

**REKAYASA ALAT PENCITRAAN MULTISPEKTRAL
UNTUK PEMETAAN SEBARAN *MICROSEEPAGE*
DAN LITOLOGI PERMUKAAN**



Program Penelitian dan Pengembangan Kementerian ESDM
Nomor Program : 020.11.04.1913.967.080

KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI

LEMIGAS

2020

TIM PELAKSANA

Kepala Badan Litbang ESDM	Pengarah
Sekretaris Badan Litbang ESDM	Pengarah
Kepala PPPTMGB “LEMIGAS”	Pengarah
Koordinator KPPP Teknologi Eksplorasi	Penanggung Jawab
Pejabat di Kementerian ESDM	Narasumber
Dosen pada Universitas Pertamina	Narasumber
Yudi Kuntoro, S.Si., M.Si.	Ketua
Dr. Tri Muji Susantoro, M.Sc.	Anggota
Ir. Herru Lastiadi Setiawan, M.T.	Anggota
Nurus Firdaus, S.Si., M.Si.	Anggota
Egie Wijaksono, S.Si., M.T.	Anggota
M. Budisatya Wiranatanagara, S.T., M.T.	Anggota
Widyo Permono, S.T., M.Eng.	Anggota
Ir. Suliantara, M.Si.	Anggota
Dra. Isnawati, M.Si.	Anggota
Dra. Julikah, M.T.	Anggota
Humbang Purba, S.Si., M.Si.	Anggota
R. Kusuma Risdianto, S.Pi.	Anggota
Indah Crystiana, S.Si., M.Si.	Anggota
Agus Priyantoro S.T.	Anggota
Andrianto Wibowo, S.Si.	Anggota
Praditiyo Riyadi, S.Si., M.Si.	Anggota
Ongki Ari Prayoga, S.T.	Anggota
Imam Muhammad Taufan, S.T.	Anggota
Hari Yanto	Anggota
Rismoyo Bayu Haryo Utomo, S.Kom.	Anggota
Andri Gunawan, S.Si.	Anggota
Angga Suhikmat, S.T.	Anggota

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

Doddy Kurniawan, S.T.	Anggota
S. C. Adityasari, S.Sos.	Anggota
Sri Lestari S.Sos	Anggota
Desy Retamy	Anggota
Iqbal Fuaddy, A.Md.	Anggota
Azizah, S.Pd.	Anggota
Fivi Rospiany, A.Md.	Anggota

RINGKASAN EKSEKUTIF

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tidak terjangkaunya beberapa titik penting pada saat melaksanakan kegiatan survei Geologi yang disebabkan oleh aspek topografi maupun faktor lainnya. Titik-titik penting itu dapat berupa singkapan batuan yang dapat memberi informasi litologi dan struktur, maupun keberadaan rembesan minyak atau gas. Latar belakang lainnya adalah keberadaan rembesan migas mikro yang tidak dapat teramati oleh surveyor. Pada penelitian ini diusulkan penggunaan peralatan berbasis detektor spektrum gelombang elektromagnetik untuk membantu meningkatkan efektivitas dan efisiensi kegiatan survei Geologi.

Semua objek di alam semesta pada dasarnya dalam kondisi tenggelam di dalam lautan gelombang elektromagnetik, dari frekuensi rendah (radio) sampai frekuensi tinggi (sinar gamma). Setiap objek akan merespon gelombang yang mengenainya dengan karakter masing-masing yang disebut dengan respon frekuensi, respon tersebut membentuk kurva yang disebut spektrum. Dengan membuat model yang terbalik, spektrum dapat dianalisis untuk menentukan respon frekuensi sebuah objek. Dari respon frekuensi kita dapat mengetahui materi penyusun objek tersebut.

Metode tersebut di atas biasa dikenal dengan istilah analisis spektral. Metode ini telah banyak diterapkan untuk pemetaan sebuah area dengan menggunakan bantuan sensor spektral. Dua metode akuisisi data spektral yang umum digunakan adalah multispektral dan hiperspektral. Metode multispektral adalah penangkapan respon frekuensi sebuah objek pada beberapa panjang gelombang tertentu yang disebut *band*. Sensor yang banyak tersedia di industri menyediakan hingga 5 *band* dengan interval antar *band* sekitar 100 nm. Sedangkan metode hiperspektral mempunyai jumlah *band* yang lebih banyak (sekurang-kurangnya 30 *band*) dengan interval antar *band* kurang dari 10 nm.

Metode multispektral telah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang, terutama bidang pertanian dan kehutanan. Dengan menggunakan pendekatan yang sama, penelitian ini dibangun dari hipotesis bahwa setiap batuan dan manifestasi geologi lainnya akan mempunyai respon frekuensi yang spesifik dan dapat diidentifikasi atau diklasifikasi menggunakan metode multispektral. Jika metode multispektral dapat mengidentifikasi perbedaan litologi, maka hipotesis kedua yang terbangun adalah alterasi batuan yang disebabkan oleh keberadaan rembesan mikro juga dapat diidentifikasi. Fluida pada rembesan mikro tidak serta merta dapat terdeteksi pada citra multispektral. Tetapi keberadaan rembesan mikro menyebabkan alterasi batuan yang berada di sekitarnya. Citra multispektral dapat mengidentifikasi alterasi batuan yang mengindikasikan keberadaan rembesan mikro.

Jika penelitian ini berhasil, maka metode multispektral dapat dimanfaatkan untuk membantu meningkatkan efisiensi kegiatan survei Geologi dalam rangka eksplorasi migas. Penelitian tentang aplikasi metode multispektral maupun hiperspektral di bidang migas masih sangat jarang ditemukan, sehingga penelitian ini dipandang sangat perlu dilakukan oleh lembaga penelitian di bidang migas yaitu LEMIGAS.

Kegiatan penelitian ini mencakup pemanfaatan perangkat keras kamera multispektral dan *drone*, perancangan perangkat lunak pengolah data multispektral ke dalam informasi Geologi, penyusunan library spektrum dari batuan-batuan referensi yang ada di dalam *core storage* (laboratorium Geologi) divisi Eksplorasi LEMIGAS dan pengujian skala lapangan. Lapangan yang dipilih adalah daerah aliran sungai Cipamingkis, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

Perangkat keras terdiri dari *drone*, kamera multispektral dan komponen pendukung lainnya telah didatangkan dan diinstalasi pada bulan November hingga Desember 2020. *Drone* tipe Matrice 200 v2 mempunyai spesifikasi teknis dapat terbang dengan ketinggian maksimal 3 km, jangkauan 8 km dari titik *base* dan kecepatan horisontal 80 km/jam. Kamera

multispektral tipe Altum mempunyai 5 *band* spektral (*blue, green, red, red-edge* dan *infra-red*) dan 1 *band* termal, kecepatan pengambilan gambar 1 *shot/detik*, resolusi citra 2064 x 1544 piksel dengan GSD 3,5 cm/piksel pada ketinggian terbang 100 m. Peralatan tersebut telah diuji baik skala lab maupun skala lapangan.

Perangkat lunak yang dirancang terdiri dari dua buah aplikasi yaitu perangkat lunak pra-pengolahan data (SpectralLITE Prep) serta pengolah dan interpreter data multispektral ke dalam informasi Geologi (SpectralLITE). SpectralLITE Prep mempunyai fungsi untuk mengoreksi citra mentah dari hasil perekaman, meliputi konversi angka digital menjadi nilai *radiance*, konversi *radiance* menjadi reflektansi, koreksi Vignetting, koreksi distorsi barrel dan penjahitan citra menjadi ortomosaik. Keluaran dari SpectralLITE Prep adalah peta ortomosaik, peta elevasi (DEM) dan peta *point cloud*. Dari peta *point cloud*, dapat dihitung orientasi Geologi (*dip* dan *strike*) dari suatu titik di permukaan. Sedangkan SpectralLITE mempunyai fungsi menampilkan spektrum dari tiap-tiap piksel ortomosaik, pembentukan ortomosaik baru dengan formula yang ditentukan oleh operator dan pembuatan poligon untuk interpretasi secara manual. Hasil keluaran SpectralLITE berupa peta Geologi. Perangkat keras dan perangkat lunak tersebut telah digunakan pada kegiatan uji lapangan.

Perekaman spektrum batuan referensi telah dilakukan pada 40 sampel batuan yang berasal dari tiga lapangan, yaitu Jambi (Sumatera), Atambua (NTT) dan Mamberamo (Papua) telah dilakukan di laboratorium Geofisika dengan keluaran akhir berupa kurva spektrum multispektral. Spektrum berupa hubungan antara reflektansi terhadap panjang gelombang yang dimiliki kelima *band* pada kamera. Reflektansi adalah perbandingan antara radiasi gelombang yang dipantulkan dengan radiasi awal gelombang yang diterima objek tersebut. Sebanyak 12 dari 14 sampel batupasir memberikan hasil kurva membentuk pola seperti huruf M, di mana *band-2* dan *band-4* mempunyai nilai lebih tinggi dibanding *band* lainnya. Batulempung sebanyak 6 sampel menunjukkan konsistensi bentuk kurva

spektrum dengan puncak reflektansi berada pada *band-4*. 4 sampel batugamping memberikan spektrum yang konsisten dengan bentuk kurva mempunyai nilai tertinggi pada *band-2* dan *band-3*. Empat sampel batuserpih membentuk dua buah kurva di mana kurva pertama menyerupai kurva batulempung dan kurva kedua mempunyai karakter menurun dengan reflektansi tertinggi pada *band-1* dan terendah pada *band-5*. Dua sampel batubara mempunyai bentuk kurva spektrum yang identik. Terakhir, 5 dari 6 sampel batuan beku juga menghasilkan bentuk kurva yang konsisten, dengan puncak tertinggi pada *band-2* dan nilai terendah pada *band-4*.

Uji lapangan telah dilakukan di 5 lokasi. Lokasi 1 dan 2 berada di wilayah Desa Sukanegara. Di kedua lokasi ini pengambilan data dilakukan dengan penerbangan misi sebanyak 285 *shotpoint* di lokasi 1 dan 425 *shotpoint* di lokasi 2. Hasil interpretasi dari penerbangan misi ini berupa peta geologi dengan litologi yang terdeteksi didominasi oleh batuan karbonat dan batupasir. Lokasi 3 merupakan daerah tambang batukapur aktif sehingga penerbangan *drone* tidak diperbolehkan, sedangkan lokasi 4 dan 5 merupakan daerah tebing batuan vulkanik. Pengambilan data citra pada ketiga lokasi ini dilakukan secara manual di permukaan. Hasil perekaman menunjukkan bentuk spektrum yang sesuai dengan hasil perekaman batuan referensi di laboratorium.

Hasil perekaman batuan referensi di laboratorium dan uji lapangan menunjukkan konsistensi data hingga 87,5% dan dari kegiatan ini dapat disimpulkan bahwa metode multispektral dapat digunakan untuk mendeteksi manifestasi Geologi. Inkonsistensi sebesar 12,5% dapat diatasi dengan mengklasifikasikan jenis batuan lebih rinci (misal: memisahkan antara batupasir *tight* dengan batupasir *porous*,). Penambahan spektrum sampel batuan yang lebih rinci akan terus dilakukan untuk menyempurnakan *library* spektrum pada perangkat lunak yang dibangun.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan rahmat-Nyalah kami bisa menyelesaikan serangkaian kegiatan dalam penelitian yang berjudul “Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk Pemetaan Sebaran *Microseepage* dan Litologi Permukaan” ini dengan baik.

Penelitian ini dapat terlaksana berkat dukungan dari berbagai pihak. Tidak lupa kami menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Dadan Kusdiana, M.Sc, selaku Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian ESDM atas arahan dan sarannya.
2. Ibu Yuli Rachwati, S.H, selaku Sekretaris Badan Litbang ESDM beserta jajarannya atas dukungannya.
3. Ibu Ir. Setyorini Tri Hutami, selaku Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS” atas arahan, dukungan dan motivasinya.
4. Bapak Chandra Tambunan, M.T, selaku Kepala Bidang Program LEMIGAS yang telah memfasilitasi terlaksananya kegiatan.
5. Bapak Drs. Panuju, M.T, selaku Koordinator KP3 Teknologi Eksplorasi LEMIGAS atas arahan, dukungan, diskusi, masukan dan motivasinya.
6. Anggota tim teknis maupun non-teknis untuk dukungan, diskusi dan segala kerja kerasnya dalam pelaksanaan penelitian.
7. Epo Prasetya Kusumah, M.Sc, (Universitas Pertamina), Zulfi Ramadhan dan Bintan (Halo Robotics) atas diskusi dan masukannya dalam kegiatan lapangan.
8. Rekan-rekan non anggota tim yang telah ikut berkontribusi pada pelaksanaan penelitian ini.

Meskipun kami sudah mengumpulkan banyak referensi untuk menunjang kegiatan penelitian ini, namun hasil kegiatan ini masih terdapat banyak kesalahan serta kekurangan. Kami mengharapkan saran, kritik

yang membangun serta masukan dari semua pihak demi kontinuitas penelitian yang lebih intens lagi agar lebih membawa manfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Akhir kata, tim berharap penelitian ini dapat menginspirasi pihak akademis dan riset lain untuk dapat mengembangkan teknologi pada penelitian ini untuk kepentingan kemajuan eksplorasi di Indonesia.

