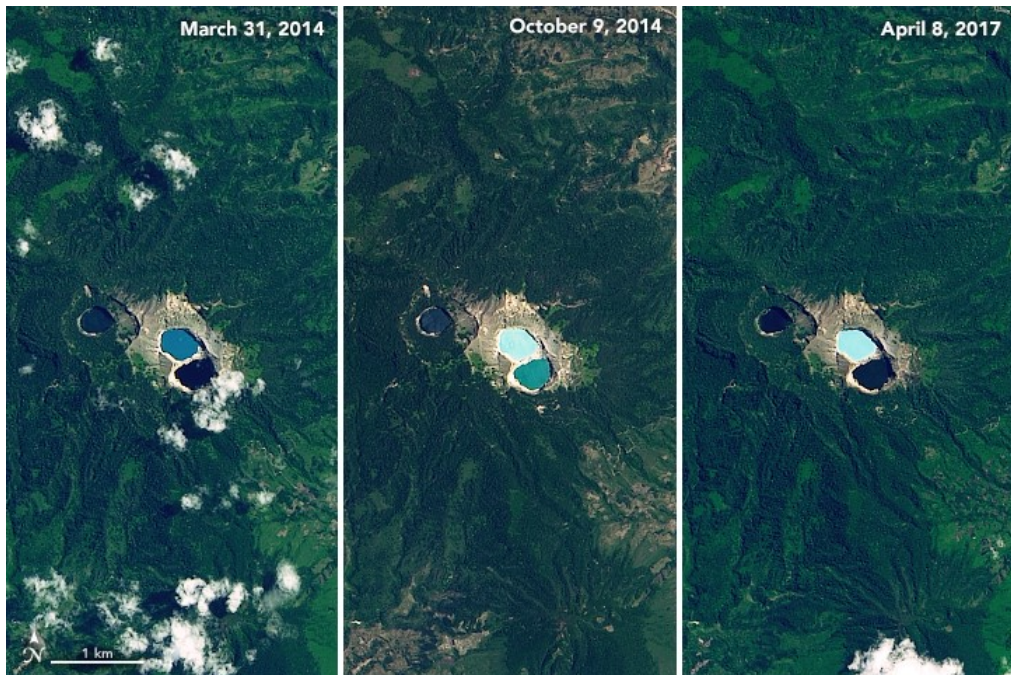


Gambar 2.4. Perbandingan resolusi spasial di area permukiman pada citra ortho resolusi tinggi, Sentinel-2 (resolusi 10 meter), dan Landsat 8 (30 meter). Sumber: Freie Universität Berlin (2021).



Gambar 2.5. Citra Landsat 8 disandingkan dengan foto udara stadion baseball di minneapolis, AS. Terlihat bagaimana resolusi spasial Landsat 8 dibandingkan dengan citra resolusi tinggi. Sumber: Masek (2014).

Pengamatan Citra Landsat 8 (1)



Citra Landsat 8 perekaman tahun 2014 dan 2017 menunjukkan perubahan warna pada danau di Gunung Kelimutu, Nusa Tenggara Timur. Warna di danau dapat berubah menjadi putih, hijau, biru, coklat, atau hitam – yang disebabkan oleh perubahan mineral dan oksigen. Sumber: NASA Earth Observatory (2018a).

Pengamatan Citra Landsat 8 (2)



Observasi banjir lumpur panas di Sidoarjo atau lumpur Lapindo menggunakan komposit warna alami Landsat 8 perekaman 21 Juni 2019. Sumber: NASA Earth Observatory (2019)

BAB 3

KOREKSI RADIOMETRIK LANDSAT 8

Apa itu koreksi radiometrik?

Sensor penginderaan jauh merekam intensitas gelombang elektromagnetik yang mencapai sensor dengan unit radiasi yang diterima sensor. Nilai yang terekam tersebut dengan satuan [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$] pada tiap-tiap band dikonversi menjadi nilai piksel (*digital number*), yang proposional dengan resolusi radiometrik sensor tersebut. Sebagai contoh misalnya Landsat TM dengan rentang nilai piksel 0 -255, berbeda dengan Landsat generasi sebelumnya (MSS) yang hanya 0 – 63, dan sensor terbaru memiliki resolusi radiometrik yang semakin baik, hingga 12 bit, artinya mampu membedakan unit radiasi semakin detail.

Perekaman gelombang elektromagnetik melewati ruang dengan jarak ± 700 km untuk satelit polar dan ± 36.000 km untuk satelit geostasioner. Dengan jarak tersebut, terjadi atenuasi energi, terutama oleh akibat atmosfer. Untuk itu, perlu dilakukan koreksi radiometrik untuk “mengoreksi” energi yang terekam oleh sensor.

Biasanya gangguan atmosfer ini dapat berupa serapan, hamburan, dan pantulan yang menyebabkan nilai piksel pada citra hasil perekaman tidak sesuai dengan nilai piksel obyek sebenarnya di lapangan. Kesalahan radiometrik pada citra dapat menyebabkan kesalahan interpretasi terutama jika interpretasi dilakukan secara digital yang mendasarkan pada nilai piksel. Koreksi radiometrik ini sangat penting untuk dilakukan agar hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan (Chander, et al., 2007).

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

Koreksi radiometrik dijabarkan sebagai pengukuran nilai radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu dari sinar ultraviolet, sinar tampak, inframerah hingga radiasi gelombang mikro yang digunakan untuk mendeteksi objek dari pantulan refleksi irradiant sinar matahari disetiap kanal spectral (Schott, 2007).

Manfaat dari koreksi radiometrik adalah memperbaiki kualitas citra akibat dari kesalahan pantulan permukaan atau kelengkungan bumi dan faktor lain, seperti arah sinar matahari, kondisi cuaca, kondisi atmosfer dan faktor lainnya, sehingga informasi yang dihasilkan menjadi lebih akurat, seperti dapat memperkirakan perbedaan parameter biofisik tanaman (*biophysical vegetation*), diantaranya tingkat konsentrasi klorofil daun. Selain itu, koreksi radiometrik sangat bermanfaat untuk menganalisis data multitemporal dan multi sensor yang digunakan untuk interpretasi dan mendeteksi perubahan secara kontinu.

Koreksi radiometrik akibat pengaruh kesalahan faktor internal sensor sering disebut sebagai koreksi radiometrik sistematis. Pada umumnya produk standar data citra optik resolusi menengah sudah dilakukan koreksi radiometrik sistematis. Namun, informasi dari hasil koreksi sistematis belum sesuai dengan kondisi objek sesungguhnya dikarenakan pada saat radiasi elektromagnetik direkam oleh sensor satelit, radiasi elektromagnetik telah melewati atas atmosfer dan atmosfer bumi sebanyak dua kali, yaitu pada saat sinar matahari mengenai objek dan pada saat objek merefleksikannya ke sensor. Pada proses ini telah terjadi absorpsi dan penghamburan radiasi yang arahnya dapat berubah. Oleh karena dampak dari proses ini adalah adanya *haziness effect* yang mengurangi kontras citra dan *adjacency effect* yang mana nilai radian direkam berdasarkan dari penggabungan dari nilai hamburan piksel yang terdekat. Untuk mengurangi efek tersebut, maka perlu untuk dilakukan koreksi akibat kesalahan faktor eksternal dan koreksi atmosfer.

Koreksi radiometrik akibat pengaruh kesalahan faktor eksternal adalah koreksi radiometrik yang disebabkan oleh perbedaan posisi matahari, sudut perekaman, dan topografi wilayah. Sedangkan proses koreksi radiometri karena faktor eksternal atmosfer meliputi koreksi atmosfer atas (*Top of Atmosphere*), BRDF (*Bidirectional Reflectance Difference Function*), dan *Slope Correction*. Hasil dari koreksi radiometri karena faktor eksternal biasanya berupa nilai reflectance objek yang merupakan rasio dari radian terhadap irradiance.

Jenis koreksi radiometrik: Koreksi radian atau reflektan

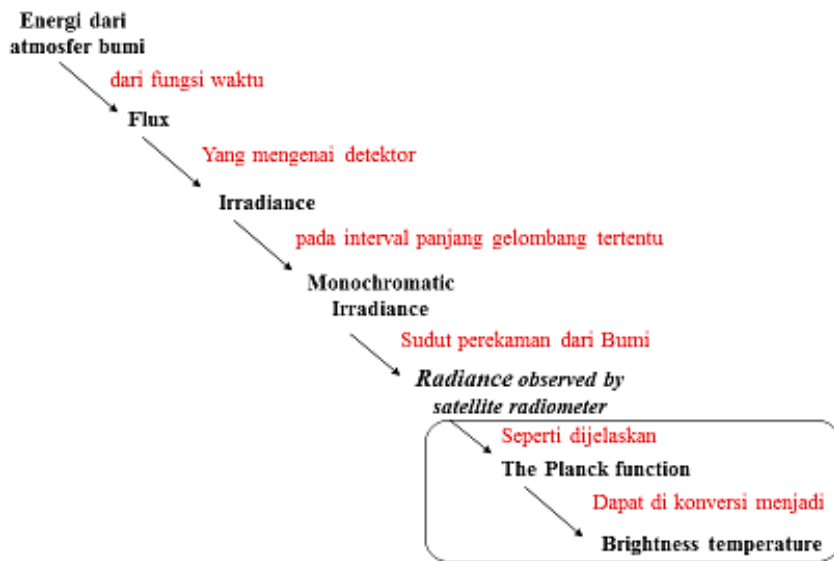
Produk standar Landsat 8 yang diunduh dari USGS merupakan produk citra dengan format GeoTIFF yang telah di konversi atau di skalakan dalam bentuk *Digital Number* (DN, atau nilai piksel). Nilai piksel dengan format 16-bit *unsigned integer* dapat di konversikan kembali dalam bentuk energi yang diterima oleh sensor (bentuk energi sebelum di ubah menjadi nilai piksel).

Unit radiasi elektromagnetik yang direkam sensor adalah $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$. Artinya transfer energi radiasi (Watt, W) yang direkam oleh sensor, per meter persegi di permukaan bumi, untuk satu steradian (sudut 3 dimensi dari bumi ke sensor), per unit panjang gelombang yang diukur. Sehingga ini seringkali disebut dengan nilai radian atau radian spektral. Mengacu Reeves, et al. (1975), nilai radian spektral didefinisikan sebagai fluks radian per unit pada sudut tertentu yang di radiasikan oleh suatu objek ke arah tertentu.

Sebelum peluncuran satelit, hubungan antara nilai radian dan nilai piksel telah ditentukan sebagai kalibrasi sensor. Nilai ini tidak sama dengan nilai reflektan. Sedangkan nilai reflektan merupakan rasio energi yang dipantulkan dengan total energi yang mengenai suatu permukaan per unit area (Reeves et al., 1975). Ekspresi lain yang mendekati maksud ini agar mudah di mengerti adalah albedo. Nilai reflektan diperoleh dengan melakukan konversi dari nilai radian menjadi nilai reflektan, dengan parameter yang berbeda tiap sensor.

Produk Landsat 8 dapat di koreksi menjadi *Top Of Atmosphere* (TOA) **reflectance** atau **radiance** dengan *rescaling* nilai piksel ke dalam nilai satuan energi radiasi yang diterima oleh sensor. Nilai yang digunakan terdapat pada metadata citra (file .MTL). Dapat di katakan, untuk melakukan koreksi radiometrik pada Landsat 8, harus membaca metadata dari citra yang akan di koreksi.

Apa perbedaan *radiance* dan *reflectance* (nilai radian spektral dan nilai reflektan)? Mengacu Reeves, et al. (1975), nilai radian spektral didefinisikan sebagai fluks radian per unit pada sudut tertentu yang di radiasikan oleh suatu objek ke arah tertentu. Secara singkat, berikut adalah tahapan perekaman dari energi dari bumi hingga terekam pada sensor.



Gambar 3.1. Tahapan energi yang mengenai sensor satelit pada perekaman pada citra penginderaan jauh. Sumber: Schmit (2007).

Sedangkan nilai reflektan merupakan rasio energi yang dipantulkan dengan total energi yang mengenai suatu permukaan per unit area (Reeves et al., 1975). Jadi, nilai keduanya merupakan dua jenis terminologi yang berbeda. Seringkali, dalam proses pengolahan citra digital seperti indeks, transformasi, dan lain lain; menggunakan nilai reflektan. Sedangkan menurut penulis, energi radian ini dapat dikonversi menjadi nilai suhu permukaan. Oleh sebab itu dibedakan menjadi nilai radian spektral dan nilai reflektan. Pada Landsat 8 ini, koreksi keduanya dipisahkan secara bersamaan.

Reflektan atau Radian?

Ini adalah menjadi pertanyaan penting, mengingat pengolahan citra membutuhkan nilai yang spesifik.

Nilai radian spektral digunakan untuk pengolahan yang berhubungan dengan suhu permukaan. Pada band termal, koreksi hanya dilakukan konversi menjadi nilai radian. Mengacu pada hal tersebut, Flynn, et al. (2001) yang menjelaskan tentang saturasi sensor, atau kemampuan maksimal sensor mendeteksi suhu. Mengacu pada hukum Wien. Flynn, et al. (2001) menganalisis gunungapi Etna dengan Landsat ETM+, yang menunjukkan bahwa lava dengan suhu yang tinggi dapat di deteksi menggunakan band 4 yang peka terhadap suhu 595 – 926 derajat Celsius, sedangkan pada band 6

termal, hanya peka pada suhu -33 sampai 51 derajat Celsius. Itulah yang menyebabkan pada energi radian spektral memiliki satuan $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, dan reflektan tanpa satuan. Serta perbedaan penggunaan kedua jenis koreksi untuk aplikasinya.

Untuk reflektan, secara luas digunakan untuk pengolahan indeks dan sebagainya. Sebagai contoh indeks vegetasi, hasil paling bagus jika diolah berdasarkan nilai reflektan. Telah dijelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai reflektan yang bagus, harus dilakukan koreksi atmosfer yang mengoreksi posisi matahari, sudut perekaman, dan topografi wilayah. Metode koreksi yang digunakan cukup banyak, salah satu yang cukup baik di gunakan adalah *Radiative transfer Equation*, pada software pengolahan citra ENVI, ini terletak pada *tools FLAASH*.

Namun demikian, untuk memperoleh suhu permukaan dari nilai radian, perlu juga dilakukan koreksi atmosfer, terutama untuk mengoreksi kandungan uap air di atmosfer yang berpengaruh terhadap energi inframerah termal yang dipancarkan.

Beberapa Pertanyaan yang Muncul

1. Banyak sekali tutorial dan cara koreksi radiometrik dengan banyak tahapan. Tahapan tersebut antara lain: dengan menggunakan bandmath (DN-Radian kemudian dilanjutkan Radian-Reflektan dan lanjut ke koreksi matahari, ada yang menggunakan *dark subtract*. Ada juga yang pake band math dengan cara mengurangi nilai DN band dengan nilai minimum band. Manakah yang seharusnya dilakukan?

Pada Landsat 5, 7, koreksi radiometrik secara bertahap mulai dari DN → nilai radian → nilai reflektan → atmosfer/matahari (*sun elevation*)/topografi. Akan tetapi, pada Landsat 8, terjadi perbedaan, DN → nilai radian atau DN → nilai reflektan → atmosfer/matahari (*sun elevation*)/topografi. Pada perangkat lunak yang terbaru, terdapat fitur koreksi otomatis yang memuat parameter-parameter koreksi pada tiap-tiap sensor. Sedangkan pada versi sebelumnya, yang tidak terdapat fitur tersebut, dapat dilakukan dengan *band math* atau *raster calculator*. Intinya sama, yaitu melakukan konversi, dan melakukan koreksi dengan memasukkan parameter-parameter yang sesuai pada tiap tahapannya.

2. Kapan harus melakukan koreksi radiometrik?

Koreksi radiometrik dilakukan jika akan digunakan untuk pengolahan indeks atau yang bersifat multitemporal. Seperti pengolahan NDVI, NDBI, dll, wajib terkoreksi radiometrik hingga reflektan. Namun jika akan digunakan untuk klasifikasi multispektral, tidak perlu dilakukan koreksi radiometrik.

Koreksi radiometrik dilakukan juga sesuai dengan tujuan penelitian. Jika topografi berpengaruh terhadap hasil, maka otomatis perlu dilakukan koreksi pengaruh topografis. Jika topografinya landai dan seragam dan wilayah yang tidak terlalu luas, apakah perlu juga dilakukan koreksi topografi?

3. Bagaimana cara untuk mengecek citra yang telah sukses berhasil di koreksi?

Tidak ada panduan yang jelas apakah citra telah berhasil dikoreksi atau tidak. Terdapat cara mudah untuk mengecek citra telah terkoreksi radiometrik adalah dengan melihat statistik citra tersebut dan membandingkannya pada header citra. Di header citra telah disebutkan rentang nilai radian/reflektan yang mampu direkam oleh sensor (minimal dan maksimalnya), dan juga kuantifikasinya dalam nilai piksel. Jika pada citra yang kita koreksi berada pada rentang tersebut, berarti kita sukses mengoreksinya. Jika tidak, berarti kebalikannya.

4. kenapa di ArcGIS atau QGIS tidak terdapat fasilitas koreksi radiometrik ?

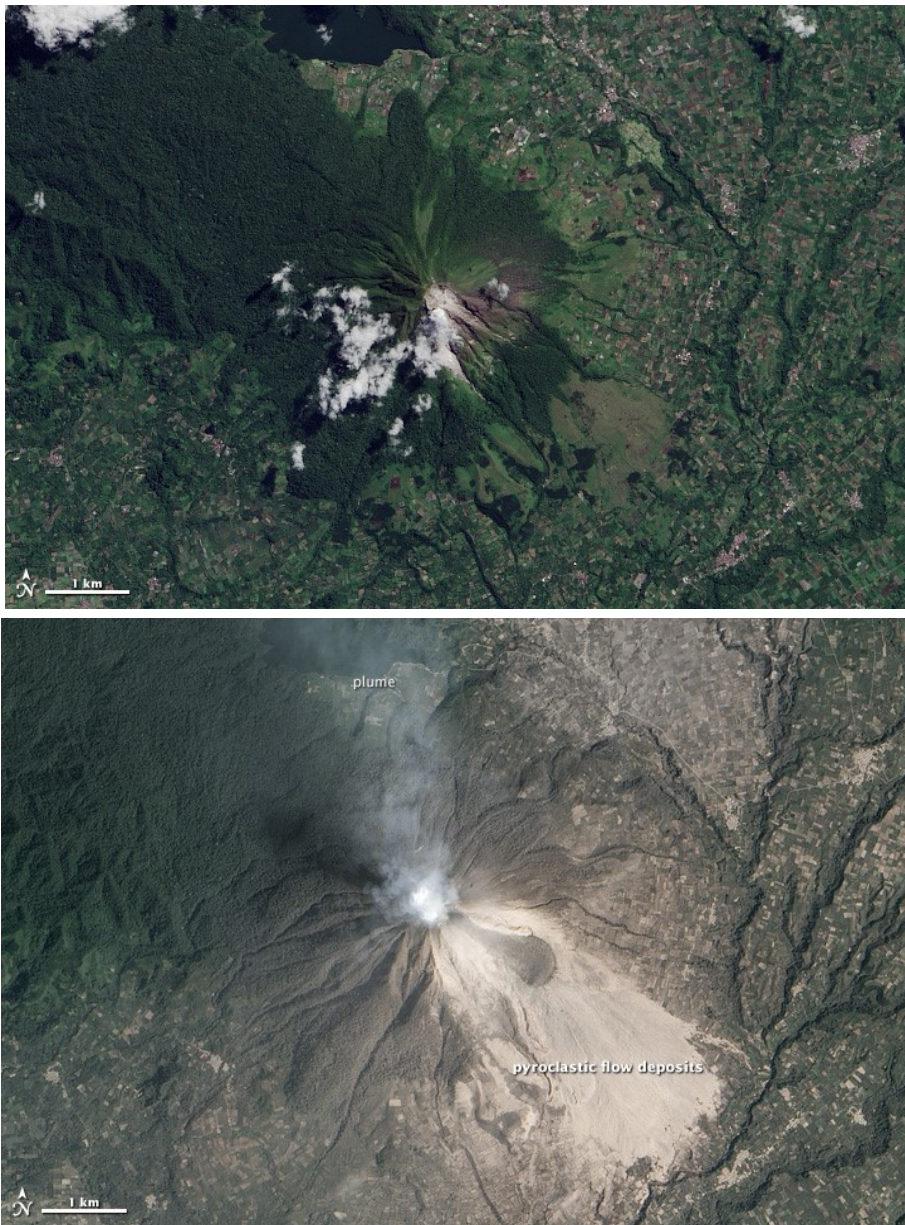
ArcGIS merupakan perangkat lunak untuk analisis Sistem Informasi Geografis. Koreksi pada citra merupakan bagian dari pemrosesan citra digital, dan fitur ini tersedia pada perangkat lunak pengolahan citra seperti ENVI, Bilko, Optiks, ERDAS, dan lain sebagainya. Pertanyaan ini juga bisa di balik, kenapa di ENVI tidak terdapat fitur *overlay* atau *editing atribut*?

Jawabannya karena beda peruntukan untuk analisis dan input datanya, sehingga fitur yang tersedia pun berbeda.

Sebenarnya bisa dilakukan koreksi radiometrik di software GIS, seperti ArcGIS atau QGIS. Yakni dengan menggunakan *raster calculator* yang ada pada ArcGIS seperti *band math* di ENVI. Jadi secara manual melakukan konversi dari nilai piksel (DN) pada citra ke nilai radian/reflektan berdasarkan parameter-parameter koreksi yang telah ditentukan. Di QGIS

saat ini telah dikembangkan banyak plugin untuk koreksi radiometrik, sehingga memudahkan kita dalam proses koreksinya.

Pengamatan Citra Landsat 8 (3)



Kondisi Gunung Sinabung sebelum direkam tanggal 7 Juni 2013 [atas]. Pada tanggal 1 Februari 2014, Gunung Sinabung Meletus yang berdampak besar terhadap perubahan ekosistem. Dengan keterbatasan resolusi temporal, satelit Landsat 8 berhasil merekam setelah letusan pada tanggal 6 Februari 2014 [bawah]. Sumber: NASA Earth Observatory (2014)

Pengamatan Citra Landsat 8 (4)



Vegetasi (warna hijau) disekitar Danau Galilea tanggal 27 Oktober 2020 hasil komposit warna band 6-5-4. Dari citra ini diperlihatkan efek 3-D menggunakan overlay dengan data topografi dari Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Sumber: NASA Earth Observatory (2020)

BAB 4

Konsep Dasar Koreksi Radiometrik Landsat 8

Secara praktek, koreksi radiometrik dapat dilakukan secara otomatis ataupun semi-otomatis. Namun, dalam pada bab ini, dijelaskan konsep dasar teknis koreksi radiometrik Landsat 8 agar mengerti dasar teori pemrosesannya. Terutama bagaimana kita mengerti fungsi header pada citra yang berguna untuk koreksi ini. Koreksi radiometrik secara fundamental merupakan aplikasi persamaan fisika dan matematika yang diaplikasikan ke citra satelit.

Dalam buku ini menggunakan software QGIS untuk melakukan koreksi radiometrik Landsat 8.

Tahapan Koreksi Radiometrik Landsat 8

Konversi Nilai Piksel (DN) ke Nilai Radian Spektral (*TOA Radiance*)

Persamaan berikut merupakan persamaan dasar yang digunakan untuk melakukan konversi nilai piksel menjadi nilai radian spectral (Chander et al., 2009).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{Q_{\text{CAL}_{\max}} - Q_{\text{CAL}_{\min}}} \right) \times (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{CAL}_{\min}}) + L_{\min}$$

Di mana:

L_{λ}	=	radian spektral pada sensor [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$]
Q_{cal}	=	nilai piksel [DN]
Q_{calmin}	=	nilai minimum piksel yang mengacu pada $L_{\text{MIN}_{\lambda}}$ DN)
Q_{calmax}	=	nilai maksimum piksel yang mengacu pada $L_{\text{MAX}_{\lambda}}$ (DN)
L_{MIN}	=	nilai minimal radian spektral [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$]
L_{MAX}	=	nilai maksimal radian spektral [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$]

Nilai masing-masing parameter tersebut, dapat diperoleh di metadata.

Berikut contoh metadata pada file

LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T1.

Landsat 8 perekaman tanggal 25 Juni 29, path/row 120/65, waktu perekaman 02:48:00 GMT+0 (waktu perekaman yang ditulis pada metadata adalah GMT). Jika disesuaikan dengan waktu lokal yaitu WIB (GMT+7), sehingga citra direkam pada pukul 09:50:03 WIB).