Tim Pelaksana

DAFTAR ISI

TIM PELAKSANA	i
RINGKASAN EKSEKUTIF	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Ruang Lingkup Studi	2
BAB II. REKAYASA ALAT PENCITRAAN MULTISPEKTRAL UNTUK PEMETAAN SEBARAN <i>MICROSEEPAGE</i> DAN LITOLOGI PERMUKAAN	3
A. Landasan Teori	3
1. Gelombang Elektromagnetik	3
2. Metode Multispektral dan Hiperspektral	5
3. Aplikasi Metode Spektral di Bidang Geologi	9
B. Metodologi	14
1. Lokasi Kegiatan	14
2. Alat dan Bahan	15
3. Tahapan Kegiatan	16
C. Data dan Hasil Kegiatan	18
1. Hasil Rekayasa	18
2. Perekaman Spektrum Batuan Referensi	39
3. Uji Lapangan	54
D. Analisis dan Evaluasi	62
1. Data Spektrum Batuan Referensi	62
2. Data Lapangan	73

E. Capaian Keluaran.....	102
BAB III. PENUTUP	103
A. Kesimpulan.....	103
B. Saran.....	103
LAMPIRAN.....	105
DAFTAR PUSTAKA.....	138

DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1. Perbandingan panjang gelombang, frekuensi dan energi gelombang elektromagnetik.	3
Gambar II-2. Kesampaian gelombang elektromagnetik di bumi.	4
Gambar II-3. Contoh kurva respon salah satu jenis tanaman di mana memantulkan gelombang elektromagnetik dengan sangat kuat pada cakupan panjang gelombang antara 700 nm hingga 1300 nm.	6
Gambar II-4. Lambda <i>stack</i> pada metode multispektral.	7
Gambar II-5. Perbedaan kamera konvensional (kiri) dan kamera multispektral (kanan).	8
Gambar II-6. Perbedaan metode multispektral dan hiperspektral.	8
Gambar II-7. Perbandingan kurva respon spektral antara vegetasi normal dengan vegetasi tercemar gas (Smith, 2004).	13
Gambar II-8. Diagram alir penelitian.	18
Gambar II-9. <i>Mounting kit</i> kamera multispektral pada <i>drone</i>	19
Gambar II-10. Kamera multispektral. Altum (kiri) dan Rededge (kanan). ..	19
Gambar II-11. Sensor cahaya (kiri) dan papan kalibrasi (kanan) dari Micasense.	20
Gambar II-12. <i>Drone</i> Matrice 200 v2. UAV (kiri) dan <i>remote control</i> (kanan).	21
Gambar II-13. Perumusan cakupan area perekaman pada ketinggian <i>drone</i> 100m.	23
Gambar II-14. <i>Ground sample distance</i> (GSD) dari citra multispektral pada ketinggian <i>drone</i> 100m.	23
Gambar II-15. Instalasi perangkat keras pada pengujian kamera.	24
Gambar II-16. Koneksi <i>drone</i> dan kamera multispektral dengan pengendali.	25
Gambar II-17. <i>Drone</i> terbang pada ketinggian 40 m.	25
Gambar II-18. Rekaman citra multispektral pada uji fungsi kamera.	26

Gambar II-19. Diagram blok pengolahan data citra multispektral.	26
Gambar II-20. Tahapan konversi pada pra-pengolahan data multispektral.	28
Gambar II-21. Efek Vignette (kiri) dan citra terkoreksi (kanan).	29
Gambar II-22. Contoh perbandingan koreksi vignette pada ortomosaik. Tanpa koreksi (atas), terkoreksi terbaik (paling bawah).	30
Gambar II-23. Efek <i>barrel distortion</i> (kiri) dan efek <i>pincushion distortion</i> (kanan).	30
Gambar II-24. Ilustrasi jahitan citra (<i>images stitching</i>).	31
Gambar II-25. Identifikasi perbedaan ketinggian pada <i>image stitching</i>	32
Gambar II-26. Identifikasi pohon pada <i>pattern matching</i>	32
Gambar II-27. Tampilan awal aplikasi SpectraLITE Prep (login pengguna).	33
Gambar II-28. Overlap antar citra minimal 70%.	34
Gambar II-29. Contoh hasil pra-pengolahan data citra multispektral.	34
Gambar II-30. Ortomosaik <i>truecolor</i> yang dibangkitkan dari citra multispektral.	35
Gambar II-31. Peta olahan (NDVI) pada aplikasi SpectraLITE Prep.	35
Gambar II-32. Peta DEM pada aplikasi SprecraLITE Prep.	36
Gambar II-33. Tampilan antarmuka awal perangkat lunak pengolah data citra multispektral.	37
Gambar II-34. Tampilan perangkat lunak dengan 5 <i>band</i> multispektral yang saling <i>overlay</i>	37
Gambar II-35. Menu filter pada salah satu citra multispektral.	38
Gambar II-36. Tampilan hasil interpretasi otomatis.	38
Gambar II-37. Tampilan contoh hasil interpretasi manual dengan 7 buah poligon.	39
Gambar II-38. Tampilan menu <i>help</i> (<i>user manual</i> dan SOP).	39
Gambar II-39. Skema perekaman spektrum batuan referensi.	40
Gambar II-40. Pemilihan dan penyiapan sampel batuan oleh tim Geologi.	41

Gambar II-41. Perekaman spektrum batuan referensi.....	42
Gambar II-42. Metode pembentukan kurva dari citra multispektral.....	43
Gambar II-43. Hasil perekaman spektrum sampel batupasir.....	44
Gambar II-44. Hasil perekaman spektrum sampel batugamping.....	44
Gambar II-45. Hasil perekaman spektrum sampel dolomite.....	44
Gambar II-46. Spektrum batupasir lanau (15DV - 24A) Mamberamo.....	45
Gambar II-47. Spektrum batupasir formasi Talangakar (LKS-1) Jambi... ..	45
Gambar II-48. Spektrum batupasir halus (AGJ 03/1C) Mamberamo.....	46
Gambar II-49. Spektrum batupasir (OC 137) Atambua.....	46
Gambar II-50. Spektrum batupasir konglomeratik (CSS1) Jambi.....	46
Gambar II-51. Spektrum batupasir (SM 6.3) Atambua.....	46
Gambar II-52. Spektrum batupasir (OC139 MAF) Atambua.....	47
Gambar II-53. Spektrum batupasir sangat halus (AGJ 03/3) Mamberamo.....	47
Gambar II-54. Spektrum batupasir (OC5 GP99) Atambua.....	47
Gambar II-55. Spektrum batupasir (SM FC12) Atambua.....	47
Gambar II-56. Spektrum batupasir sangat halus (AGJ 02/3) Mamberamo.....	48
Gambar II-57. Spektrum batupasir (GP375) Atambua.....	48
Gambar II-58. Spektrum batupasir laminasi serpih (UNT32) Jambi.....	48
Gambar II-59. Spektrum batulempung merah (15DV - 25E) Mamberamo.....	48
Gambar II-60. Spektrum batulempung (UNT28) Jambi.....	49
Gambar II-61. Spektrum batulempung pasiran (PBH11) Jambi.....	49
Gambar II-62. Spektrum batulempung (PBH 018) Jambi Utara.....	49
Gambar II-63. Spektrum batulempung formasi Gumai (ST 1-01) Jambi... ..	49
Gambar II-64. Spektrum batulempung kalsilitit (SM3-12) Atambua.....	50
Gambar II-65. Spektrum batugamping (OC22) Atambua.....	50
Gambar II-66. Spektrum batugamping (OC2 GP68) Atambua.....	50
Gambar II-67. Spektrum batugamping (OC6) Atambua.....	50
Gambar II-68. Spektrum batugamping (OC9) Atambua.....	51

Gambar II-69. Spektrum batuserpih (15DV - 25G) Mamberamo.....	51
Gambar II-70. Spektrum batuserpih (SM FC2) Atambua.	51
Gambar II-71. Spektrum batuserpih hitam (15DV 21A) Mamberamo.	51
Gambar II-72. Spektrum batuserpih formasi Gumai (PBH22) Jambi Utara.....	52
Gambar II-73. Spektrum napal (OC3 GP83) Atambua.....	52
Gambar II-74. Spektrum batubara (AGJ 06/1) Mamberamo.	52
Gambar II-75. Spektrum batubara (15DV 25C) Mamberamo.....	52
Gambar II-76. Spektrum lava (SMU5) Atambua.	53
Gambar II-77. Spektrum lava (OC07) Atambua.	53
Gambar II-78. Spektrum lava (OC15/KFT) Atambua.	53
Gambar II-79. Spektrum lava basalt (OC102 BMT) Atambua.	53
Gambar II-80. Spektrum batu ultrabasa (SMU2) Atambua.	54
Gambar II-81. Spektrum batu ultrabasa (OC20 KFT) Atambua.	54
Gambar II-82. Spektrum batu tuff (GP122 OC10B) Atambua.	54
Gambar II-83. 5 lokasi perekaman data citra spektrum di lapangan.	55
Gambar II-84. Batuan karbonat di lokasi 1, Sungai Cipamingkis hilir.....	56
Gambar II-85. Peta penerbangan misi 1 dan 2 pada lokasi 1.	56
Gambar II-86. Contoh hasil perekaman data pada titik ke-5 di lokasi 1. ...	57
Gambar II-87. Batulanau gampingan di lokasi 2, Sungai Cipamingkis hulu.....	57
Gambar II-88. Peta penerbangan misi di lokasi 2.	58
Gambar II-89. Contoh hasil perekaman data pada titik ke-3 di lokasi 2. ...	58
Gambar II-90. Batugamping di lokasi 3, Gunung Kapur Klapa Nunggal. .	60
Gambar II-91. Contoh hasil perekaman data di lokasi 3.	60
Gambar II-92. Batuan vulkanik di lokasi 4, Karang Tengah.	61
Gambar II-93. Contoh hasil perekaman data di lokasi 4.	61
Gambar II-94. Batuan vulkanik di lokasi 5, Gunung Putri.....	62
Gambar II-95. Contoh hasil perekaman data di lokasi 5.	62
Gambar II-96. Kurva multispektral sampel batupasir.	64
Gambar II-97. Kurva multispektral sampel batulempung.	66

Gambar II-98. Kurva multispektral sampel batugamping.	68
Gambar II-99. Kurva multispektral sampel batuserpih.	69
Gambar II-100. Kurva multispektral sampel batubara.	70
Gambar II-101. Kurva multispektral sampel batuan beku.	72
Gambar II-102. Spektrum batulempung asli dan batulempung teroksidasi.	73
Gambar II-103. Peta ortomosaik per <i>band</i> hasil pra-pengolahan misi 1 di lokasi 1.	74
Gambar II-104. Peta elevasi (DEM) hasil pra-pengolahan data misi 1 di lokasi 1.	74
Gambar II-105. Peta ortomosaik hasil pra-pengolahan data misi 1 di lokasi 1.	75
Gambar II-106. Peta <i>point cloud</i> hasil pra-pengolahan pada misi 1 di lokasi 1.	75
Gambar II-107. Peta ortomosaik per <i>band</i> hasil pra-pengolahan misi 2 di lokasi 1.	76
Gambar II-108. Peta elevasi (DEM) hasil pra-pengolahan data misi 2 di lokasi 1.	77
Gambar II-109. Peta ortomosaik hasil pra-pengolahan data misi 2 di lokasi 1.	77
Gambar II-110. Peta <i>point cloud</i> hasil pra-pengolahan pada misi 2 di lokasi 1.	78
Gambar II-111. Peta ortomosaik per <i>band</i> hasil pra-pengolahan lokasi 2.	78
Gambar II-112. Peta elevasi (DEM) hasil pra-pengolahan data di lokasi 2.	79
Gambar II-113. Peta ortomosaik RGB hasil pra-pengolahan data pada lokasi 2.	79
Gambar II-114. Peta <i>point cloud</i> hasil pra-pengolahan pada lokasi 2.	80
Gambar II-115. Spektrum rata-rata batugamping di lokasi 3.	81
Gambar II-116. Spektrum rata-rata batuan beku segar di lokasi 4.	81

Gambar II-117. Spektrum rata-rata batuan beku lapuk di lokasi 4.....	81
Gambar II-118. Spektrum rata-rata batuan beku segar di lokasi 5.....	81
Gambar II-119. Identifikasi bangunan pada misi 1 di lokasi 1.....	83
Gambar II-120. Identifikasi vegetasi pada misi 1 di lokasi 1.	84
Gambar II-121. Identifikasi air pada misi 1 di lokasi 1.....	85
Gambar II-122. Identifikasi batuan karbonat pada misi 1 di lokasi 1.	86
Gambar II-123. Interpretasi tahap 1 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi bangunan.	86
Gambar II-124. Interpretasi tahap 2 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi vegetasi.....	87
Gambar II-125. Interpretasi tahap 3 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi air.	87
Gambar II-126. Interpretasi tahap 4 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi batuan karbonat.....	88
Gambar II-127. Titik pengambilan sampel spektrum data pada misi 1 di lokasi 1.	88
Gambar II-128. Pengambilan data spektrum pada perangkat lunak SpectraLITE.	89
Gambar II-129. Spektrum dari 6 titik sampel pada data misi 1 di lokasi 1.	90
Gambar II-130. Interpretasi akhir pada misi 1 di lokasi 1.	91
Gambar II-131. Ilustrasi orientasi litologi (<i>strike</i> dan <i>dip</i>).	91
Gambar II-132. Titik perhitungan <i>strike</i> dan <i>dip</i>	92
Gambar II-133. Proyeksi perlapisan batuan terhadap bidang tegak utara- selatan.....	92
Gambar II-134. Proyeksi perlapisan batuan terhadap bidang tegak barat- timur.	93
Gambar II-135. Ilustrasi perumusan <i>strike</i> dan <i>dip</i> berdasarkan proyeksi perlapisan batuan terhadap bidang tegak.	93
Gambar II-136. Identifikasi bangunan pada misi 2 di lokasi 1.....	95
Gambar II-137. Identifikasi vegetasi pada misi 2 di lokasi 1.	95
Gambar II-138. Identifikasi air pada misi 2 di lokasi 1.....	96
Gambar II-139. Identifikasi batuan karbonat pada misi 2 di lokasi 1.	96

Gambar II-140. Interpretasi tahap 1 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi bangunan.	97
Gambar II-141. Interpretasi tahap 2 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi vegetasi.	97
Gambar II-142. Interpretasi tahap 3 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi air.	97
Gambar II-143. Interpretasi tahap 4 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi batuan karbonat.	98
Gambar II-144. Interpretasi akhir pada misi 2 di lokasi 1.	98
Gambar II-145. Identifikasi bangunan dan vegetasi di lokasi 2.	99
Gambar II-146. Identifikasi air dan batuan karbonat di lokasi 2.	99
Gambar II-147. Interpretasi tahap 1 di lokasi 2, distribusi bangunan.	100
Gambar II-148. Interpretasi tahap 2 di lokasi 2, distribusi vegetasi.	100
Gambar II-149. Interpretasi tahap 3 di lokasi 2, distribusi air.	100
Gambar II-150. Interpretasi tahap 4 di lokasi 2, distribusi batuan karbonat.	101
Gambar II-151. Interpretasi akhir di lokasi 2.	101
Gambar II-152. Capaian keluaran 1, perangkat keras.	102
Gambar II-153. Capaian keluaran 2, perangkat lunak.	102

DAFTAR TABEL

Tabel II-1. Tabel peran metode spektral pada kegiatan migas.	9
Tabel II-2. Spesifikasi teknis kamera multispektral.	21
Tabel II-3. Spesifikasi teknis perangkat <i>drone</i>	22
Tabel II-4. Nilai reflektansi sampel batupasir.	63
Tabel II-5. Perbandingan reflektansi antar <i>band</i> pada batupasir.	65
Tabel II-6. Nilai reflektansi sampel batulempung.	66
Tabel II-7. Perbandingan reflektansi antar <i>band</i> pada batulempung.....	67
Tabel II-8. Nilai reflektansi sampel batugamping.	67
Tabel II-9. Perbandingan reflektansi antar <i>band</i> pada batugamping.....	68
Tabel II-10. Nilai reflektansi sampel batuserpih.	69
Tabel II-11. Perbandingan reflektansi antar <i>band</i> pada batuserpih.	70
Tabel II-12. Nilai reflektansi sampel batubara.	70
Tabel II-13. Perbandingan reflektansi antar <i>band</i> pada batubara.	71
Tabel II-14. Nilai reflektansi sampel batuan beku.	71
Tabel II-15. Perbandingan reflektansi antar <i>band</i> pada batuan beku.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Kode Program Utama Pra-Pengolahan Data.....	105
Lampiran B. Kode Program Pengolah dan Interpreter Data	108
Lampiran C. Foto Kegiatan Uji Lapangan	134
Lampiran D. Foto Kegiatan dan Sertifikat Pelatihan Operator	135

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagian besar reservoir migas akan mengalami *leakage* dalam bentuk rembesan (*seepage*). Rembesan migas didefinisikan sebagai minyak atau gas yang keluar melalui celah kebocoran *reservoir* secara alami. Keberadaan rembesan dapat menjadi indikasi awal keberadaan hidrokarbon. Rembesan muncul melalui retakan (NOAA) atau muncul akibat migrasi hidrokarbon di sepanjang sesar yang tidak menerus (Rubio 2012 dalam Susantoro 2019).