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0701907038234_00015"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LC81200652019176LGN00"
    LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2019-07-05T14:14:13Z
    STATION_ID = "LGN"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_13.1.0"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO

GROUP = PRODUCT_METADATA
  DATA_TYPE = "L1TP"
  COLLECTION_CATEGORY = "T1"
  ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
  OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
  SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
  SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
  WRS_PATH = 120
  WRS_ROW = 65
  NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
  TARGET_WRS_PATH = 120
  TARGET_WRS_ROW = 65
  DATE_ACQUIRED = 2019-06-25
  SCENE_CENTER_TIME = "02:48:00.2184960Z"

GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 735.77271
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -60.76035
  . . .
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
  QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
  QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
  . . .
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE

```

USGS (2019) menggunakan cara lain untuk memperoleh nilai radian spektral ini. Ininya dengan rescaling nilai piksel menggunakan nilai scaling yang tertera pada metadata. Persamaan yang digunakan:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Di mana:

- L_{λ} = radian spektral pada sensor [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$]
- Q_{cal} = nilai piksel [DN]
- M_L = konstanta rescaling [RADIANCE_MULT_BAND_x, di mana x adalah band yang digunakan]
- A_L = konstanta penambah [RADIANCE_ADD_BAND_x, di mana x adalah band yang digunakan]

Nilai masing-masing konstanta dapat diperoleh pada metadata citra. Nilai RADIANCE_MULT_BAND_x dan RADIANCE_ADD_BAND_x berbeda setiap band, jadi hal ini harus menjadi perhatian dalam input ke persamaan.

```
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
  RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2152E-02
  RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2444E-02
  . . .
  RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
  RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04

  RADIANCE_ADD_BAND_1 = -60.76163
  RADIANCE_ADD_BAND_2 = -62.22065
  . . .
  RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
  RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
  . . .
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
```

Konversi Nilai Piksel (DN) ke Nilai Reflektan (TOA *reflectance*)

Untuk band termal, level koreksi hanya pada konversi menjadi nilai radian spektral, hal tersebut dikarekan band termal bukanlah band pantulan, tetapi pancaran energi inframerah termal. Untuk band tampak, perlu dilakukan koreksi lanjutan yaitu koreksi atmosfer yang berguna menurunkan variabilitas antar scene citra.

Pada Landsat 7, proses koreksi dilakukan dengan merubah nilai piksel menjadi nilai radian (radiasi dari objek ke sensor) dan merubah lagi menjadi reflektansi (rasio antara radian dan irradian antara radiasi objek ke matahari dan radiasi matahari ke objek). Persamaan konversi diperlihatkan pada persamaan dibawah ini.

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

Di mana ρ_{λ} merupakan nilai reflektan (tanpa unit), π adalah konstanta matematika (~3,14159), d adalah jarak matahari – bumi (unit astronomi), $ESUN_{\lambda}$ adalah rerata *exoatmospheric* irradiansi matahari ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$), dan θ_s adalah sudut zenith matahari (derajat). Nilai-nilai yang dibutuhkan dalam persamaan didapatkan pada penelitian (Chander et al., 2009).

Pada Landsat 8, tidak menggunakan nilai radian spektral (L_{λ}), nilai yang digunakan adalah *rescalling* nilai piksel (Q_{cal} , Digital Number).

Pada Landsat 8, koreksi reflektan didapatkan dengan persamaan (USGS, 2019, 2021d):

$$\rho_{\lambda}' = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}$$

Di mana:

- ρ_{λ}' = Nilai reflektan citra (nilai min dan max tertera pada header citra). ρ_{λ}' tidak memuat koreksi untuk sudut matahari
- Q_{cal} = nilai piksel [DN]
- M_{ρ} = konstanta rescalling [REFLECTANCE_MULT_BAND_x, di mana x adalah band yang digunakan]
- A_{ρ} = konstanta penambah [REFLECTANCE_ADD_BAND_x, di mana x adalah band yang digunakan]

Nilai REFLECTANCE_MULT_BAND_x dan REFLECTANCE_ADD_BAND_x hampir sama pada setiap band.

```

GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING

```

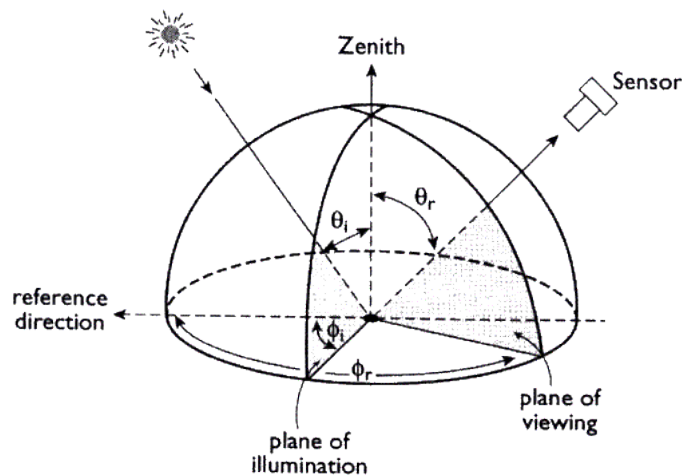
Hasil pengolahan ini (ρ_i'), nilai min dan maks tergantung pada nilai yang tertera pada metadata.

```

GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE

```

Untuk mendapatkan nilai reflektan, maka harus di koreksi sudut matahari (pengaruh dari sudut matahari disajikan pada gambar 4.1).



Gambar 4.1. Pengaruh sudut pengambilan dan sudut matahari pada energi yang diterima oleh sensor. Sumber: Reeves et al. (1975).

Sehingga, koreksi reflektan dapat dihasilkan pada persamaan dibawah ini. Nilainya dapat bervariasi tergantung sudut matahari pada saat perekaman.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})}$$

Di mana:

- $\rho\lambda$ = TOA planetary reflectance [tanpa unit]
- $\rho\lambda'$ = hasil pengolahan sebelumnya, tanpa koreksi sudut pengambilan. $\rho\lambda'$ tidak memuat koreksi untuk sudut matahari
- θ_{SE} = Sudut elevasi matahari ketika perekaman (*sun elevation*) diperoleh pada header citra

. . .

SUN_AZIMUTH = 41.05932415
 SUN_ELEVATION = 48.92714932
 EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0163724

θ_{SZ} = Sudut zenith; $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

Persamaan diatas dapat disederhanakan untuk mempermudah perhitungan.

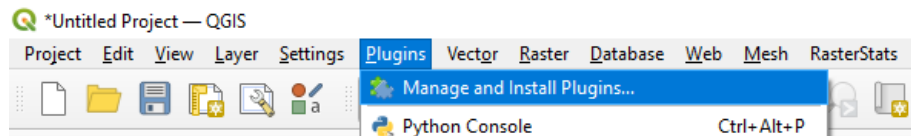
$$\rho\lambda = \frac{M_\rho Q_{cal} + A_\rho}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{M_\rho Q_{cal} + A_\rho}{\sin(\theta_{SE})}$$

BAB 5

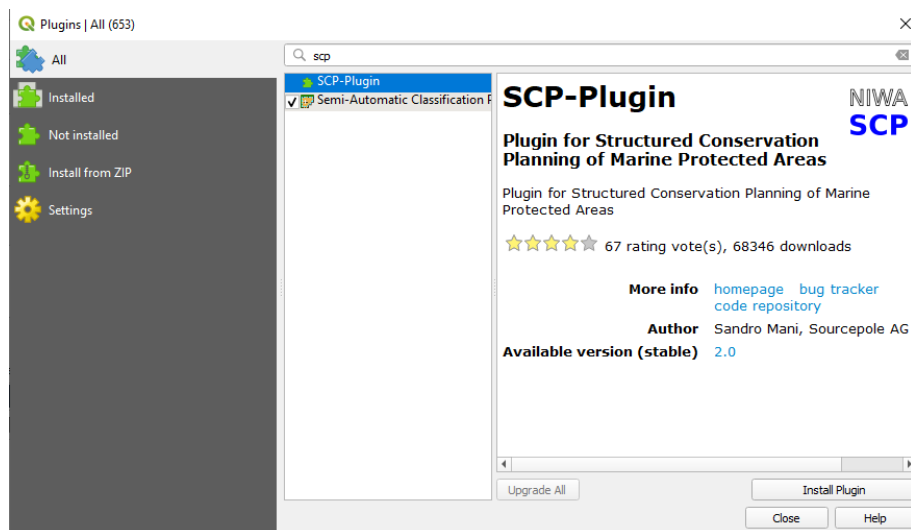
TEKNIS KOREKSI RADIOMETRIK (REFLEKTAN) MENGGUNAKAN QGIS

1. Unduh SCP-Plugin (*Semi-automatic Classification Plugin*).

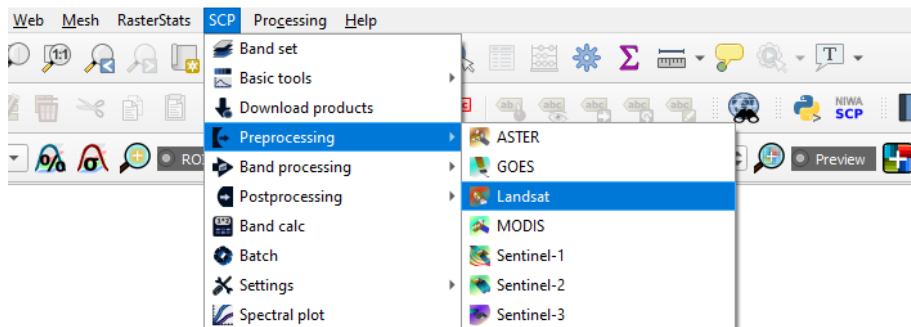
Plugins → Manage and Instal Plugin



Lalu ketik “SCP” pada kotak pencarian. Setelah ditemukan, klik **Instal Plugin**.



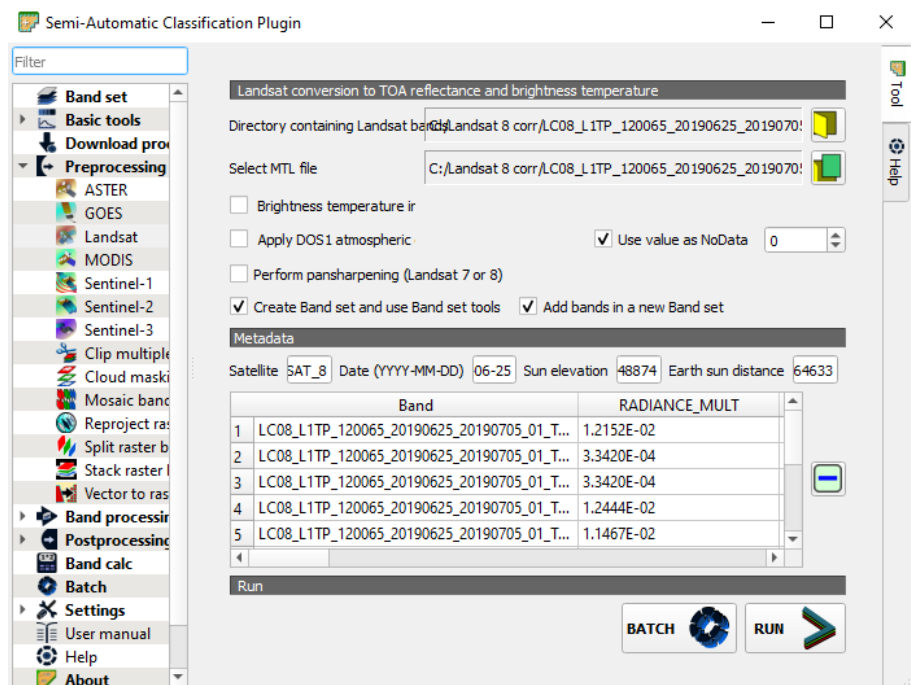
Setelah diinstal, maka akan muncul menu baru → **SCP**. Kita menggunakan **Preprocessing** untuk pengolahan koreksi radiometrik pada citra **Landsat 8**.

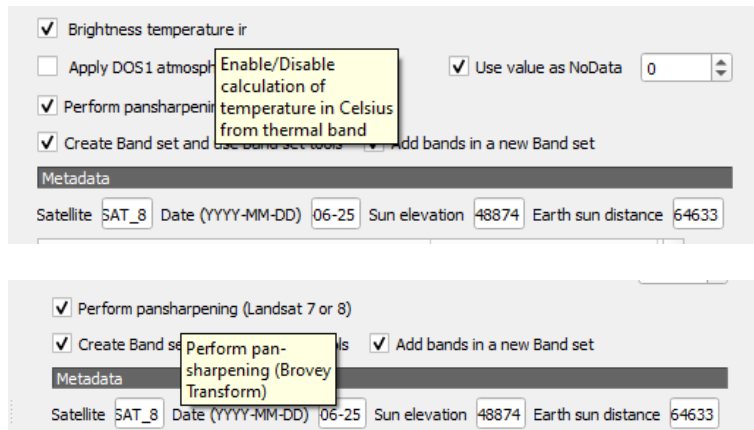


2. Masukkan parameter citra Landsat untuk proses koreksi.

Setelah meng-klik **Landsat**, maka akan muncul tampilan berikut. Masukkan parameter-parameter yang diperlukan.

- Folder penyimpanan citra yang telah diextract.
- Metadata citra (MTL).
- Pilih output apa yang diinginkan, termasuk *brightness temperature* dan *pan-sharpening*.



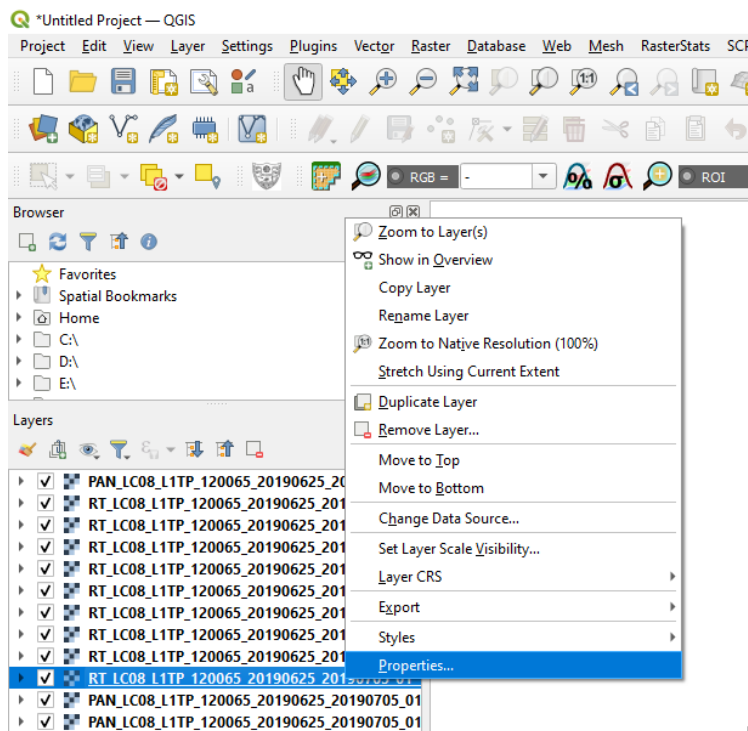


Jika seluruh parameter telah dimasukkan, klik  (Run).

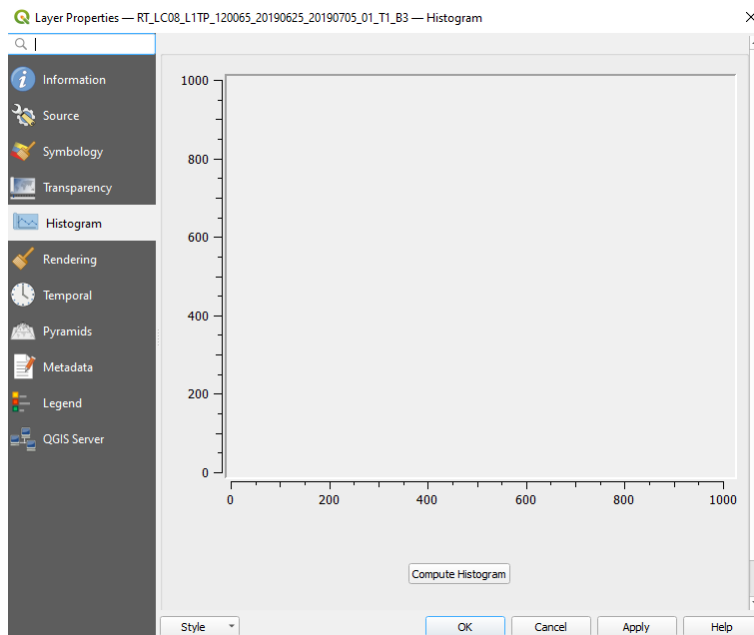
Kemudian muncul *pop-up* untuk menentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan. Disarankan untuk membuat folder baru.

3. Melihat statistik hasil pengolahan.

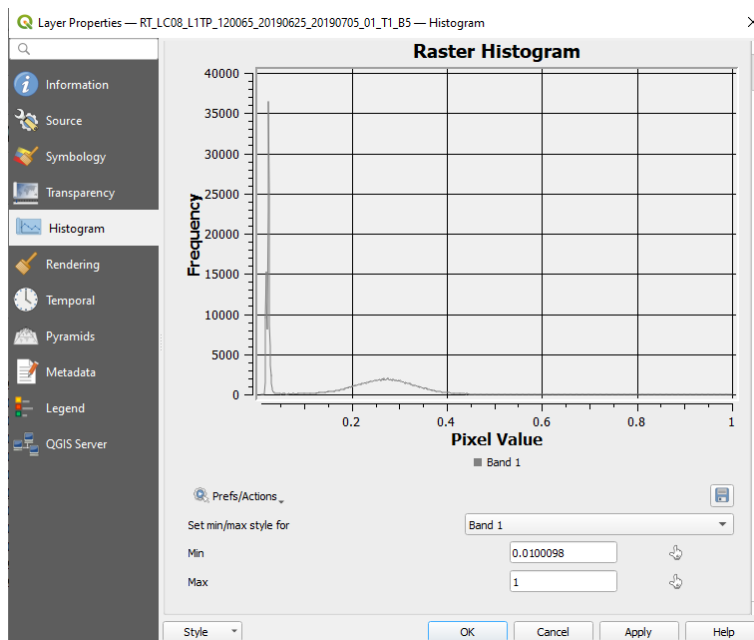
Pilih salah satu citra yang akan dilihat hasilnya, **klik kanan** lalu pilih **Properties**.



Pilih Histogram → Compute Histogram



Kemudian cek hasilnya, apakah sesuai dengan header citra.

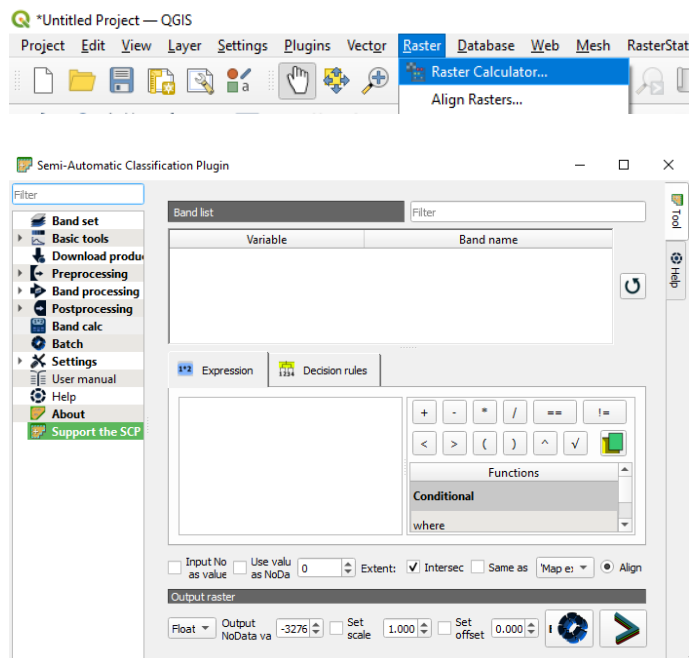


Sebagai contoh, diatas adalah histogram untuk band 5. Terlihat bahwa nilai min = 0.01 dan nilai max = 1. Jika kita lihat pada metadata citra untuk nilai reflektan