Berdasarkan ukurannya, terdapat dua macam bentuk rembesan hidrokarbon di permukaan, yaitu mikro dan makro. Rembesan makro umumnya dapat diidentifikasi oleh indera manusia, dapat berupa minyak maupun gas. Sedangkan rembesan mikro sulit diamati tanpa bantuan peralatan.

Di beberapa negara, metode spektral (baik multispektral maupun hiperspektral) telah banyak diaplikasikan walaupun untuk aplikasi di bidang migas masih sedikit. Data yang digunakan pada umumnya adalah citra spektrum dari satelit. Kelemahan dari citra satelit adalah mempunyai resolusi yang rendah. Data spektral dengan resolusi terbaik dari satelit mempunyai ketelitian (GSD) 10 meter per piksel. Pada penelitian ini diusulkan perekaman citra spektral dari jarak pendek menggunakan kamera multispektral sehingga dapat menghasilkan GSD hingga <5cm per piksel.

Hal lain yang melatarbelakangi usulan ini adalah permasalahan pada kegiatan survei geologi, di mana kadang didapati titik-titik penting yang tidak dapat dijangkau oleh para surveyor baik karena faktor topografi maupun sebab lain. Diperlukan peralatan survei untuk mengidentifikasi litologi, struktur maupun fluida di permukaan yang mampu menjangkau titik-titik penting tersebut. Kegiatan yang diusulkan adalah metode pemanfaatan

peralatan survei multispektral yang dimobilisasi menggunakan *drone*. Mobilitas *drone* dinilai dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas survei geologi.

B. Ruang Lingkup Studi

Kegiatan penelitian ini meliputi dan terbatas pada :

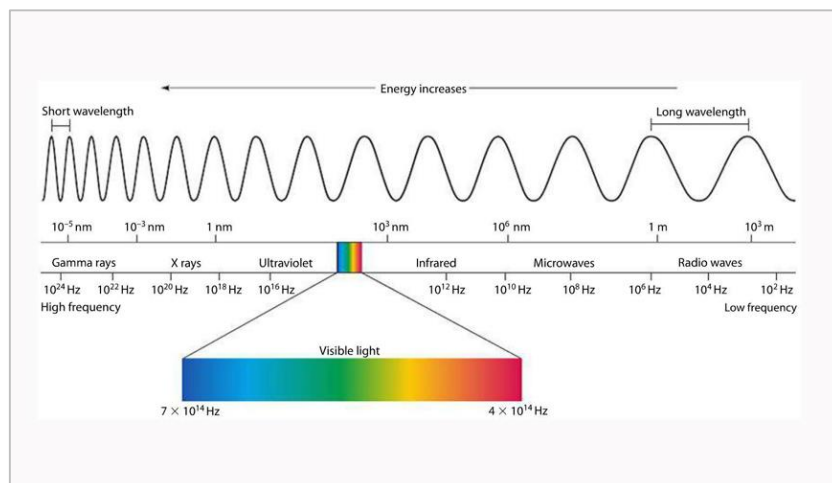
1. Pemanfaatan perangkat keras kamera multispektral yang dimobilisasi oleh *drone* untuk perekaman citra spektrum.
2. Pembuatan perangkat lunak untuk interpretasi data spektrum ke dalam informasi geologi dan mineral yang terdiri dari dua buah aplikasi.
 - a. Aplikasi pra-pengolahan, untuk mempersiapkan data mentah hasil perekaman hingga siap untuk diolah (berbasis pemrograman python). Aplikasi ini terdiri dari konversi citra mentah ke dalam citra reflektansi, koreksi vignette, koreksi distorsi *barrel* dari lensa kamera dan jahitan citra (*images stitching*) yang menghasilkan citra ortomosaik serta dilengkapi dengan menampilkan citra ortomosaik secara 2 dan 3 dimensi.
 - b. Aplikasi pengolahan dan interpretasi (berbasis pemrograman javascript) yang menghasilkan keluaran berupa peta Geologi.

BAB II. REKAYASA ALAT PENCITRAAN MULTISPEKTRAL UNTUK PEMETAAN SEBARAN MICROSEEPAGE DAN LITOLOGI PERMUKAAN

A. Landasan Teori

1. Gelombang Elektromagnetik

Alam semesta adalah lautan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik dari panjang gelombang terpendek yaitu sinar gamma hingga panjang gelombang terpanjang yaitu gelombang radio, baik yang bersumber dari eksternal seperti matahari maupun dari aktivitas manusia seperti perangkat elektronika. Gelombang elektromagnetik mempunyai jangkauan tak hingga dan tidak membutuhkan media untuk menjaral. Gambar II-1 menunjukkan perbandingan panjang gelombang, frekuensi dan energi dari gelombang elektromagnetik.



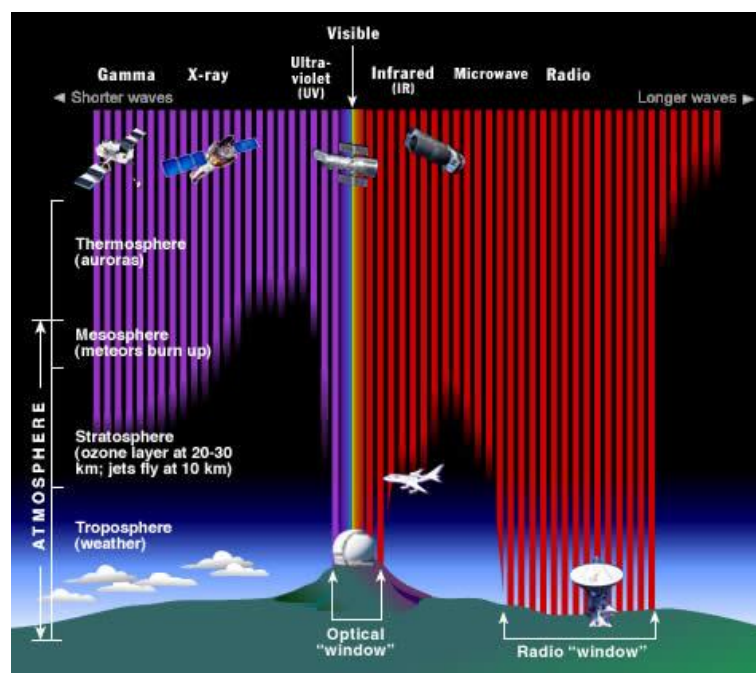
Sumber: justscience.in

Gambar II-1. Perbandingan panjang gelombang, frekuensi dan energi gelombang elektromagnetik.

Salah satu kategori gelombang elektromagnetik yang mudah diamati oleh manusia tanpa instrumen bantu adalah cahaya tampak yang mempunyai *range* panjang gelombang antara 380 – 760 nm, atau frekuensi

antara 400 – 790 THz. Gelombang tak tampak yang banyak dimanfaatkan oleh manusia adalah gelombang ultraviolet (10 – 380 nm), infra-red (760 – 1000 nm) dan gelombang radio (>300 m). Keempat kelompok gelombang tersebut keberadaannya sangat melimpah di permukaan bumi, sedangkan gelombang lain tertahan di lapisan atmosfer (Gambar II-2).

Salah satu teknologi yang memanfaatkan gelombang untuk tujuan pemetaan adalah kamera. Seperti halnya mata manusia, kamera bekerja dengan cara menangkap gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh sebuah objek. Objek berwarna hijau adalah sebuah benda yang memantulkan dengan baik gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang *green* (sekitar 500 nm) dan menyerap dengan baik panjang gelombang di atas atau di bawahnya. Jika sebuah benda memantulkan gelombang elektromagnetik dengan baik pada semua panjang gelombang, maka citra pada kamera akan terlihat berwarna putih, yaitu gabungan dari panjang gelombang warna merah (*R*), hijau (*G*) dan biru (*B*). Sebaliknya, jika sebuah objek menyerap semua panjang gelombang maka citra pada kamera akan terlihat hitam.



Sumber: STScI/JHU/NASA

Gambar II-2. Kesampaian gelombang elektromagnetik di bumi.

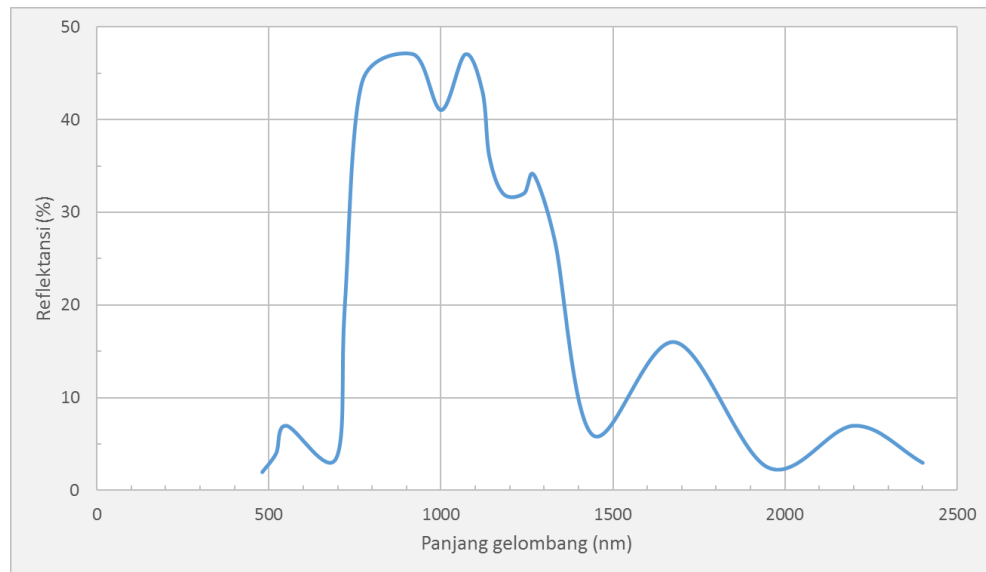
Kegiatan pengukuran gelombang berdasarkan panjang gelombangnya disebut dengan spektroskopi, yaitu ilmu yang mempelajari materi dan atributnya berdasarkan gelombang yang dipancarkan, diserap atau dipantulkan oleh materi tersebut (Wiweka, 2006). Keluaran dari proses spektroskopi adalah spektrum, yaitu kurva hubungan antara reflektansi dengan panjang gelombang, di mana reflektansi adalah intensitas gelombang yang dipantulkan oleh sebuah objek terhadap intensitas yang diterima.

Ketika sebuah gelombang elektromagnetik jatuh mengenai obyek biologik, maka akan terjadi interaksi antara obyek dan sinar tersebut dimana obyek tersebut akan memberi respon berupa pantulan/reflektansi, serapan/absorbtansi dan terusan/transmitansi (Munawar, 2016). Jika intensitas yang diterima oleh sebuah objek 100 satuan *radiance* lalu memantulkan intensitas yang diterimanya sebesar 75 satuan *radiance*, maka objek ini disebut mempunyai reflektansi 75% atau absorptansi 25%.

2. Metode Multispektral dan Hiperspektral

Metode spektral adalah sebuah metode identifikasi objek berdasarkan sifat dari objek tersebut dalam merespon gelombang elektromagnetik yang mengenainya. Setiap objek akan mempunyai respon yang spesifik terhadap gelombang elektromagnetik. Sebagai contoh, objek 1 bersifat menyerap panjang gelombang antara a hingga b, memantulkan secara lemah panjang gelombang antara b hingga c, dan memantulkan secara kuat panjang gelombang antara c hingga d. Sementara objek 2 memantulkan secara kuat panjang gelombang dari a hingga c dan menyerap panjang gelombang dari c hingga d.

Setiap objek akan memiliki kurva respon yang berbeda dengan objek lainnya, bergantung pada elemen penyusun dan struktur molekulnya. Sensor spektral menangkap pantulan gelombang elektromagnetik dari objek yang dideteksi. Semakin kuat pantulannya maka akan semakin tinggi intensitas yang diterima oleh sensor spektral. Gambar II-3 adalah contoh kurva spektrum dari salah satu jenis tanaman (jagung).



Gambar II-3. Contoh kurva respon salah satu jenis tanaman di mana memantulkan gelombang elektromagnetik dengan sangat kuat pada cakupan panjang gelombang antara 700 nm hingga 1300 nm.

Keluaran akuisisi data dari metode spektral berbentuk citra digital. Setiap piksel dari citra spektral mempunyai kurva spektral yang membawa informasi penting tentang objek yang diamati. Dalam setiap pengambilan data citra spektral, data citra yang dihasilkan tidak hanya satu melainkan terdiri dari beberapa citra dengan setiap citranya mewakili panjang gelombang tertentu.