```
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
```

Hasil pengolahan berada pada rentang yang benar sesuai informasi pada header citra. Dengan demikian, kita dapat mengolah citra ini untuk proses berikutnya.

Untuk koreksi ini, kita juga dapat melakukan secara manual menggunakan **SCP → Band Calc** menu atau **Raster → Raster Calculator**



BAB 6

PEROLEHAN SUHU PERMUKAAN MENGUNAKAN CITRA LANDSAT 8

Definisi Suhu Permukaan Dalam Penginderaan Jauh

Sensor penginderaan jauh merekam intensitas gelombang elektromagnetik yang mencapai sensor dengan unit radiasi yang diterima sensor yaitu $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$. Nilai yang terekam tersebut dengan satuan $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ pada tiap-tiap band dikonversi menjadi nilai piksel (*digital number*), yang proposional dengan resolusi radiometrik sensor tersebut. Untuk suhu permukaan, energi radiasi tersebut dipancarkan oleh objek di permukaan Bumi yang memiliki suhu permukaan diatas nol mutlak. Energi yang dipancarkan tersebut kemudian direkam oleh sensor penginderaan jauh.

Dalam proses pengolahan citra, terdapat konversi dari nilai piksel $\rightarrow$ unit radiasi ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$) $\rightarrow$ suhu permukaan. Dalam konversi tersebut, persamaan yang digunakan adalah Hukum Planck. Hukum radiasi benda hitam Planck merupakan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh benda hitam sebagai fungsi dari suhu absolut benda hitam tersebut. Radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam dapat hitung dengan persamaan:

$$E_{\lambda} = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \left[\frac{1}{e^{\frac{h c}{\lambda k_B T}} - 1} \right]$$

di mana:

- E_{λ} = radian spektral e [$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$]
- λ = panjang gelombang [μm]
- h = konstanta Planck [$6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$]
- c = kecepatan cahaya [$2.9979246 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$]
- T = suhu absolut [K]
- k_B = konstanta Boltzmann [$1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$]

Persamaan diatas juga berpengaruh pada setiap kenaikan suhu objek. Apabila suhu objek naik maka terjadi juga peningkatan intensitas radiasi yang dipancarkan, dengan puncak bergeser ke panjang gelombang yang lebih pendek. Kemudian, radiasi yang dipancarkan tersebut direkam oleh sensor satelit penginderaan jauh.

Hal selanjutnya, yakni dilakukan estimasi suhu permukaan dari nilai yang terekam pada citra satelit. Pengukuran ini menghasilkan suhu radian (T_{sr}) yang merupakan suhu terekam di citra. Secara matematis suhu radian dapat diperoleh dengan persamaan matematis berikut (Tang & Li, 2014).

$$T_{sr} = E_{\lambda}^{-1} \left[\frac{L_{\lambda}}{\varepsilon_{\lambda}} \right]$$

di mana:

- E_{λ}^{-1} = pembalikan dari persamaan hukum Planck
- L_{λ} = citra band termal yang telah terkonversi menjadi nilai radian
- ε_{λ} = emisivitas objek

Untuk suhu radian yang diestimasi dari citra satelit, maka hal tersebut disebut dengan suhu kecerahan/*brightness temperature* (T_b). Hal yang membedakan dengan T_{sr} , T_b adalah integral dari radian terukur dan panjang gelombang sebagai respon dari sensor. Maksudnya dengan persamaan ini, diasumsikan suhu terekam pada sensor adalah sama dengan suhu pada benda hitam. Atau secara matematis direpresentasikan dengan persamaan:

$$T_b = E_{\lambda}^{-1} \left[\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) L_{\lambda} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) d\lambda} \right]$$

di mana:

- E_{λ}^{-1} = pembalikan dari persamaan hukum Planck
- λ = panjang gelombang
- λ_1 dan λ_2 = batas bawah dan atas dari panjang gelombang pada band i
- L_{λ} = nilai radian terukur pada panjang gelombang λ
- $f_i(\lambda)$ = fungsi respon spektral sensor pada band i

Pada citra Landsat 8, untuk memperoleh T_b , digunakan persamaan berikut.

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

Di mana:

- T = suhu radian dalam satuan Kelvin [K],
- L_λ = nilai radian spektral,
- K_1 = Konstanta Kalibrasi radian spektral [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$], diperoleh pada metadata untuk band 10 atau 11.
- K_2 = Konstanta kalibrasi suhu absolut [K], diperoleh pada metadata untuk band 10 atau 11.

Suhu dari objek yang terekam atau suhu radian (T_{sr}) tergantung pada dua faktor – suhu kinetik (T_{kin}) dan emisivitas (ϵ). T_{kin} merupakan manifestasi internal energi dari objek yang diradiasikan dalam bentuk fungsi dari suhu, sedangkan T_{sr} merupakan energi yang dipancarkan secara eksternal yang di indera oleh sensor termal (Lillesand et al., 2008).

Dengan kata lain, jika mengetahui suhu radian dan emisivitas objeknya, maka akan dapat ditentukan suhu kinetik objek tersebut. T_{sr} merupakan suhu aktual yang diperoleh dari pengukuran menggunakan teknik penginderaan jauh yang telah terkoreksi atmosfer maupun emisivitas. Jika tidak terdapat proses tersebut, dapat dikatakan suhu yang diperoleh hanya berupa suhu kecerahan - T_b .

Metode Perolehan Suhu Permukaan

Terdapat dua metode dalam ekstraksi suhu permukaan menggunakan data penginderaan jauh, yakni metode *single channel* dan *multi-channel*. Maksud dari metode *single channel* adalah metode ekstraksi suhu permukaan dengan hanya menggunakan satu band inframerah termal saja.

Beberapa sensor inframerah termal di satelit memiliki variasi jumlah band termal yang disediakan. Misalnya, Landsat 5 hanya memiliki satu band termal, Landsat 7 memiliki 2 band, sensor ASTER memiliki 5 band termal. Jika dalam perolehan suhu permukaan hanya digunakan satu band termal saja, maka metode *single channel* ini adalah yang digunakan. Contoh lebih mudah, jika kita melakukan ekstraksi suhu

permukaan dari citra Landsat 5 yang hanya memiliki satu band termal, maka metode yang kita gunakan adalah metode *single channel*.

Pada metode ini, perolehan suhu permukaan menggunakan koreksi atmosfer. Parameter yang dikoreksi antara lain absorpsi oleh atmosfer, emisi permukaan Bumi melalui nilai transmitansi atmosfer, di mana parameter tersebut membutuhkan input profil atmosfer. Secara matematis, suhu permukaan diperoleh dengan inversi persamaan transfer radiasi, atau dengan persamaan:

$$T_{sr} = E^{-1} \left[\frac{B_i(T_s) - R_{at\uparrow} - (1 - \varepsilon_i) R_{at\downarrow} \tau_i}{\varepsilon_i \tau_i} \right]$$

di mana:

- E^{-1} = Inversi fungsi persamaan hukum Planck
- ε_i = Emisivitas pada band i
- $R_{at\uparrow}$ = Radiasi termal *upwelling* [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$]
- $R_{at\downarrow}$ = Radiasi termal *downwelling* [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$]
- τ_i = Transmitansi atmosfer

Sedangkan untuk metode *multi-channel*, arti kata *multi-channel* adalah menggunakan dua band atau lebih untuk menghasilkan citra suhu permukaan yang akurat. Metode ini dapat dinamakan juga sebagai metode teknik *split-window*. Metode ini dikembangkan pertama kali pada bulan November 1981 (Li et al., 1998). Tujuannya untuk meningkatkan akurasi pada citra dengan resolusi yang rendah dengan menggunakan dua citra atau lebih pada panjang gelombang yang berbeda untuk meningkatkan akurasi. Dengan perbedaan panjang gelombang inframerah termal tersebut, dapat dihitung atenuasi oleh atmosfer dan koreksi yang dapat dilakukan.

Secara umum, algoritma *split-window* menggunakan persamaan transfer radiasi. Dengan penggunaan dua band berarti menggunakan dua panjang gelombang berbeda. Panjang gelombang yang digunakan itu seringkali berada pada rentang 10 – 11 μm dan 11 – 12 μm . Secara matematis, dapat disajikan pada persamaan berikut.

$$B_i(T_i) = \varepsilon_i B_i(T_s) \tau_i + (1 - \varepsilon_i) R_{at\downarrow} \tau_i + (1 - \tau_i) B_i(T_{a\uparrow})$$

$$B_j(T_j) = \varepsilon_j B_j(T_s) \tau_j + (1 - \varepsilon_j) R_{at\downarrow} \tau_j + (1 - \tau_j) B_j(T_{a\uparrow})$$

di mana i dan j merupakan band berbeda yang digunakan. Metode ini pertama kali digunakan untuk mendapatkan suhu permukaan laut (*sea surface temperature*), di mana satelit untuk pemantauan laut seringkali menggunakan resolusi yang rendah. Walaupun demikian, terdapat beberapa metode *split-window* yang dikembangkan saat ini.

Permasalahan yang Sering Ditanyakan

1. Single channel atau Multi-channel?

Pemilihan metode perolehan suhu permukaan didasarkan atas akurasi yang dihasilkan. Pada normalnya, akurasi yang dihasilkan dengan eror sebesar $\pm 1^\circ\text{C}$. Band termal satelit pada umumnya seperti Landsat dan ASTER, metode perolehan seringkali digunakan adalah *single channel* saja, seperti persamaan perolehan T_b pada Landsat 8 yang telah dijelaskan diatas.

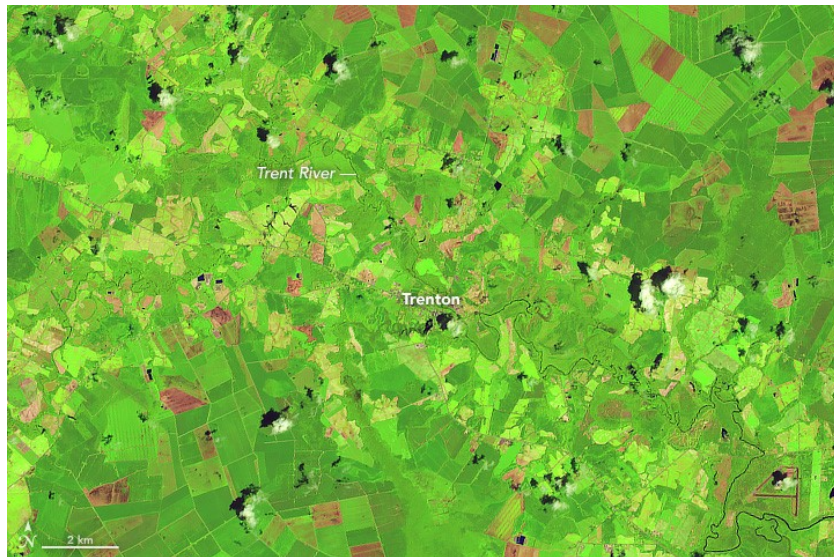
Sedangkan pada satelit cuaca yang memiliki 2 band termal atau lebih, lebih baik digunakan *multi-channel*. Hal ini mengingat resolusi spasial satelit cuaca yang mencapai ± 1 km, penggunaan satu band saja untuk ekstraksi suhu permukaan akan berpengaruh pada rendahnya akurasi. Penggunaan dua band atau lebih pada panjang gelombang yang berbeda, tentu akan meningkatkan akurasi pemetaan.

2. Bagaimana memperoleh suhu permukaan laut dari citra Landsat?

Adalah sama antara suhu permukaan di darat dan suhu permukaan di laut. Untuk pemetaan suhu permukaan laut, seringkali digunakan sensor NOAA-AVHRR dan sensor MODIS. Ekstraksi suhu permukaan dari kedua sensor tersebut menggunakan *multi-channel* atau *split-window*. Dan “keseringan” terhadap penggunaan AVHRR dan MODIS, ketika ingin menggunakan citra Landsat untuk pemetaan suhu permukaan laut, selalu dikaitkan dengan *multi-channel* atau *split-window*.

Padahal aslinya sama saja. Intinya adalah pemetaan atau ekstraksi suhu permukaan. Baik di darat maupun dilaut, jika suhu permukaan telah diperoleh maka dapat digunakan. Dengan kata lain, tidak terdapat metode khusus untuk perbedaan ekstraksi suhu permukaan di darat atau di laut. Yang ada, hanyalah metode yang tepat untuk menghasilkan suhu permukaan dengan akurasi yang tinggi, yakni eror perolehan suhu permukaan yang semakin kecil.

Pengamatan Citra Landsat 8 (5)



Kondisi sebelum (14 Juli 2017) dan sesudah badai Florence yang menghantam Carolina, Amerika Serikat. Untuk menyorot objek air dari bencana banjir di sepanjang sungai Trent akibat badai, digunakan komposit 6-5-4. Warna gelap pada citra ini adalah objek air dari banjir yang merendam area sepanjang sungai. Sumber: NASA Earth Observatory (2018b)

BAB 7

TEKNIS PENGOLAHAN SUHU PERMUKAAN MENGGUNAKAN QGIS

Suhu Kecerahan (T_b) dan Suhu Radian (T_{sr})

Melalui SCP-Plugin, kita dapat memperoleh suhu kecerahan (T_b) secara otomatis melalui proses koreksi radiometrik. Namun, dalam teknis kali ini, akan dijelaskan perolehan suhu radian (T_{sr}).

Centang **Brightness temperature** ir untuk mendapatkan T_b .

Directory containing Landsat bands: C:/Landsat 8 corr/LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T...
Select MTL file: C:/Landsat 8 corr/LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T...

☒ Brightness temperature ir
☐ Apply DOS1 atmospheric correction
☐ Perform pansharpening
☒ Create Band set and use

Enable/Disable calculation of temperature in Celsius from thermal band

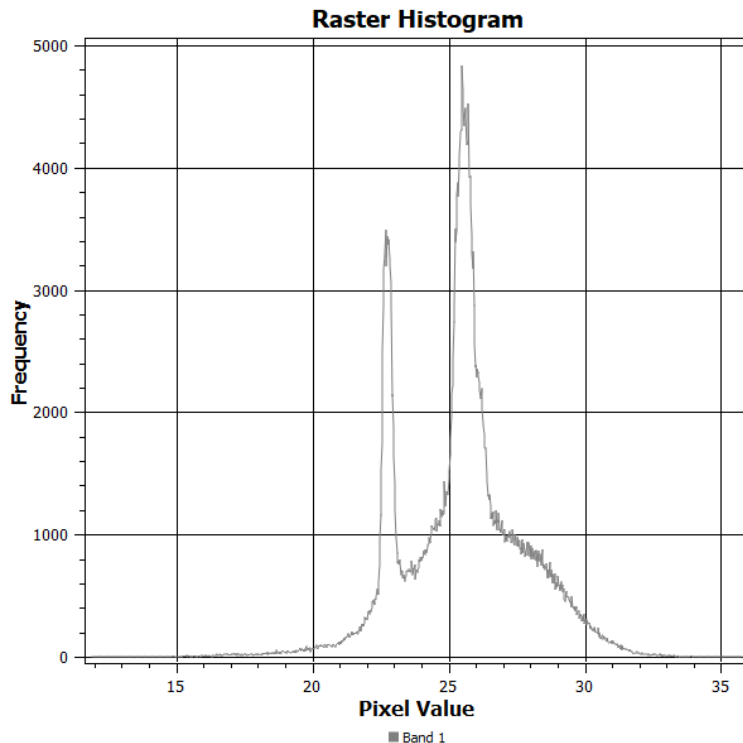
☒ Use value as NoData 0

Metadata

Satellite: SAT_8 Date (YYYY-MM-DD): 06-25 Sun elevation: 48874 Earth sun distance: 64633

	Band	RADIANCE_MULT
1	LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T...	1.2152E-02
2	LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T...	3.3420E-04
3	LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T...	3.3420E-04
4	LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T...	1.2444E-02
5	LC08_L1TP_120065_20190625_20190705_01_T...	1.1467E-02

Compute histogram untuk mendapatkan statistik citra. Terlihat nilai min suhu adalah 11,88°C dan max = 35,79°C.



Pre-processing Citra untuk Mendapatkan Nilai Radian (T_{sr})

Dengan SCP-Plugin, kita tidak dapat mendapatkan nilai radian untuk pengolahan suhu permukaan. Tanpa kita mencentang Brightness temperature ir, output yang dihasilkan adalah citra suhu permukaan dengan satuan Kelvin. Sedangkan output yang peroleh jika Brightness temperature ir adalah satuan Celsius.

Untuk itu, dalam teknis pengolahan ini akan digunakan Raster Calculator. Walaupun tidak otomatis, namun dapat memberi pengetahuan yang diperlukan dalam setiap tahapan pengolahan T_{sr} .

Untuk band termal, kita menggunakan band 10 (dan direkomendasikan oleh USGS). Disarankan tidak menggunakan band 11 akibat ketidakpastian kalibrasi sensor sejak perekaman 29 Maret 2016.

Perolehan nilai radian pada citra (band termal) diperoleh dengan persamaan yang telah disebutkan pada pembahasan sebelumnya.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

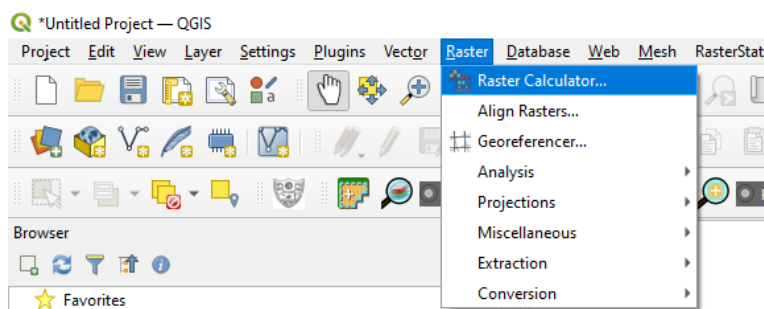
Di mana:

- L_{λ} = radian spektral pada sensor [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$]
- Q_{cal} = nilai piksel [DN]
- M_L = konstanta rescaling [RADIANCE_MULT_BAND_x, di mana x adalah band yang digunakan]
- A_L = konstanta penambah [RADIANCE_ADD_BAND_x, di mana x adalah band yang digunakan]

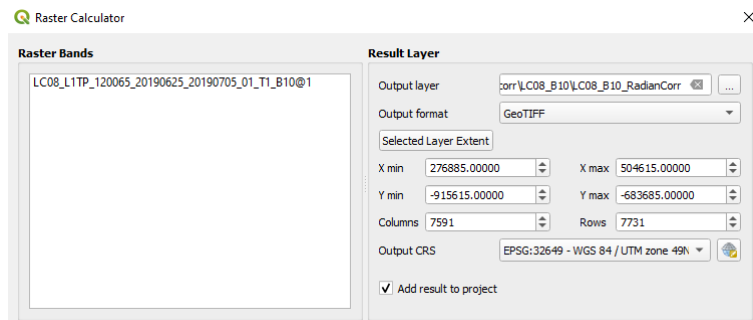
Nilai masing-masing konstanta dapat diperoleh pada metadata citra. Nilai RADIANCE_MULT_BAND_x dan RADIANCE_ADD_BAND_x berbeda setiap band, jadi hal ini harus menjadi perhatian dalam input ke persamaan.