Setiap jangkauan panjang gelombang tertentu dikelompokkan berdasarkan sifat dan keunggulan masing-masing dalam menggambarkan objek. Berikut rincian nomenklatur tiap-tiap jangkauan panjang gelombang elektromagnetik:

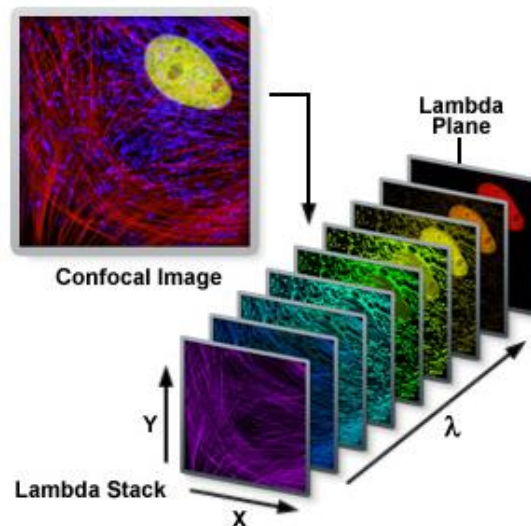
- Cahaya tampak (Biru) : 450 – 518 nm, unggul dalam pencitraan atmosfer dan air jernih.
- Cahaya tampak (Hijau) : 518 – 600 nm, unggul dalam pencitraan vegetasi.
- Cahaya tampak (Merah) : 600 – 690 nm, unggul dalam pencitraan objek buatan.
- Infra-merah dekat (NIR) : 750 – 900 nm, unggul dalam pencitraan vegetasi.

- Infra-merah sedang (MIR) : 1550 – 1750 nm, unggul dalam pencitraan kelembaban tanah dan titik api.
- Infra-merah jauh (FIR) : 2080 – 2350 nm, unggul dalam pencitraan tanah dan fitur alam.
- Infra-merah panas : 10400 – 12500 nm, unggul dalam pencitraan objek berdasar sifat termal.

Berdasarkan resolusi dari panjang gelombangnya, terdapat dua jenis pencitraan spektral yang umum diterapkan pada kegiatan penginderaan jauh, yaitu multispektral dan hiperspektral.

a. Multispektral

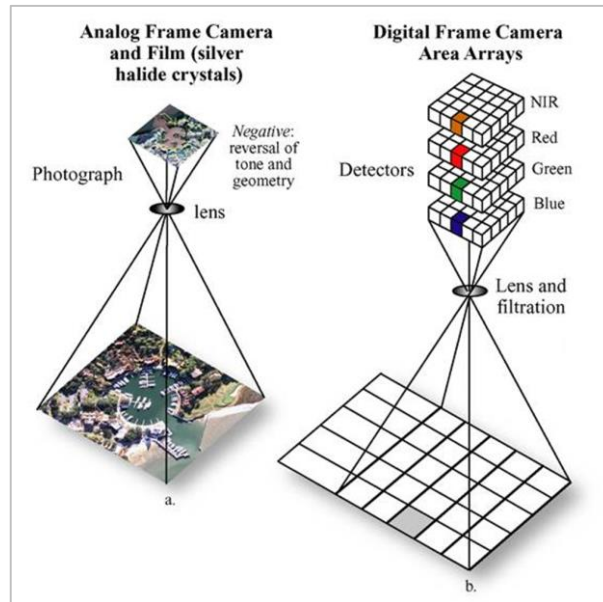
Perekaman multispektral dilakukan dengan cara mendeteksi spektrum gelombang untuk tiap-tiap panjang gelombang (λ) tertentu. Untuk mendapatkan data yang lengkap, perekaman dilakukan berulang pada panjang gelombang yang berbeda-beda. Setiap satu citra merupakan kumpulan dari λ *plane*. Semakin banyak λ *plane* maka akan semakin bagus kualitas data yang dimiliki.



Gambar II-4. Lambda stack pada metode multispektral.

Metode multispektral dicirikan dengan panjang gelombang yang diskrit, dengan interval tertentu. Umumnya data multispektral terdiri dari 4 hingga 10 λ *plane* dengan interval panjang gelombang antar *plane*

sekitar 50 nm - 200 nm. Istilah yang biasa digunakan untuk menunjukkan jumlah λ *plane* adalah *band*.

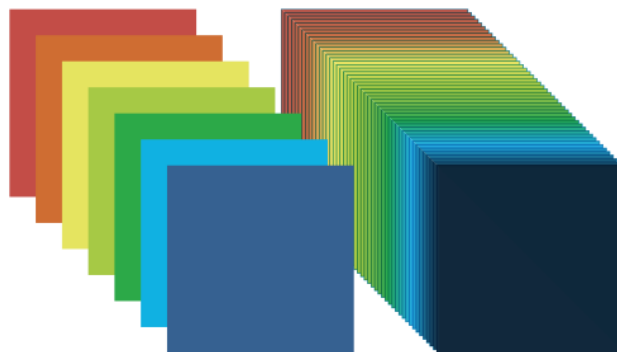


Sumber: Jensen (2007)

Gambar II-5. Perbedaan kamera konvensional (kiri) dan kamera multispektral (kanan).

b. Hiperspektral

Jika interval antar panjang gelombang semakin rapat (mendekati kontinu), maka metode ini disebut dengan hiperspektral. Menurut (Erick J.B 2002 dalam Wiweka 2008) interval panjang gelombang metode hiperspektral berada pada *range* 5 nm hingga 10 nm. Sehingga metode hiperspektral merupakan pilihan terbaik untuk menghasilkan citra yang kaya akan frekuensi.



Gambar II-6. Perbedaan metode multispektral dan hiperspektral.

3. Aplikasi Metode Spektral di Bidang Geologi

Pemanfaatan data citra spektral di bidang geologi telah diaplikasikan sejak 3-4 dekade terakhir melalui metode penginderaan jauh (citra satelit) namun belum dilakukan analisis yang berkaitan dengan bawah permukaan (Lehman 2014 dalam Susantoro 2019). Penginderaan jauh merupakan metode paling non-destruktif dibandingkan dengan metode eksplorasi migas lainnya. Metode spektral untuk deteksi rembesan mikro dilakukan dengan mendeteksi alterasi batuan di permukaan. Di Indonesia, penginderaan jauh pertama kali dilakukan pada tahun 1935 di Irian Jaya (sekarang Papua) oleh perusahaan minyak Shell (Sudrajat 1990 dalam Susantoro 2019). Rembesan mikro membentuk konsentrasi tinggi dari hidrokarbon volatil atau semi-volatil yang dapat dideteksi secara analitik di tanah, sedimen, atau perairan (AAPG, 2016).

Metode spektral melalui penginderaan jauh dapat memberikan banyak peran pada kegiatan migas, terutama pada tahapan eksplorasi. Tabel II-1 berikut menjelaskan daftar peran yang dapat diisi berdasarkan Lemigas-JICA (1994) :

Tabel II-1. Tabel peran metode spektral pada kegiatan migas.

Tahap	Proses Kegiatan	Peran metode spektral
Joint studi WK terbuka	Studi Geologi regional	Skala cekungan, Total sedimen, Arah dan panjang struktur, Geologi regional
	Evaluasi Geologi	Kondisi Geologi
Eksplorasi	Studi Geologi/Geofisika	Interpretasi Geologi, Studi situasi dan kondisi lokasi (topografi, vegetasi, infrastruktur), Penentuan jalur seismik, Rona awal lingkungan
	Analisis play, lead & prospect	Kajian anomali permukaan
	Pemboran eksplorasi & analisis sumur	Cut & fill
	Pemboran delineasi	
Eksplotasi	Pemboran sumur pengembangan	Analisis lahan/ganti untung, Perencanaan detail (jalur pipa, infrastruktur, topografi)
	Pemb. fasilitas dan infrastruktur	
	Produksi hidrokarbon	Monitoring deformasi
	EOR	Monitoring <i>uplift</i> /deformasi

Pada kegiatan penelitian ini, metode ini mengambil peran pada kegiatan interpretasi geologi (ditandai warna kuning).

a. Identifikasi Litologi dan Struktur

Setiap batuan mempunyai struktur kimia yang spesifik sehingga mempunyai kurva respon spektrum yang spesifik juga. Referensi tentang spektrum dari batuan tidak ditemukan karena belum banyak dilakukan penelitian mengenai hal ini. Pada penelitian ini akan dilakukan karakterisasi spektrum secara langsung dari berbagai jenis batuan yang tersedia di laboratorium geologi (*core storage*) LEMIGAS dan berbagai jenis manifestasi geologi di lapangan. Jika data hasil karakterisasi ini mempunyai konsistensi yang baik, maka data tersebut akan dapat dijadikan sebagai referensi pada interpretasi citra multispektral.

b. Rembesan Migas

Rembesan migas didefinisikan sebagai minyak atau gas yang keluar melalui celah kebocoran reservoir secara alami. Keberadaan rembesan dapat menjadi indikasi awal keberadaan hidrokarbon walaupun bersifat kualitatif, yang berarti kapasitas rembesan tidak menunjukkan faktor keekonomian dari minyak dan gas yang ada di bawahnya (Eyer 1977 dalam Susantoro 2009). Rembesan mikro dapat berupa metana, gas mulia, atau material hidrokarbon seperti minyak ringan, minyak berat dan hidrokarbon tak jenuh (Chen, 2017).

Rembesan migas sangat penting pada kegiatan eksplorasi migas. Para ahli geokimia telah membuktikan bahwa penemuan rembesan di permukaan meningkatkan kesuksesan pada pencarian migas melalui pengukuran anomali gas hidrokarbon di permukaan. Rembesan mengakibatkan perubahan konsentrasi mineral lempung, perubahan mineral oksida besi, perubahan konsentrasi gas karbon serta perubahan konsentrasi gas Radon dan Uranium pada tanah di permukaan.

Rembesan juga mengurangi konsentrasi oksigen pada tanah (Saunders, 1999) sehingga karakter pertumbuhan vegetasi dapat menjadi indikator keberadaan rembesan. Sebuah penelitian tentang pengaruh

hidrokarbon terhadap perubahan kondisi tanah dan sedimen (Schumacher 1996 dalam Susantoro 2019) menunjukkan bahwa rembesan migas dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan adanya perubahan kimia pada mineral yang membentuk zona oksidasi dan reduksi.

Rembesan dapat dibedakan berdasarkan beberapa variabel. Berdasarkan mekanismenya, terdapat 4 jenis rembesan:

- Efusi (*effusion*), akibat perbedaan tekanan.
- Difusi, akibat perbedaan konsentrasi.
- Pelarutan, hidrokarbon membentuk koloid.
- Gelembung gas, akibat massa jenis.

Mekanisme efusi sangat dominan dan terjadi pada kebanyakan rembesan makro. Efusi adalah proses berpindahnya partikel dari satu tempat ke tempat lain akibat adanya perbedaan tekanan. Efusi dapat terjadi bahkan pada lubang yang ukurannya lebih kecil dari partikel gas yang melewatinya. Proses rembesan ini dapat terjadi ke segala arah dan mempunyai kecepatan migrasi yang lebih tinggi dibanding mekanisme lain.

Mekanisme difusi terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi minyak atau gas pada dua tempat yang berbeda. Kebanyakan mempunyai arah vertikal atau hampir vertikal ke arah permukaan. Mekanisme ini berjalan sangat lambat karena tidak ada gaya eksternal yang membantu proses migrasinya.

Rembesan akan mengakibatkan perubahan baik secara kimia maupun fisika pada lingkungan di permukaan. Perubahan inilah yang disebut dengan anomali. Pendeteksian rembesan mikro dideteksi dari pengamatan anomali tersebut. Beberapa anomali kimia yang umum terjadi akibat rembesan mikro antara lain:

- Pemutihan batupasir

Molekul hidrokarbon akan melarutkan kandungan oksida besi pada batupasir sehingga terjadi perubahan pada spektrum batupasir. Pada batupasir tersebut akan terjadi peningkatan kadar *pyrite* dan *siderite*.

- Perubahan mineral pada lempung

Lempung seperti *illite* and *smectite* akan berubah menjadi *kaolinite* pada area rembesan mikro, yang akan memberikan efek terang pada citra spektrum.

- Peningkatan karbonat

Batuan karbonat merupakan produk sampingan dari oksidasi hidrokarbon pada batuan.

- Perubahan spektrum pada vegetasi

Rembesan mikro memberikan efek asam pada tanah. Efek tersebut berpengaruh pada pertumbuhan abnormal pada vegetasi. Sedangkan anomali fisika yang dapat diamati antara lain anomali resistivitas, magnetik, kecepatan seismik dan polarisasi atom.

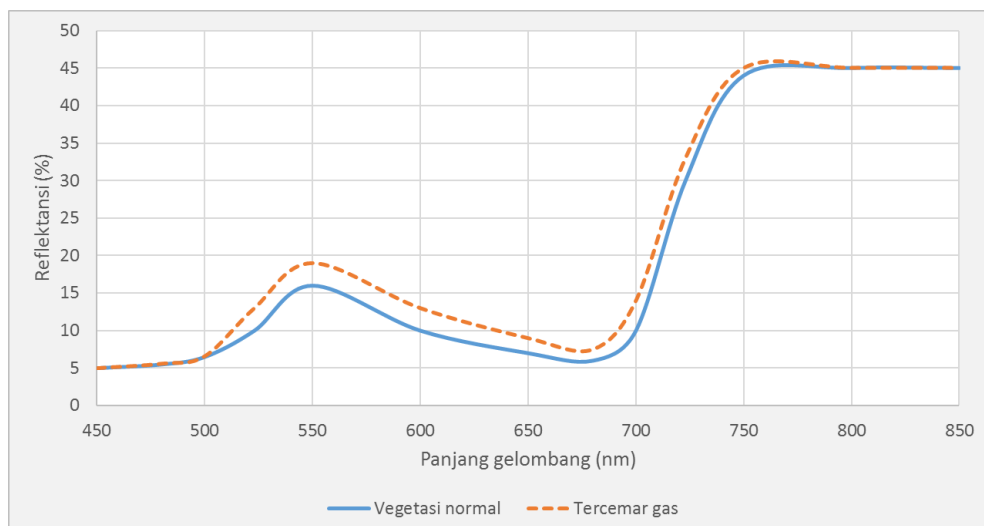
1). Analisis Geobotani

Metode spektral telah banyak digunakan pada bidang pertanian untuk mengidentifikasi jenis tanaman, umur, tingkat kesuburan serta gangguan yang dialami oleh tanaman. Keberadaan rembesan migas di area vegetasi akan memberikan pengaruh pada pertumbuhan tanaman. Adanya polusi hidrokarbon di sekitar tanaman dapat merubah struktur daun dari tanaman tersebut. Vegetasi yang tumbuh pada daerah yang tidak tercemar oleh rembesan migas akan mempunyai pola pantulan spektrum yang tinggi pada panjang gelombang 800-1100 nm dan menyerap dengan baik panjang gelombang di sekitar 450 nm dan 670 nm.

Citra spektrum dari vegetasi sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berkaitan dengan proses fotosintesis, terutama klorofil dan kadar air pada daun. Klorofil dan air sama-sama bersifat menyerap gelombang elektromagnetik sehingga terjadi penurunan intensitas, hanya saja keduanya menyerap gelombang pada panjang gelombang berbeda. Kadar air menyerap panjang gelombang di atas 800 nm sedangkan klorofil menyerap gelombang di bawah 800 nm. Perubahan kondisi vegetasi dapat disebabkan oleh adanya rembesan mikro terlebih makro (Noomen, 2007). Perubahan kondisi ini dapat dideteksi menggunakan metode penginderaan jauh dengan citra spektral (Smejkalova dan Bujok, 2012/2016).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa pertumbuhan vegetasi mengalami gangguan jika berada di dekat rembesan mikro hidrokarbon. Antara lain kerapatannya menjadi jarang (Schumacher, 1996), ukurannya menjadi kerdil (Noomen, 2007). Dan untuk rembesan makro gangguannya juga berdampak pada vegetasi yang lokasinya jauh dari rembesan tersebut (Omodanisi dan Salami, 2014). Gas etana memberi pengaruh gangguan lebih kuat terhadap tanaman dibandingkan dengan gas metana.

Gas etana menyebabkan berkurangnya kadar klorofil daun yang mengakibatkan berkurangnya daya serap daun terhadap panjang gelombang antara 560 nm hingga 600 nm. Gas etana juga mengganggu asupan air pada tanaman sehingga semakin mengurangi daya serap daun pada panjang gelombang antara 500 nm hingga 728 nm (Smith, 2004). Contoh kasus perubahan respon vegetasi terhadap gelombang elektromagnetik akibat pencemaran hidrokarbon ditunjukkan pada Gambar II-7.



Gambar II-7. Perbandingan kurva respon spektral antara vegetasi normal dengan vegetasi tercemar gas (Smith, 2004).

2). Batuan Lempung

Lempung atau tanah liat berasosiasi dengan alterasi batuan akibat pengaruh hidrotermal. Umumnya lempung berasal dari batuan basalt, granit

atau andesit yang mengalami pelapukan. Batuan asal tersebut mempengaruhi warna dari lempung yang terbentuk. Batuan asal mengalami pelapukan kemudian hasil pelapukannya terbawa oleh air atau angin membentuk endapan sehingga lempung masuk ke dalam kelompok batuan sedimen.

Pada peta Landsat 7 saluran 5, analisis mineral lempung berada pada panjang gelombang 1550 nm hingga 1750 nm, sedangkan pada saluran 7 berada pada panjang gelombang 2090 nm hingga 2350 nm. Pada panjang gelombang ini lempung akan menyerap gelombang secara kuat sehingga nilai reflektansinya turun drastis. Rembesan pada jangka panjang akan mempengaruhi perubahan struktur kimia dan perubahan kadar pH pada lempung (Schumacher 1996 dalam Susantoro 2019).

3). Oksida Besi

Mineral Oksida Besi (Fe_2O_3) menyerap panjang gelombang 450 nm hingga 520 nm dan memantulkan panjang gelombang 600 nm – 690 nm. Material yang mengandung logam ferromagnetik akan menyerap panjang gelombang di sekitar nilai 1000 nm. Rembesan migas akan menyebabkan peningkatan *ferrous*, yaitu atom besi yang kekurangan 2 elektron (membentuk Fe^{+2}) dan juga akan menyebabkan penurunan *ferric*, atau atom besi yang kekurangan 3 elektron (membentuk Fe^{+3}).

B. Metodologi

1. Lokasi Kegiatan

Pengerjaan kegiatan penelitian ini dibagi dalam beberapa lokasi. Sub kegiatan instalasi perangkat keras dan perancangan perangkat lunak pengolah data multispektral dilakukan di laboratorium instrumentasi, sub kegiatan perekaman spektrum batuan referensi dilakukan di laboratorium geologi, sedangkan perekaman spektrum batuan di lapangan (uji lapangan) dilakukan di daerah Kabupaten Bogor (Propinsi Jawa Barat) dengan pertimbangan bahwa daerah tersebut memiliki manifestasi Geologi yang cukup lengkap.

2. Alat dan Bahan

Sistem peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari sistem perekam spektrum dan perangkat komputer. Sedangkan bahan yang digunakan adalah sampel batuan. Secara rinci sistem tersebut terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

a. Alat :

1. Sistem perekam spektrum :

- Komponen utama :
 - *Drone*
 - Kamera multispektral
- Komponen pendukung :
 - *Mounting kit* (adapter komunikasi *drone* dan kamera multispektral)

2. Komputer

- PC
- Paket perangkat lunak Python dan Anaconda.
- Perangkat lunak Docker.
- Perangkat lunak Apache Netbeans IDE.
- Perangkat lunak *web server* XAMPP.

b. Bahan :

Sampel batuan permukaan, yang terdiri dari dua kelompok.

- Jenis batuan sedimen:
 - batupasir
 - batulempung
 - batugamping
 - batuserpih
 - batubara
- Jenis batuan beku:
 - lava
 - ultrabasa

3. Tahapan Kegiatan

Kegiatan ini terdiri dari dua sub kegiatan utama yaitu penyiapan perangkat keras perekam citra multispektral yang dilanjutkan dengan perekaman spektrum batuan referensi, dan perancangan perangkat lunak pengolah dan interpreter data citra multispektral. Kedua sub kegiatan ini dapat dikerjakan secara paralel.

Di akhir subkegiatan perangkat keras akan dihasilkan matriks spektrum dari batuan referensi yang perlu dimasukkan ke dalam basis data perangkat lunak. Setelah perangkat keras dan lunak siap, maka dilanjutkan pengujian di lapangan sebagai langkah untuk memvalidasi perangkat lunak yang dirancang. Secara rinci tahapan kegiatan dari masing-masing sub kegiatan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Penyiapan Perangkat Keras

- a. Instalasi komponen *drone*, kamera multispektral dan aksesorisnya.
- b. Uji terbang lokal di lingkungan LEMIGAS.
- c. Penyiapan batuan referensi.
- d. Perekaman batuan referensi.
- e. Karakterisasi spektrum batuan referensi, dengan keluaran berupa matriks.

b. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pra-pengolahan data:

- a. Pembuatan algoritma dan kode program untuk koreksi vignette.
- b. Pembuatan algoritma dan kode program untuk koreksi distorsi lensa.
- c. Pembuatan algoritma dan kode program untuk jahitan citra (*images stitching*).
- d. Pembuatan kode program untuk menampilkan hasil jahitan citra secara 3-dimensi.

Perangkat lunak pengolah dan interpreter data:

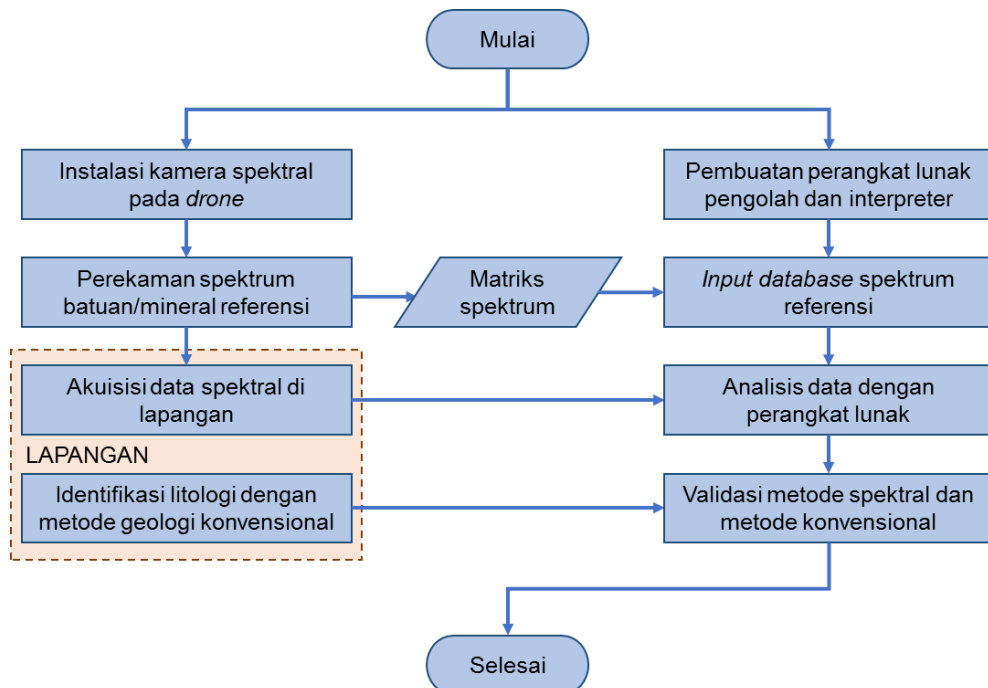
- a. Pembuatan algoritma pengklasteran data. Data reflektansi batuan dikelompokkan berdasarkan karakteristik batuan yang paling mendekati.

- b. Pemilihan bahasa pemrograman yang paling dapat mengakomodir fitur pengolahan dan interpretasi data citra multispektral.
- c. Pembuatan antarmuka perangkat lunak.
- d. Penyiapan basis data keperluan perangkat lunak.
- e. Pembuatan kode program:
 - Fitur menu utama program
 - Fitur *loading-unloading* proyek/peta.
 - Fitur *crop/trim* citra multispektral.
 - Fitur filter citra multispektral.
 - Fitur *help*.
 - Fitur interpretasi otomatis.
 - Fitur interpretasi manual (pembuatan dan penyuntingan *polygon* dan *polyline*) hingga menghasilkan peta distribusi litologi.
- f. Penyimpanan matriks spektrum batuan referensi hasil perekaman ke dalam basis data.

c. Uji Lapangan

- a. Memilih lapangan yang mempunyai cukup banyak manifestasi geologi.
- b. Melakukan akuisisi data di lapangan terpilih dan melakukan identifikasi objek dengan metode survei geologi konvensional.
- c. Melakukan pengolahan dan analisis data di laboratorium.
- d. Membandingkan hasil analisis dengan hasil survei geologi konvensional.

Seluruh tahapan kegiatan pada penelitian ini dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar II-8.



Gambar II-8. Diagram alir penelitian.

C. Data dan Hasil Kegiatan

1. Hasil Rekayasa

Kegiatan perekayasaan utama terdapat pada perancangan perangkat lunak, sedangkan perangkat keras merupakan pemanfaatan teknologi yang telah tersedia di industri. Penyiapan perangkat keras terdiri dari pengadaan komponen-komponen utama dan pendukung, instalasi dan penyiapan SDM operator peralatan, sedangkan perancangan perangkat lunak terdiri dari pembuatan aplikasi pra-pengolahan data dan aplikasi pengolah/interpreter data.

a. Perangkat keras

Komponen utama perangkat keras adalah *drone* dan kamera multispektral. Keduanya berasal dari produsen yang berbeda. Pada awal penelitian direncanakan pembuatan komponen pendukung berupa *adapter* antara *drone* dengan kamera multispektral agar dapat berkomunikasi secara elektronika. Namun kemudian *adapter* dengan fungsi yang sesuai telah tersedia di industri melalui produsen pihak ketiga sehingga kegiatan

pembuatan adapter diganti dengan pembelian adapter (*mounting kit*).
Bentuk fisik *mounting kit* ditunjukkan pada Gambar II-9.



Gambar II-9. *Mounting kit* kamera multispektral pada drone.

1). Spesifikasi teknis

a). Kamera multispektral

Dua unit komponen kamera multispektral (sensor Altum dan Rededge) telah diterima pada tanggal 26 Oktober 2020. Bentuk fisik dari kedua kamera ditunjukkan pada Gambar II-10.



Gambar II-10. Kamera multispektral. Altum (kiri) dan Rededge (kanan).

Perbedaan utama kamera multispektral Altum dan Rededge terdapat pada keberadaan sensor termal. Kamera Rededge hanya bekerja pada 5 *band* panjang gelombang dari *band* biru hingga IR, sedangkan Altum selain kelima *band* tersebut juga dilengkapi dengan panjang gelombang termal 11.000 nm sebagai *band* ke-enam. Sesuai dengan prinsip fisika dari gelombang, semakin tinggi panjang gelombang maka akan menghasilkan resolusi yang semakin rendah. *Band* termal pada altum menghasilkan resolusi 160 x 120 piksel. Spesifikasi teknis kedua kamera multispektral ditunjukkan pada Tabel II-2.

Dalam operasinya, kamera multispektral dilengkapi dengan sensor cahaya yang berfungsi untuk mengkoreksi nilai reflektansi pada citra yang dihasilkan. Data citra yang tersimpan pada kartu memori sudah dalam keadaan terkoreksi. Perangkat juga dilengkapi papan kalibrasi yang harus difoto dengan kamera multispektral sebelum dan sesudah perekaman data lapangan. Sensor cahaya dan papan kalibrasi ditunjukkan pada Gambar II-11.



Gambar II-11. Sensor cahaya (kiri) dan papan kalibrasi (kanan) dari Micasense.

Tabel II-2. Spesifikasi teknis kamera multispektral.