```
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
. . .
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
. . .
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
. . .
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
```

Masukkan citra band 10 (Raw data/yang belum diolah) ke QGIS, lalu buka **Raster Calculator**.



Tampilan **Raster Calculator** akan muncul. Sebelum memasukkan persamaan, tentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan di **Output layer**. Untuk **Output format** tetap kita pilih GeoTIFF.

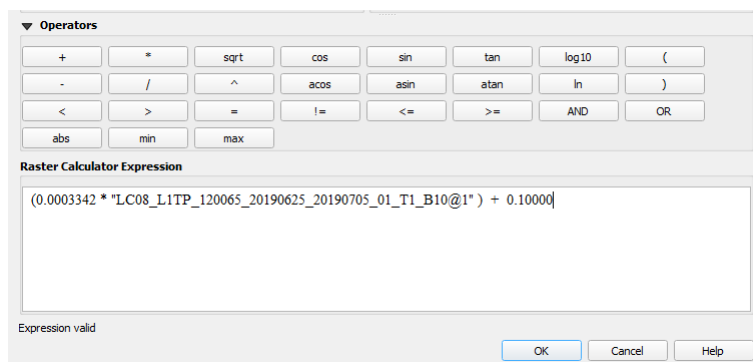


Masukkan persamaan berikut untuk mendapatkan L_{λ} sesuai rumus:

$$(0.0003342 * \text{"Band 10"}) + 0.1000$$

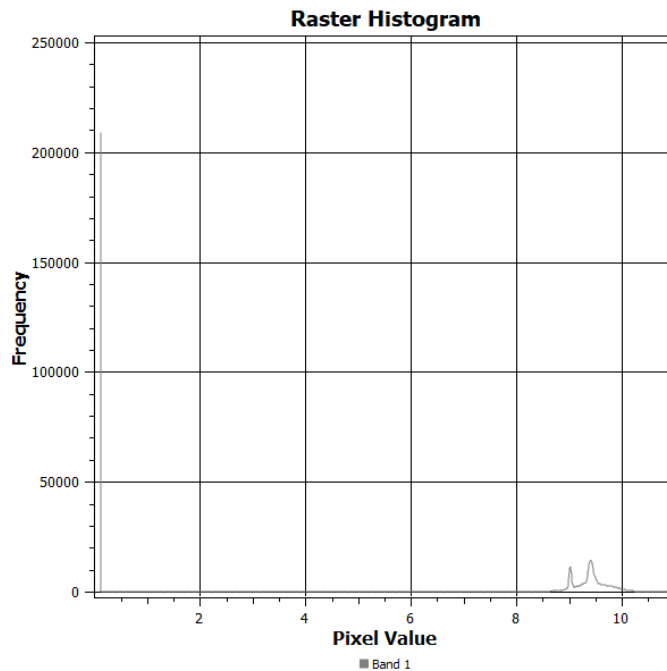
“Band 10” merupakan File citra yang dijadikan input. Cek keterangan pada bawah kotak rumus apakah rumus tersebut valid atau tidak. Terlihat bahwa rumus yang dimasukkan adalah valid (*Expression valid*).

Lalu klik **OK**.



Lalu buka histogram citra untuk melihat hasil apakah sesuai dengan informasi pada header citra atau tidak.

Nilai min = $0,1 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ dan nilai max = $10,9207 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$.



Terlihat bahwa hasil pengolahan telah benar dan sesuai dalam rentang di header citra.