Parameter	Altum	RedEdge
Bobot	357 gr	232 gr
Dimensi	8,2 cm x 6,7 cm x 6,5 cm	8,7 cm x 5,9 cm x 4,6 cm
Daya	4,9 – 25 V	4,2 – 15,6 V
Band spektral	<i>blue</i> (475 nm), <i>green</i> (560 nm), <i>red</i> (668 nm), <i>red edge</i> (717 nm), NIR (840 nm)	<i>blue</i> (475 nm), <i>green</i> (560 nm), <i>red</i> (668 nm), <i>red edge</i> (717 nm), NIR (842 nm)
Band termal	IR (1100 nm)	Tidak ada
Resolusi citra	2064 x 1544 piksel	1280 x 960 piksel
Laju pengambilan citra	1 <i>shot</i> / detik	1 <i>shot</i> / detik
Jarak fokus lensa	8 mm (spektral) 1,77 mm (termal)	8 mm
Sudut pandang	48° x 37° (spektral) 57° x 44° (termal)	47° x 36°

b). Drone

Perangkat *drone* tipe Matrice 200 v2 telah diterima pada tanggal 30 November 2020. Perangkat ini terdiri dari UAV dan komponen pendukung (*mounting kit*, *remote control*, baterai cadangan dan aksesoris lain). Bentuk fisik perangkat *drone* ditunjukkan pada Gambar II-12.



Gambar II-12. *Drone* Matrice 200 v2. UAV (kiri) dan *remote control* (kanan).

Pengadaan *drone* mengalami keterlambatan kedatangan karena dampak pandemi Covid-19 yang mengharuskan operasional perusahaan

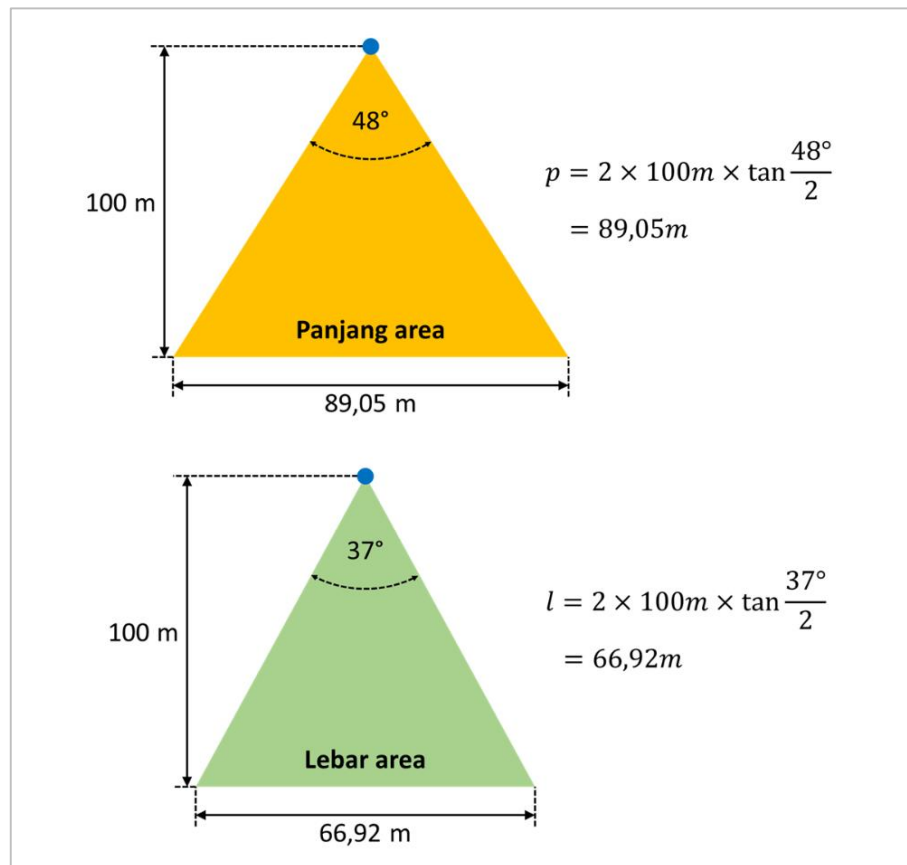
produsen libur sementara. Namun walaupun ada keterlambatan, penelitian ini dapat diselesaikan tepat waktu. Spesifikasi teknis perangkat *drone* ditunjukkan pada Tabel II-3.

Tabel II-3. Spesifikasi teknis perangkat *drone*.

Parameter	Nilai
Merk / Tipe	DJI / Matrice 200 v2
Dimensi	8,2 cm x 6,7 cm x 6,5 cm
Bobot	4,7 kg
Beban maks.	1,5 kg
Kecepatan horisontal	60-80 km/jam
Kecepatan naik	5 m/s
Kecepatan turun	5 m/s
Ketinggian maks.	3000 mdpl
Tipe GPS	GPS+GLONASS
Akurasi GPS	0,5m (vertikal) dan 1,5m (horisontal)
Baterai	Tipe: LiPo 6S TB55 Kapasitas: 7660 mAh Tegangan: 22,8 V Durasi terbang: 30 menit
<i>Remote Control</i>	Jarak maks.: 8km Frekuensi radio: 2,4 GHz dan 5,8 GHz

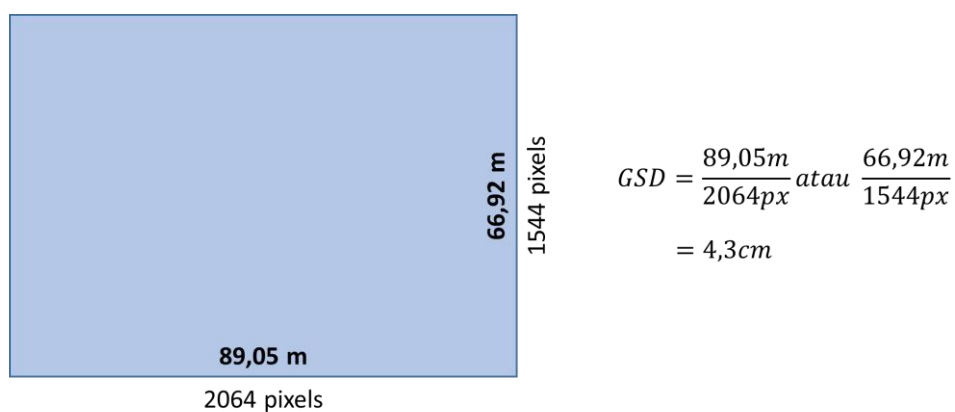
c). *Ground Sample Distance*

Dengan spesifikasi sudut pandang (*field of view*) seperti tersebut pada Tabel II-2, maka luas area (panjang dan lebar) dari objek yang tercakup oleh kamera multispektral Altum dirumuskan seperti pada Gambar II-13.



Gambar II-13. Perumusan cakupan area perekaman pada ketinggian *drone* 100m.

Karena resolusi citra yang dihasilkan adalah 2064 x 1544 piksel, maka setiap piksel akan mewakili dimensi area 4,3 cm x 4,3 cm (*ground sample distance*) sebagaimana dirumuskan pada Gambar II-14.



Gambar II-14. *Ground sample distance* (GSD) dari citra multispektral pada ketinggian *drone* 100m.

Keuntungan dari penggunaan *drone* pada perekaman data multispektral adalah dapat diperoleh resolusi spasial yang lebih baik dibandingkan data satelit. Berikut perbandingan resolusi spasial dari beberapa citra yang tersedia secara umum.

- Kamera Multispektral ketinggian 100 m : 3,2 cm/piksel
- Google Maps (RGB) : tertinggi 15 cm/piksel
- Sentinel-2 (Hiperspektral) : tertinggi 10 m/piksel

2). Uji Fungsi Kamera Multispektral

Kamera Multispektral telah diuji fungsi pada tanggal 4 November 2020 di lingkungan Lemigas dengan menggunakan *drone* Matrice 200 yang difasilitasi oleh pihak penyedia kamera (PT. Halo Robotics). Pengujian yang dilakukan meliputi perekaman misi dan perekaman manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kamera multispektral dapat bekerja dengan baik sesuai spesifikasi teknis yang disebutkan. Proses pengujian ditunjukkan pada Gambar II-15 hingga Gambar II-17.



Gambar II-15. Instalasi perangkat keras pada pengujian kamera.

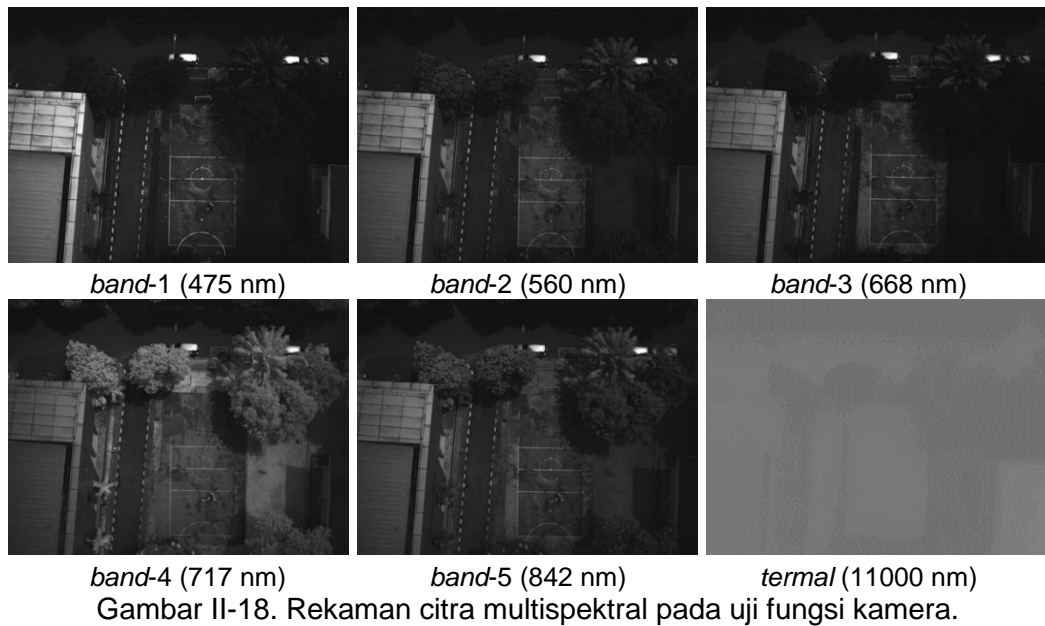


Gambar II-16. Koneksi drone dan kamera multispektral dengan pengendali.



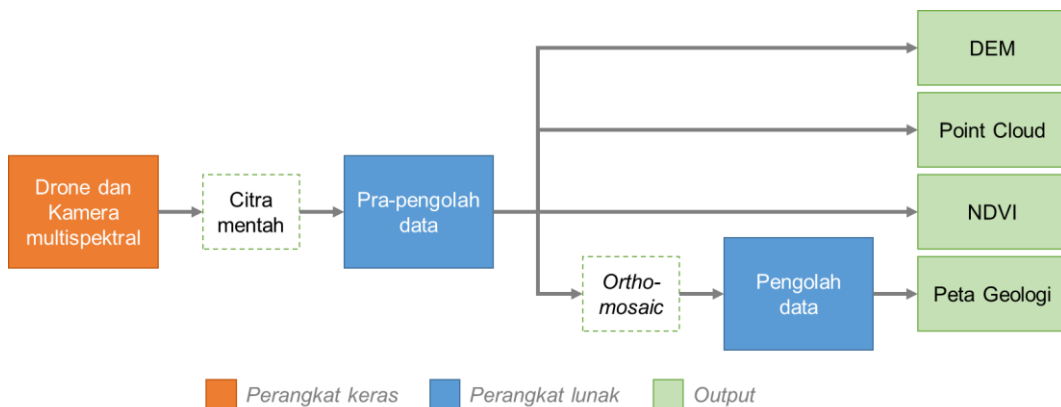
Gambar II-17. *Drone* terbang pada ketinggian 40 m.

Pengambilan citra spektrum pada ketinggian 40 m menghasilkan citra seperti ditampilkan pada Gambar II-18. Citra yang dihasilkan sesuai dengan yang disebutkan pada spesifikasi teknis.



b. Perangkat lunak

Perangkat lunak yang dirancang meliputi pra-pengolah data dan pengolah data. Fungsi dari kedua perangkat lunak tersebut ditunjukkan pada diagram blok Gambar II-19.



Gambar II-19. Diagram blok pengolahan data citra multispektral.

1). Aplikasi pra-pengolah data (SpectralLITE Prep).

Data citra hasil perekaman kamera multispektral adalah berkas citra mentah dengan format TIF yang masih mengalami distorsi teknis sehingga untuk dapat diolah memerlukan koreksi untuk mereduksi distorsi tersebut. Pra-pengolahan data adalah algoritma penyiapan data dari data mentah menjadi data yang sudah terkoreksi dan siap diolah. Tahap ini tidak

termasuk ke dalam proses pengolahan data karena bersifat umum dan berlaku pada semua data hasil perekaman citra menggunakan kamera baik kamera multispektral maupun kamera konvensional. Pra-pengolahan data terdiri dari empat tahapan, yaitu:

a). Kalibrasi Radiometrik

Kamera multispektral Micasense menghasilkan citra digital dengan kedalaman 16 bit setiap pikselnya. Data tersebut dinamakan DN atau *digital number* antara 0 hingga 2^{16} (0 - 65535). Nilai DN tersebut tersimpan pada berkas citra berformat TIF. Nilai DN harus dikonversi ke dalam *radiance* agar nilai pada pikselnya mempunyai arti fisis. *Radiance* adalah fluks radiasi yang diterima oleh suatu luasan tertentu per satuan sudut per satuan luasan proyeksi. *Radiance* biasa disimbolkan dengan L dan mempunyai satuan Watt/steradian meter kuadrat.

$$\frac{W}{sr \cdot m^2}$$

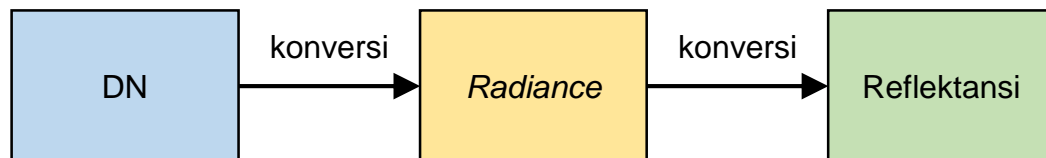
Radiance untuk tiap-tiap panjang gelombang tertentu dinamakan *spectral radiance*. *Spectral radiance* mempunyai simbol $L\lambda$ dan mempunyai satuan *radiance* dibagi satuan panjang gelombang.

$$\frac{W}{sr \cdot m^3}$$

Reflectance atau reflektansi adalah perbandingan *radiance* yang dipantulkan oleh suatu objek terhadap *radiance* yang diterima oleh objek tersebut dari luar. Reflektansi biasa disimbolkan dengan R atau ρ , sedangkan reflektansi spektral (*spectral reflectance*) disimbolkan dengan $\rho\lambda$. Karena merupakan perbandingan dua variabel dengan satuan yang sama, maka reflektansi tidak mempunyai satuan dan biasa dinyatakan dalam bentuk persentase (%) atau angka pecahan dari 0 hingga 1. Objek yang memantulkan setengah dari *radiance* yang diterima maka dikatakan mempunyai reflektansi 50% atau 0,5.

Lawan dari reflektansi adalah absorptansi (*absorptance*) yang mempunyai nilai $1 - \text{reflektansi}$, sehingga setiap objek yang mempunyai nilai reflektansi tinggi akan mempunyai nilai absorptansi yang rendah.

Pengolahan data citra multispektral menggunakan data reflektansi, sehingga perlu dilakukan konversi data mentah dari DN menjadi reflektansi seperti pada Gambar II-20. Proses ini disebut dengan istilah kalibrasi radiometrik.



Gambar II-20. Tahapan konversi pada pra-pengolahan data multispektral.

Terdapat beberapa persamaan untuk mengkonversi DN menjadi *radiance*, salah satunya adalah metode max-min sebagai berikut:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} (DN - Q_{max}) + L_{min}$$

di mana:

L_{λ} : *spectral radiance* dalam satuan Watt/sr m² μm

L_{max} : *radiance* maksimum terdeteksi

L_{min} : *radiance* minimum terdeteksi

Q_{max} : nilai piksel maksimum

Q_{min} : nilai piksel minimum

DN : digital number

Sedangkan untuk mengkonversi dari *spectral radiance* menjadi *spectral reflectance* digunakan persamaan sebagai berikut:

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

di mana:

ρ_{λ} : reflektansi

π : konstanta matematika 3,14

L_{λ} : *spectral radiance* yang diterima kamera (W/sr m³)

d : jarak matahari – bumi

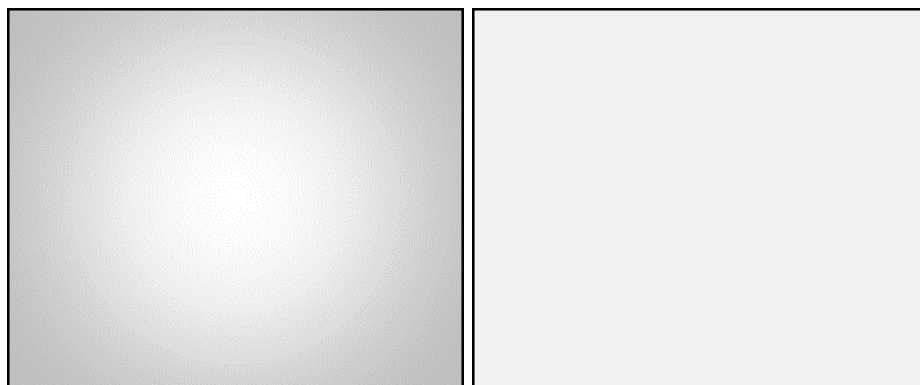
$E_{sun\lambda}$: irradiansi matahari ekso atmosferik rata-rata (W/m³)

θ_s : sudut posisi matahari

Variabel reflectance melibatkan irradiasi matahari karena matahari berperan sebagai sumber gelombang elektromagnetik yang memberikan nilai radiance kepada objek yang diamati di lapangan. Hal ini menyebabkan kegiatan perekaman citra multispektral sangat bergantung dengan keberadaan sinar matahari, sehingga tidak dapat dilakukan pada saat gelap. Waktu efektif perekaman citra adalah siang hari pukul 09.00 hingga 15.00 untuk wilayah tropis.

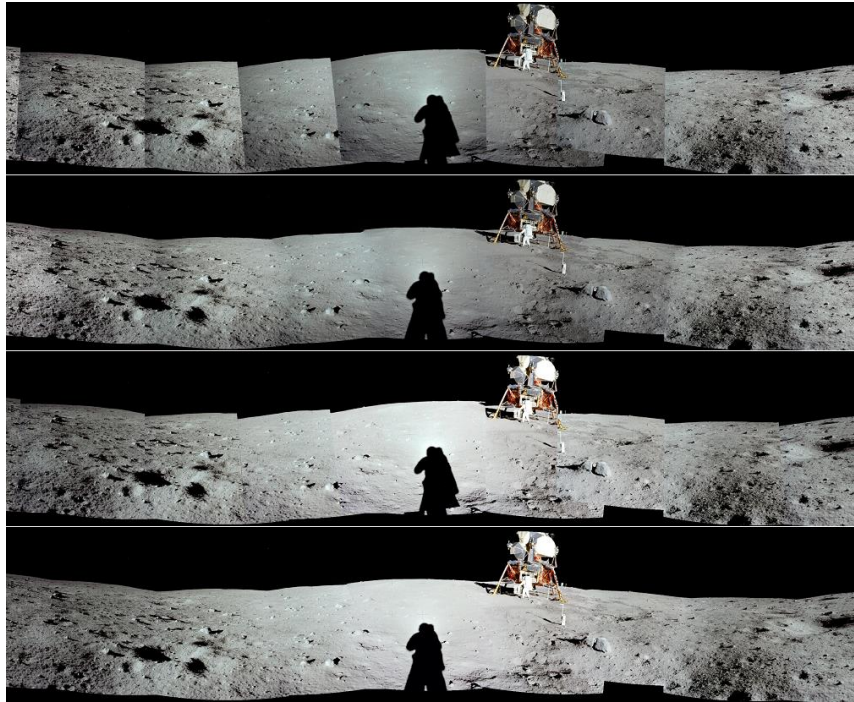
b). Koreksi Vignette

Vignette adalah efek penggelapan pada sebuah citra yang disebabkan oleh proses pembukaan dan penutupan lensa (*exposure time*) pada saat pengambilan gambar. Lensa membuka dari tengah, dimulai dari aperture kecil, kemudian melebar ke samping. Sebaliknya, proses penutupan lensa dimulai dari luar menuju dalam. Dengan demikian, bagian tengah lensa akan mendapatkan *exposure time* paling lama dibandingkan bagian luar sehingga bagian tengah citra akan terlihat paling terang. *Vignetting* akan memberikan efek seperti terlihat pada Gambar II-21.



Gambar II-21. Efek Vignette (kiri) dan citra terkoreksi (kanan).

Contoh aplikasi koreksi Vignette ditunjukkan pada Gambar II-22. Citra tanpa koreksi terlihat seperti bagian gambar teratas. Semakin ke bawah menunjukkan koreksi yang semakin baik. Pada pemrograman Python, efek Vignette dapat dikoreksi menggunakan fungsi filter Gaussian (`getGaussianKernel`).

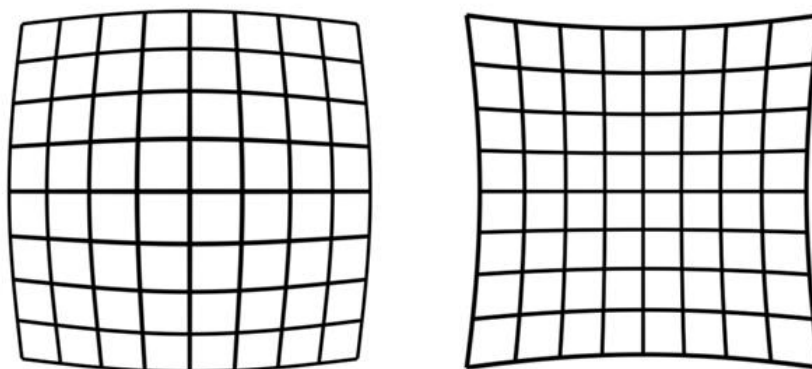


Sumber: Goldman & Chen (Univ. of Washington)

Gambar II-22. Contoh perbandingan koreksi vignette pada ortomosaik. Tanpa koreksi (atas), terkoreksi terbaik (paling bawah).

c). Koreksi distorsi barel akibat lensa (*barrel lens distortion*)

Lensa cembung pada kamera memberikan efek penggelembungan citra yang disebut dengan *barrel distortion*. Besarnya nilai distorsi lensa bergantung pada jarak fokus lensa serta ketinggian atau jarak kamera terhadap objek. Lawan dari *barrel distortion* adalah *pincushion distortion*. Efek *barrel distortion* dan *pincushion distortion* pada citra ditunjukkan seperti pada Gambar II-23.

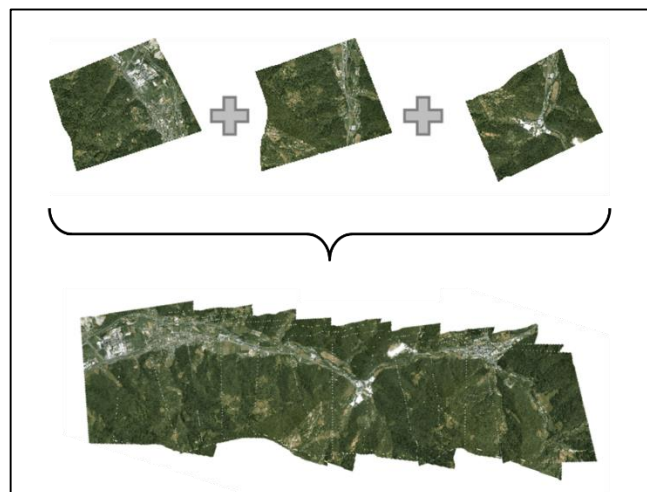


Gambar II-23. Efek *barrel distortion* (kiri) dan efek *pincushion distortion* (kanan).

Efek *barrel distortion* dapat diatasi dengan memberikan efek lawannya pada citra, yaitu efek *pincushion distortion*. Pada pemrograman python koreksi ini dapat dilakukan dengan bantuan *library* bernama “Barrel-And-Pincushion-Distortion-Fix”.

d). Jahitan citra (*image stitching*)

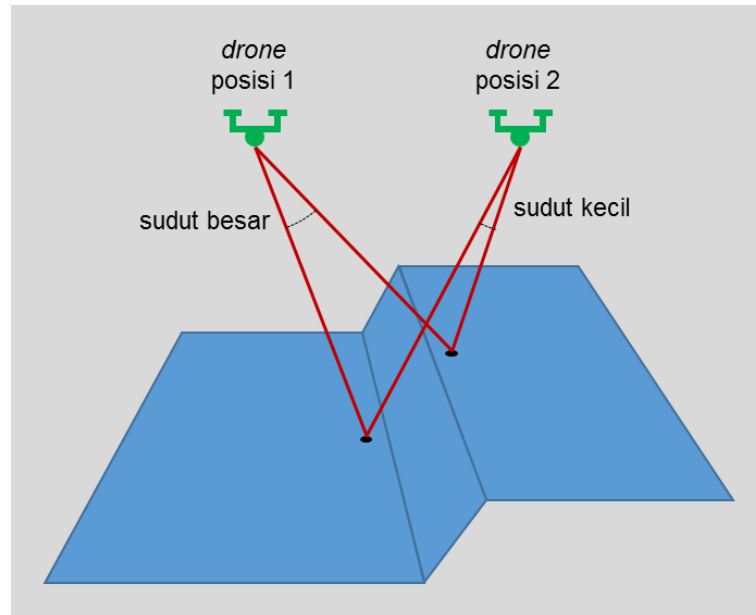
Jahitan citra adalah proses penggabungan beberapa citra dari sudut pandang berbeda menjadi satu buah citra berukuran besar. Selain menghasilkan citra besar yang disebut *orthomosaic*, proses ini juga dapat mendeteksi perbedaan ketinggian objek terhadap objek lainnya di dalam citra sehingga dapat menghasilkan DEM (*digital elevation model*). Pada perekaman citra multispektral ini, jahitan citra akan dapat mendeteksi adanya pohon, bangunan, tebing serta rendahan seperti sungai atau lembah. Algoritma matematis yang biasa digunakan pada proses ini adalah *pattern matching*. Proses penjahitan citra diilustrasikan pada Gambar II-24.



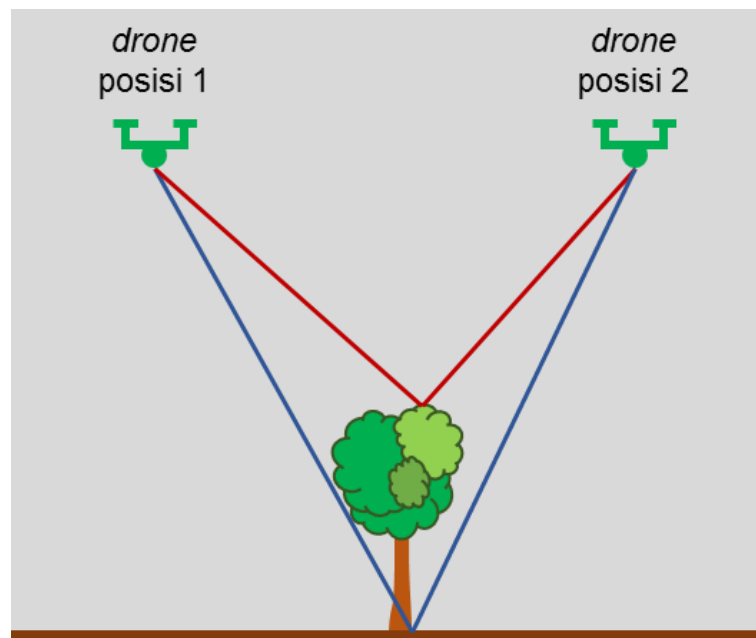
Gambar II-24. Ilustrasi jahitan citra (*images stitching*).

Proses *pattern matching* mendeteksi ketinggian objek berdasarkan sudut dari posisi objek yang terbentuk dalam proyeksi citra dari dua buah citra atau lebih. Gambar II-25 menjelaskan tentang identifikasi perbedaan ketinggian berdasarkan sudut, sedangkan Gambar II-26 menjelaskan tentang identifikasi pohon berdasarkan posisi titik pengamatan, di mana posisi *drone* 1 mendeteksi posisi pangkal pohon terproyeksikan lebih ke kiri

dibandingkan titik ujung pohon dan posisi *drone* 2 mendeteksi pangkal pohon terproyeksikan lebih ke kanan dibandingkan titik ujung pohon.