```
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 735.64111
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -60.74948
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 753.30548
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -62.20821
. . .
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
```

Koreksi Emisivitas Menggunakan Indeks Vegetasi

Kenapa perlu dilakukan koreksi emisivitas?

Suhu permukaan dapat langsung diperoleh dari L_λ dengan output T_b . Namun hasil yang diperoleh seringkali tidak sesuai dengan suhu aktual objek. T_b menghasilkan suhu lebih rendah daripada suhu objek, sehingga perlu koreksi emisivitas untuk menghasilkan suhu (T_{sr}) yang mendekati suhu aktual objek.

Emisivitas permukaan dapat didefinisikan sebagai kemampuan objek untuk memancarkan energi yang dimilikinya. Energi yang dimaksud adalah energi termal yang dimiliki oleh objek, baik dalam kondisi panas ataupun dingin. Emisivitas dinotasikan dengan epsilon ε dengan nilai bervariasi antara 0 dan 1. Salah satu alternatif yang mudah untuk mendapatkan emisivitas permukaan adalah dengan menggunakan Indeks Vegetasi (Sobrino et al., 2001; Valor & Caselles, 1996). Indeks vegetasi yang digunakan adalah NDVI (*Normalized Vegetation Difference Index*).

Untuk literatur tentang metode, silahkan membaca (Fawzi, 2014).

Perolehan NDVI (*Normalized Vegetation Difference Index*)

NDVI adalah indeks vegetasi yang paling umum digunakan. Indeks ini mampu menyajikan kerapatan vegetasi menggunakan band inframerah dan band merah. Indeks vegetasi dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$NDVI = \frac{\alpha_{nir} - \alpha_{vis}}{\alpha_{nir} + \alpha_{vis}}$$

dimana:

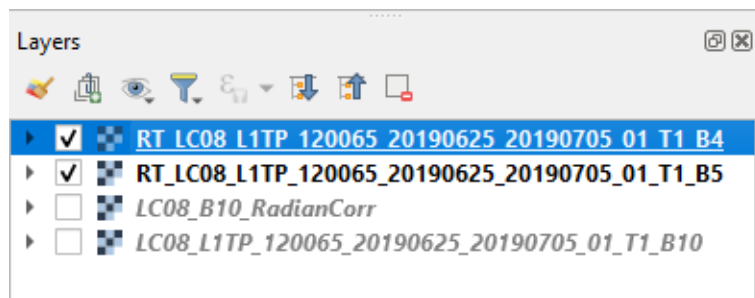
$$\begin{aligned} \alpha_{nir} &= \text{reflektansi pada panjang gelombang merah} \sim 0,6 \mu\text{m} [\text{band 4}] \\ \alpha_{vis} &= \text{reflektansi pada panjang gelombang inframerah dekat} \sim 0,8 \mu\text{m} \\ &\quad [\text{band 5}] \end{aligned}$$

Nilai NDVI berada pada rentang -1 hingga 1.

Nilai tersebut dipengaruhi oleh karakteristik penyerapan spesifik oleh khlorofil dan struktur stomata pada daun sebagai efek *red-edge* pada vegetasi. Nilai NDVI yang rendah dan tinggi merepresentasikan kerapatan vegetasi. Tanah memiliki pantulan yang relatif konstan pada panjang gelombang yang digunakan untuk persamaan

NDVI yang menghasilkan nilai NDVI mendekati nol, untuk vegetasi, NDVI seringkali berada pada rentang 0,1 - 0,6.

Tambahkan citra band 4 dan band 5 yang telah terkoreksi reflektan menggunakan SCP-Plugin ke QGIS layer.



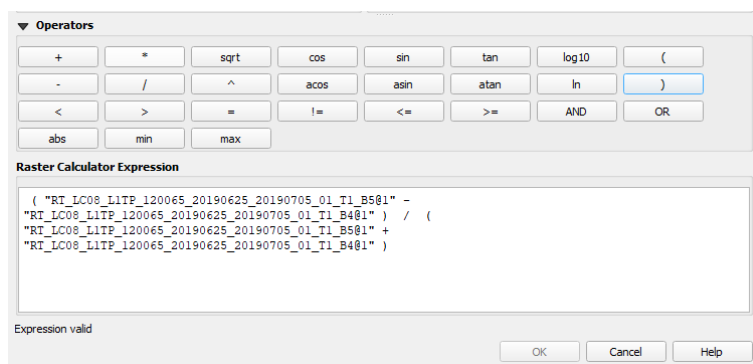
Lalu buka **Raster Calculator**, masukkan persamaan NDVI ke dalam **Raster Calculator Expression**. Masukkan persamaan berikut untuk mendapatkan NDVI sesuai rumus:

$$(\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4})$$

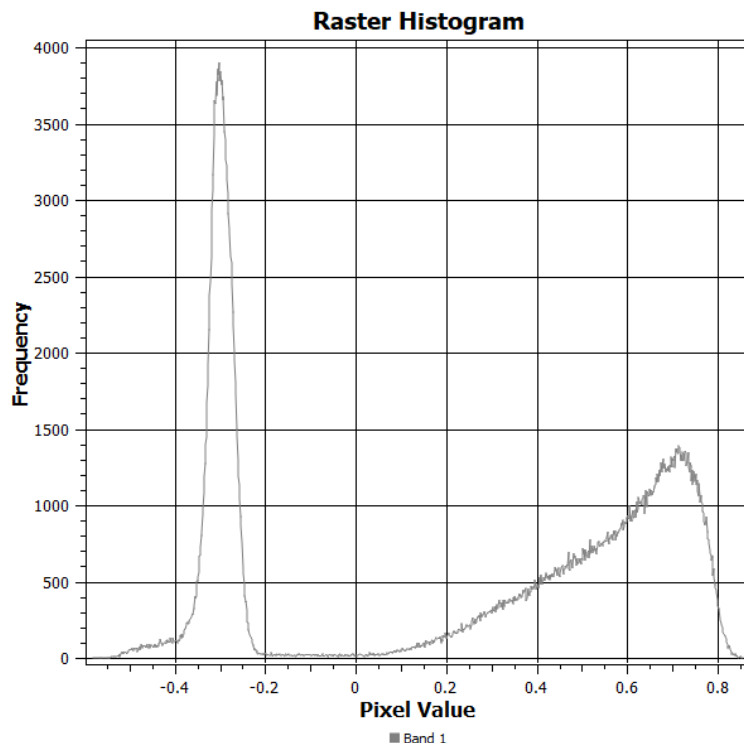
Jangan lupa untuk menentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan di **Output layer**.

Lalu klik OK.

“Band 5” dan “Band 4” merupakan file citra yang telah terkoreksi reflektan (memiliki awalan RT). Cek keterangan pada bawah kotak rumus apakah rumus tersebut valid atau tidak. Terlihat bahwa rumus yang dimasukkan adalah valid (*Expression valid*).



Compute Histogram untuk mengetahui bahwa NDVI hasil pengolahan telah benar sesuai rentang nilai NDVI -1 sampai 1. Terlihat bahwa hasil pengolahan telah benar, NDVI memiliki nilai -0,582 sampai 0,857.



Penentuan Fraksi Vegetasi (Pv)

NDVI memiliki rentang nilai -1 sampai 1. -1 adalah air dan +1 adalah vegetasi, mendekati ke 0 adalah tanah terbuka. Kita tidak dapat menggunakan nilai minus untuk pengolahan emisivitas. Hal yang mendasari adalah air memiliki nilai emisivitas tinggi, hampir menyamai vegetasi.

Langkah berikutnya adalah bagaimana membuat nilai NDVI menjadi positif dengan rentang nilai 0 – 1. Salah satu solusi adalah menggunakan Pv merupakan fraksi vegetasi, dengan nilai bervariasi dari 0,00 - 1,00 (Carlson & Ripley, 1997).

Untuk mendapatkan nilai P_v maka diperlukan menskalakan NDVI untuk meminimalkan gangguan dari kondisi tanah yang lembab dan fluks energi permukaan.

Nilai P_v didapat dengan persamaan berikut (Carlson & Ripley, 1997).

$$P_v = [\text{NDVI}]^2$$

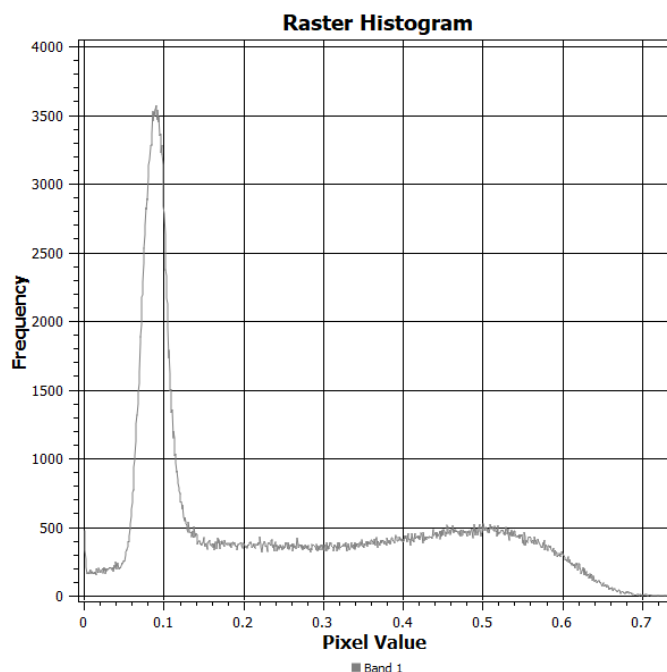
Buka **Raster Calculator**, masukkan persamaan P_v ke dalam **Raster Calculator Expression** dan tentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan di **Output layer**. Masukkan persamaan berikut untuk mendapatkan P_v sesuai rumus:

$$\text{"NDVI"} ^ 2$$

Terlihat bahwa rumus yang dimasukkan adalah valid (*Expression valid*).

Lalu klik OK.

Compute Histogram untuk mengetahui bahwa P_v hasil pengolahan telah benar. Hasil menunjukkan nilai P_v dari 0 sampai 0,735.



Perolehan Emisivitas Objek

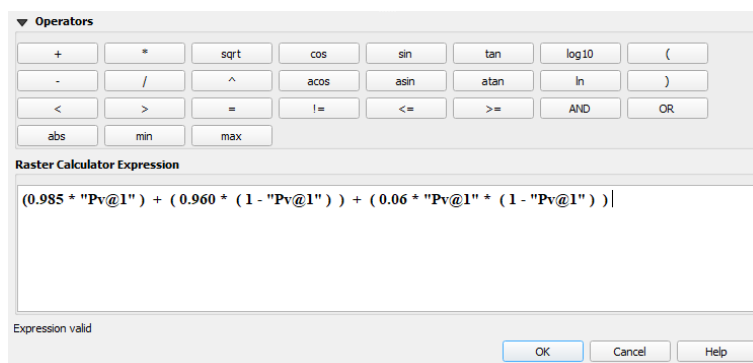
Penerapan metode ini membutuhkan nilai emisivitas tanah dan vegetasi. Dalam hal ini, nilai tersebut mengacu pada Valor and Caselles (1996). Untuk itu digunakan nilai emisivitas vegetasi $\varepsilon_v = 0,985 \pm 0,007$, di sini nilai emisivitas vegetasi hasil pengukuran berkisar pada nilai 0,980-0,990 pada panjang gelombang 10,5-12,5 μm . Untuk emisivitas tanah digunakan nilai $\varepsilon_s = 0,960 \pm 0,010$, karena pengukuran mendapatkan nilai emisivitas 0,950- 0,970 pada panjang gelombang 10,5-12,5 μm .

Persamaan perolehan emisivitas yang digunakan adalah:

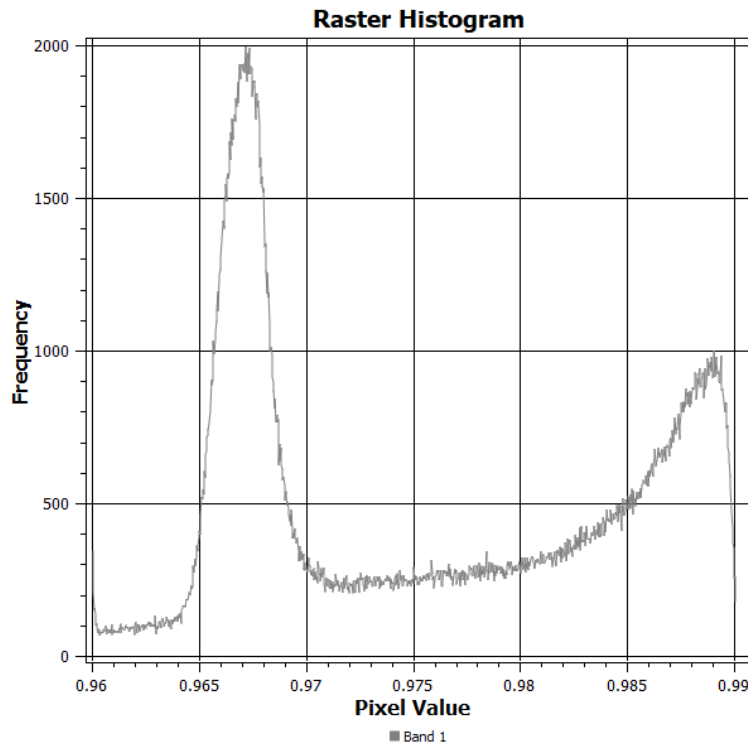
$$\varepsilon = 0,985P_v + 0,960 (1-P_v) + 0,06P_v (1-P_v) \text{ (Fawzi, 2014)}$$

Buka **Raster Calculator**, masukkan persamaan ε ke dalam **Raster Calculator Expression** dan tentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan di **Output layer**. Masukkan persamaan berikut untuk mendapatkan ε sesuai rumus:

$$(0.985 * "P_v") + (0.960 * (1 - "P_v")) + (0.06 * "P_v" * (1 - "P_v"))$$



Compute Histogram untuk mengetahui bahwa P_v hasil pengolahan telah benar. Hasil menunjukkan bahwa nilai emisivitas telah dihasilkan dengan benar.



Nilai emisivitas **0.960** merupakan daya pancar objek lahan terbangun dan tanah terbuka, sedangkan **0.990** adalah vegetasi yang rapat.

Koreksi Radian *at Surface*

Suhu permukaan didapatkan dari nilai radian yang diterima oleh sensor (*at sensor radiances*). Profil atmosfer dan uap air di atmosfer diukur bersamaan ketika satelit melakukan perekaman, menjadi parameter koreksi *radiative transfer equation* dan emisivitas permukaan. NASA mengembangkan *Atmospheric Correction Parameter Calculator* pada website <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/> untuk memperoleh data profil atmosfer. Profil atmosfer tersebut di peroleh dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) yang diinterpolasi berdasarkan lokasi penelitian, tanggal dan waktu, dan kode menggunakan MODTRAN-4. Asumsi yang digunakan untuk koreksi ini adalah untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya perbedaan intensitas radiasi matahari yang mengenai bumi.

Koreksi ini didasarkan pada *radiative transfer equation* untuk mengoreksi faktor atmosfer yang mempengaruhi radiasi yang dipancarkan oleh objek. Suhu objek dipancarkan hingga sampai ke sensor satelit, namun mengalami atenuasi dari banyak faktor di atmosfer. Hal ini yang kita coba lakukan koreksi. Sehingga untuk mendapatkan koreksi atmosfer $L_{\text{sensor},\lambda}$ dapat menggunakan persamaan berikut (Coll et al., 2010).

$$L_{\text{sensor},\lambda} = \frac{L_{\lambda} - L_{\text{atm}}^{\uparrow}}{\tau_{\lambda}} - \frac{1 - \varepsilon_{\lambda}}{\varepsilon_{\lambda}} L_{\text{atm}}^{\downarrow}$$

Di mana:

$L_{\text{sensor},\lambda}$	=	Nilai radian at surface [W/(m ² sr μm)]
ε_{λ}	=	emisivitas objek
$L_{\text{atm}}^{\downarrow}$	=	nilai <i>downwelling</i> radiansi atmosfer [W/(m ² sr μm)]
$L_{\text{atm}}^{\uparrow}$	=	nilai <i>upwelling</i> radiansi atmosfer [W/(m ² sr μm)]
τ_{λ}	=	nilai tranmistansi atmosfer

Parameter untuk koreksi tersebut dapat diperoleh di <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>. Dalam prosesnya masukkan data-data yang diperlukan, terutama tanggal perekaman dan koordinat central pada citra yang akan dikoreksi.

Berikut adalah interface di website untuk perolehan parameter koreksi atmosfer dan hasil kalkulasi yang didapatkan.

Enter the parameters for which you wish calculate atmospheric transmission and upwelling radiance

Year:	Month:	Day:
GMT Hour:	Minute:	
Latitude: Longitude: + is North, - is South + is East, - is West		
☐ Use atmospheric profile for closest integer lat/long help ☒ Use interpolated atmospheric profile for given lat/long help		
☐ Use mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile help ☒ Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile help		
☐ Use Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve ☒ Use Landsat-7 Band 6 spectral response curve ☐ Use Landsat-5 Band 6 spectral response curve ☐ Output only atmospheric profile, do not calculate effective radiances		
Optional: Surface Conditions (If you do not enter surface conditions, model predicted surface conditions will be used. If you do enter surface conditions, all four conditions must be entered.)		
Altitude (km):	Pressure (mb):	
Temperature (C):	Relative Humidity (%):	
Results will be sent to the following address:		
Email:		
Calculate Clear Fields		

Setelah klik **Calculate**, akan muncul tampilan berikut, yaitu data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan $L_{\text{sensor},\lambda}$.

Atmospheric Correction Parameter Calculator

```

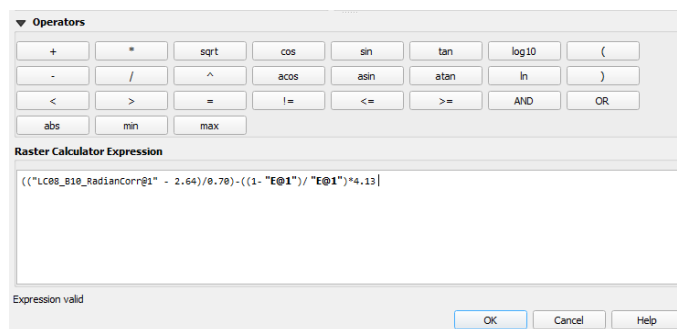
Date (yyyy-mm-dd):           2019-06-25
Input Lat/Long:              -7.378/ 110.207
GMT Time:                    2:48
L8 TIRS Band 10 Spectral Response Curve
Mid-latitude summer standard atmosphere
User input surface conditions
Surface altitude (km):       -999.000
Surface pressure (mb):       -999.000
Surface temperature (C):     -999.000
Surface relative humidity (%): -999.000

Band average atmospheric transmission:  0.70
Effective bandpass upwelling radiance:  2.64 W/m^2/sr/um
Effective bandpass downwelling radiance: 4.13 W/m^2/sr/um
  
```

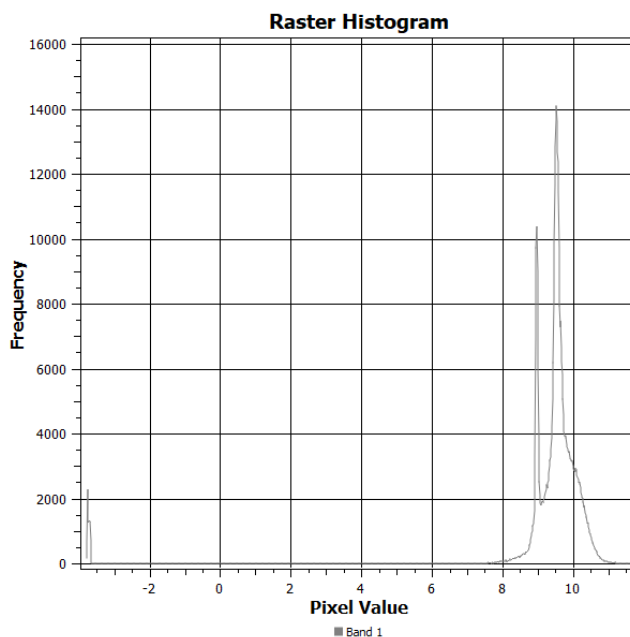
Buka Raster Calculator, masukkan persamaan $L_{\text{sensor},\lambda}$ ke dalam **Raster Calculator Expression** dan tentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan di **Output layer**. Masukkan persamaan berikut untuk mendapatkan $L_{\text{sensor},\lambda}$ sesuai rumus:

$$((I_{\lambda} - 2.64)/0.70) - ((1 - \epsilon)/\epsilon) * 4.13$$

Terlihat bahwa rumus yang dimasukkan adalah valid (*Expression valid*). Lalu klik OK.



Compute Histogram untuk mengetahui bahwa P_v hasil pengolahan telah benar. Hasil menunjukkan bahwa nilai emisivitas telah dihasilkan dengan benar.



Terlihat dari histogram, jika dibandingkan dengan L_λ , $L_{sensor,\lambda}$ lebih menghasilkan nilai radian lebih tinggi karena telah disesuaikan dengan pancaran tiap-tiap objek.

Perolehan Suhu Permukaan

Untuk mendapatkan nilai suhu permukaan objek, digunakan persamaan berikut (USGS, 2019)

$$T_{sr} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sensor,\lambda}} + 1\right)}$$

Dimana:

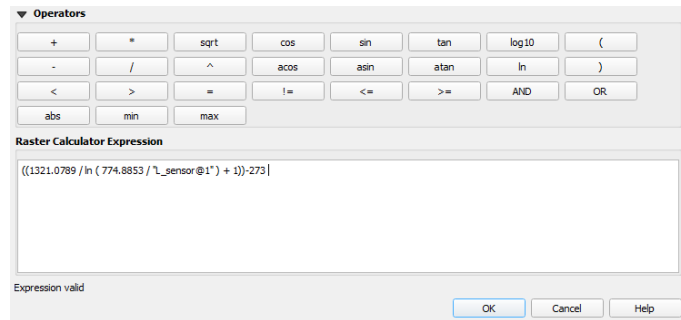
- T_{rad} = suhu radian dalam satuan Kelvin (K)
- $L_{sensor,\lambda}$ = nilai radian spektral terkoreksi
- K_1 = Konstanta kalibrasi radian spektral ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$), diperoleh pada metadata untuk band 10
- K_2 = Konstanta kalibrasi suhu absolut (K), diperoleh pada metadata untuk band 10 atau 11.

```
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
```

Pada band math, masukkan rumus berikut (langsung dikurang 273 untuk mendapatkan satuan derajat Celsius)

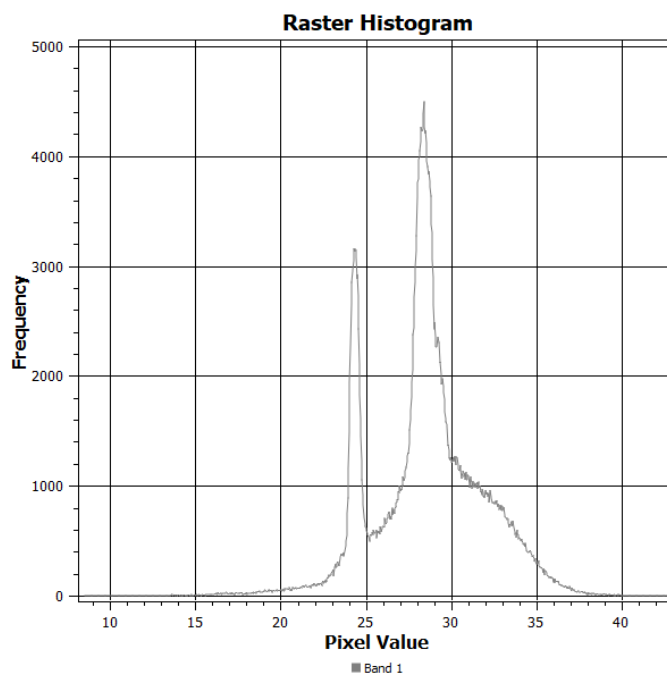
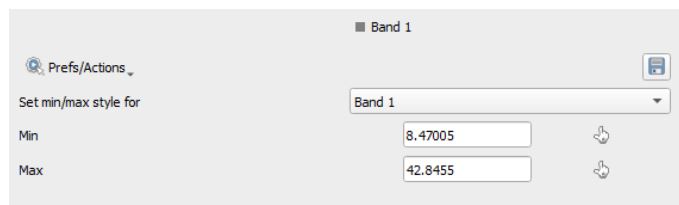
Buka **Raster Calculator**, masukkan persamaan T_{sr} ke dalam **Raster Calculator Expression** dan tentukan lokasi penyimpanan hasil pengolahan di **Output layer**. Masukkan persamaan berikut untuk mendapatkan T_{sr} sesuai rumus:

$$((1321.0789 / \ln (774.8853 / "L_sensor@1") + 1))-273$$



Terlihat bahwa rumus yang dimasukkan adalah valid (*Expression valid*). Lalu klik OK.

Compute Histogram untuk mengetahui bahwa T_{sr} hasil pengolahan telah benar. Terlihat bahwa suhu min = 8,47°C dan suhu max = 42,84°C.



Keterbatasan dan diskusi

Terkadang nilai pada statistik citra tidak sinkron dengan teori. Ini karena dalam 1 scene citra terdapat piksel-piksel yang “rusak” seperti nilai piksel awan dan bayangan awan yang mengubah statistik citra diluar teori. Penyelesaian untuk mengetahui benar atau tidak adalah dengan *cursor location/value* atau meng-*clip* citra sesuai *region of interest* (ROI) yang dibutuhkan.

Terkadang ditemui kasus telah melakukan proses yang benar, namun hasil tidak sesuai. Telah dicoba pada *scene* citra yang berbeda *path/row*, proses yang sama hasil sesuai. Maka, perlu untuk mengganti data citra, mungkin ada awan yang terpusat pada satu area, atau data *corrupt*. Penyeselaian lainnya mungkin citra di-*clip* sesuai ROI terlebih dahulu baru melakukan proses.

DAFTAR PUSTAKA

- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Coll, C., Galve, J. M., Sánchez, J. M., & Caselles, V. (2010). Validation of landsat-7/ETM+ thermal-band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(1), 547–555. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2024934>
- Cornette, W. M., & Shanks, J. G. (1993). *Impact of cirrus clouds on remote sensing of surface temperatures* (D. K. Lynch (ed.); p. 252). <https://doi.org/10.1117/12.154910>
- ESRI. (2013, July 24). *Imagery & Remote Sensing | Band Combinations for Landsat 8*. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8/>
- Fawzi, N. I. (2014). Pemetaan Emisivitas Permukaan Menggunakan Indeks Vegetasi. *Majalah Ilmiah Globë*, 16(2), 133–140.
- Fawzi, N. I., Helms, J. A., Novianto, A., Supianto, A., Indrayani, A. M., & Febriani, N. (2019). Reducing Illegal Logging through a Chainsaw Buyback and Entrepreneurship Program at Gunung Palung National Park. *Forest and Society, In Review*, 13(2), 22–31.
- Fawzi, N. I., & Iswari, M. Y. (2019). Hubungan Kategori Tutupan Lahan Dan Suhu Permukaan Menggunakan Landsat 8. *Jurnal Spasial*, 6(1), 27–36. <https://doi.org/10.22202/js.v6i1.3407>
- Freie Universität Berlin. (2021). *Sensor Basics*. <https://blogs.fu-berlin.de/reseda/sensor-basics/>
- Knight, E., & Kvaran, G. (2014). Landsat-8 Operational Land Imager Design, Characterization and Performance. *Remote Sensing*, 6(11), 10286–10305. <https://doi.org/10.3390/rs61110286>
- Li, X., Pichel, W., Clemente-Colón, P., Krasnopolsky, V., & Sapper, J. (1998, May 10). Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data. *Proceeding of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environment*, 5-7

- Oktober 1998. <https://doi.org/10.1080/01431160151144350>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, H. W. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. (Six edition). Jhon Willey & Son.
- Loyd, C. (2013). *Landsat 8 Bands* « *Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>
- Masek, J. G. (2014). *Picturing a Pixel* | *Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/picturing-pixel>
- Masek, J. G. (2021). *Landsat 8 Overview* | *Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview>
- NASA. (2021). *Landsat 7* | *Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7>
- NASA Earth Observatory. (2014). *Changed Landscape Around Sinabung*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/83080/changed-landscape-around-sinabung>
- NASA Earth Observatory. (2018a). *A Broad View of Flooding in the Carolinas*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/92786/a-broad-view-of-flooding-in-the-carolinas>
- NASA Earth Observatory. (2018b). *Volcanic Mood Rings*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/92377/volcanic-mood-rings>
- NASA Earth Observatory. (2019). *A Muddy Mess in Indonesia*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145198/a-muddy-mess-in-indonesia>
- NASA Earth Observatory. (2020). *Sea of Galilee*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147685/sea-of-galilee>
- Reeves, R. G., Anson, A., & Landen, D. (1975). *Manual of Remote Sensing*. American Society of Photogrammetry.
- Schmit, T. (2007). *Remote Sensing Fundamentals Part I; Radiation and the Planck Fucntion*. <https://slidetodoc.com/remote-sensing-fundamentals-part-i-radiation-and-the/>
- Schott, J. R. (2007). *Remote Sensing: The Image Chain Approach*. Oxford University Press; 2nd edition.
- Sobrino, J. A., Raissouni, N., & Li, Z. L. (2001). A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00171-1)
- Soenarmo, S. H. (2009). *Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografis untuk Bidang Ilmu Kebumian*. Penerbit ITB Bandung.
- Storey, J., Scaramuzza, P., Schmidt, G., & Barsi, J. (2005, October). Landsat 7 Scan Line Corrector-off Gap-filled Product Development. *Pecora 16 "Global*

Priorities in Land Remote Sensing” .

- Tang, H., & Li, Z.-L. (2014). *Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared - Theory and Applications*. Springer.
<https://www.springer.com/gp/book/9783642420269>
- USGS. (2019). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook* (Version 4). Department of the Interior U.S. Geological Survey. <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook-section-1>
- USGS. (2021a). *Landsat Geometry | Landsat Levels of Processing*.
<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-levels-processing>
- USGS. (2021b). *Landsat Missions | Landsat 5*. https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS. (2021c). *Landsat Missions | Landsat 7*. https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS. (2021d). *Landsat Missions Using the USGS Landsat Level-1 Data Product*.
<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>
- Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57(3), 167–184. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9)

TENTANG PENULIS

Nurul Ihsan Fawzi, S.Si., M.Sc., atau dipanggil Ihsan, memperoleh gelar Sarjana Sains dan Magister dari Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. Kemudian ia bekerja di bidang pengelolaan lingkungan, di mana ia aktif menulis buku dan jurnal. Saat ini ia sebagai peneliti di salah satu NGO yang bergerak di bidang pertanian berkelanjutan di lahan suboptimal. Ihsan percaya bahwa menyajikan subjek ilmiah sebagai tulisan adalah tugas moralnya, dan itu adalah tugas artistik.

Vina Nurul Husna, S.Si., M.Si., atau dipanggil Vina, memperoleh gelar Sarjana Sains dari Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. Dia kemudian mendapatkan gelar Magister dari Institut Pertanian Bogor. Saat ini vina aktif sebagai dosen pengampu matakuliah penginderaan jauh di Universitas Negeri Semarang. Dia juga banyak melakukan penelitian tentang aplikasi penginderaan jauh, terutama untuk kajian kawasan pesisir.



EL-MARKAZI
KUTUPHANESİ



0823-7733-8990



www.elmarkazi.com

www.elmarkazistore.com



@penerbitelmarkazi

Non Fiksi

ISBN 978-623-331-054-3



9 786233 310543