Gambar II-25. Identifikasi perbedaan ketinggian pada *image stitching*.

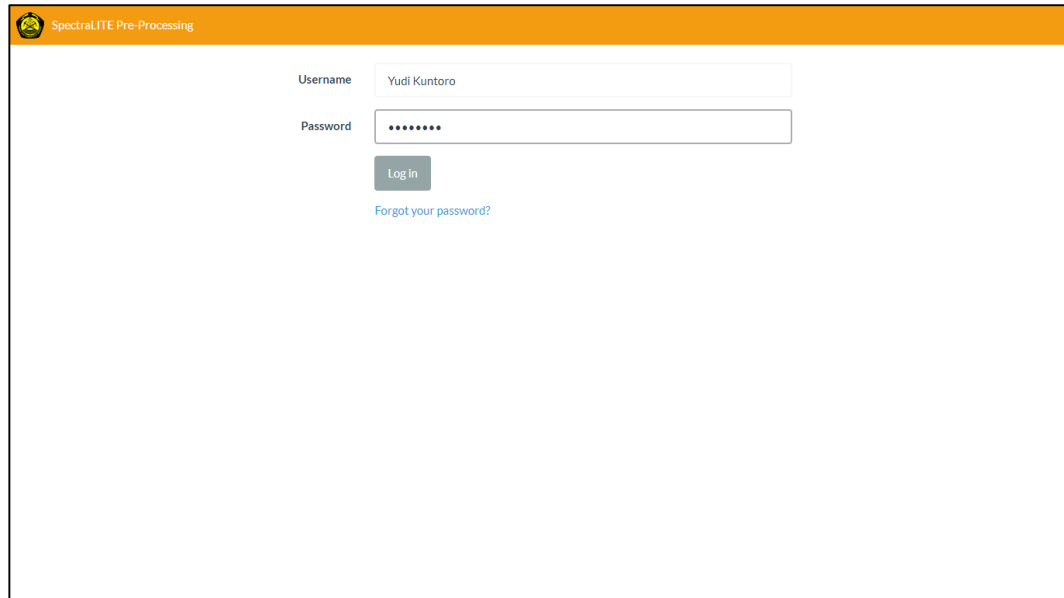


Gambar II-26. Identifikasi pohon pada *pattern matching*.

e). Hasil Rancangan

Aplikasi SpectraLITE Prep telah dibuat menggunakan bahasa pemrograman utama Python dengan mengembangkan *library* utama

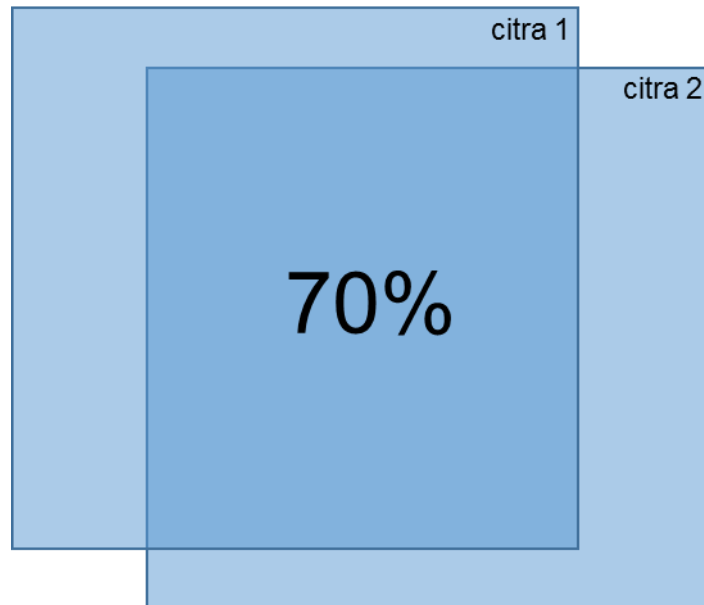
WebODM. SpectraLITE Prep dilengkapi dengan *basemap* dari Google Map dan ESRI sebagai georeferensi. Tampilan awal dari aplikasi ini adalah menu *login* pengguna, sebagaimana ditampilkan pada Gambar II-27.



The image shows a web browser window displaying the login page for SpectraLITE Pre-Processing. The page has a white background with an orange header bar at the top. In the header, there is a small circular logo on the left and the text 'SpectraLITE Pre-Processing' to its right. The main content area contains a login form with two input fields: 'Username' containing the text 'Yudi Kuntoro' and 'Password' containing seven dots. Below the password field is a grey 'Log In' button. Underneath the button is a blue link that says 'Forgot your password?'. The entire page is enclosed in a thin black border.

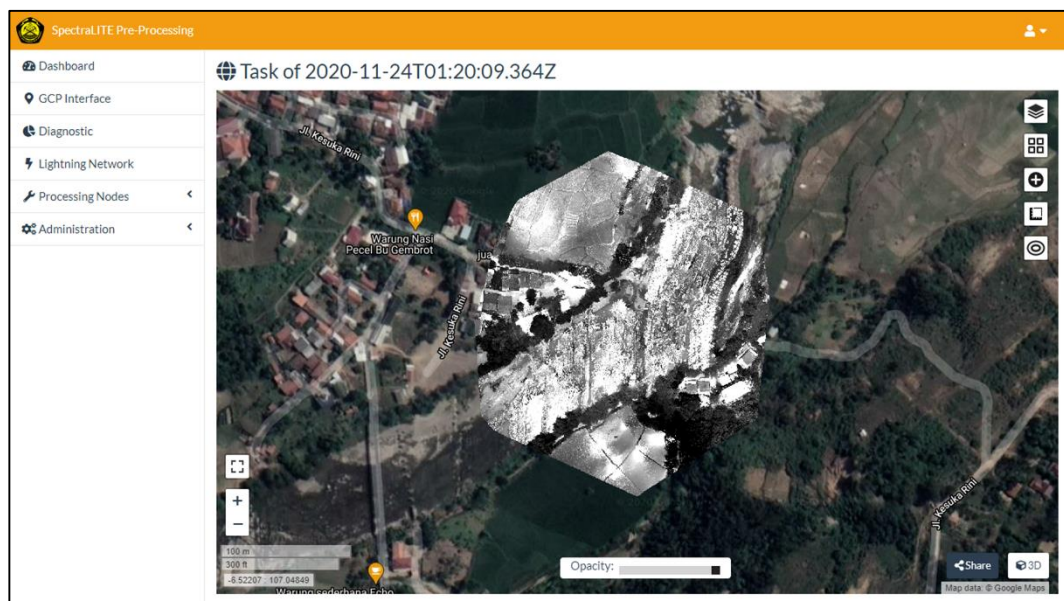
Gambar II-27. Tampilan awal aplikasi SpectraLITE Prep (login pengguna).

SpectraLITE Prep memerlukan data citra input dengan *overlap* sekurang-kurangnya 70% agar proses *pattern matching* dapat bekerja dengan baik. Semakin besar nilai *overlap* akan semakin baik dan mempercepat proses *pattern matching* namun jumlah citra yang diperlukan akan semakin banyak.

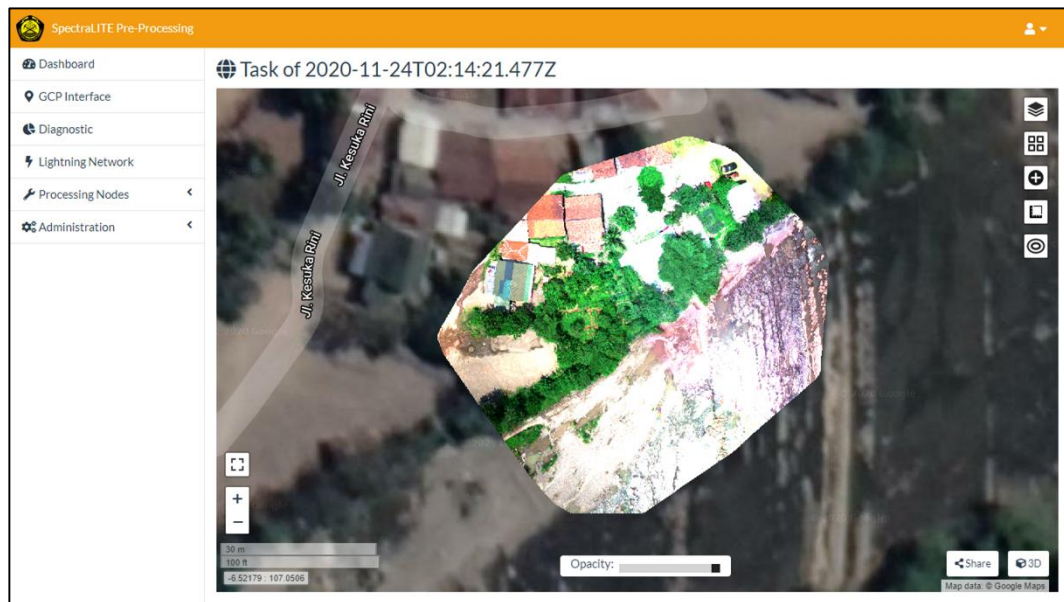


Gambar II-28. Overlap antar citra minimal 70%.

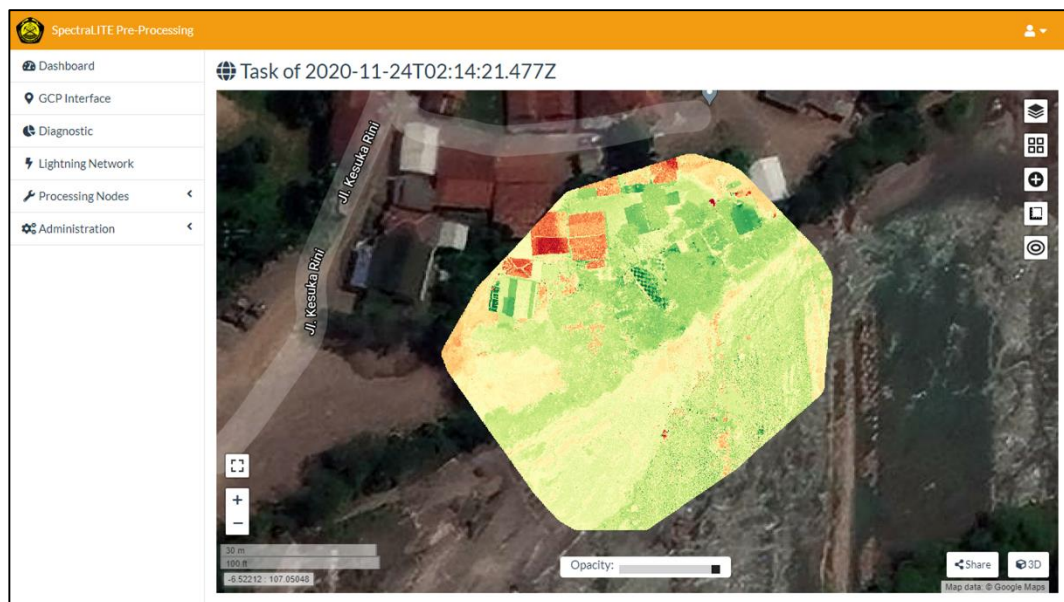
Contoh hasil pra-pengolahan dari 50 data citra hasil perekaman di lapangan (1-band) berupa ortomosaik ditampilkan pada Gambar II-29. Dari citra multispektral 3 band (*blue, green, red*) dapat dihasilkan ortomosaik *truecolor* seperti pada Gambar II-30. Tambahan *band-4* dan *band-5* dapat menghasilkan citra olahan lainnya seperti NDVI (Gambar II-31).



Gambar II-29. Contoh hasil pra-pengolahan data citra multispektral.

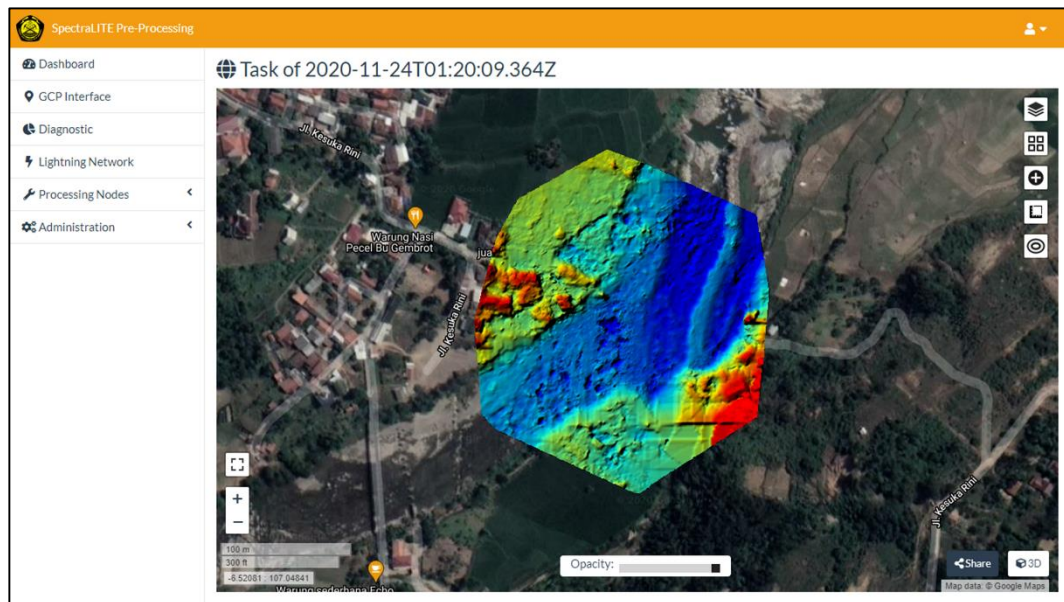


Gambar II-30. Ortomosaik *truecolor* yang dibangkitkan dari citra multispektral.



Gambar II-31. Peta olahan (NDVI) pada aplikasi SpectraLITE Prep.

Contoh peta elevasi (DEM) hasil keluaran dari aplikasi SpectraLITE Prep ditunjukkan pada Gambar II-32. DEM pada aplikasi ini murni dibangkitkan dari citra hasil perekaman multispektral, bukan dibangkitkan dari *basemap* eksternal.



Gambar II-32. Peta DEM pada aplikasi SprectraLITE Prep.

2). Aplikasi pengolah dan interpreter data (SpectralLITE)

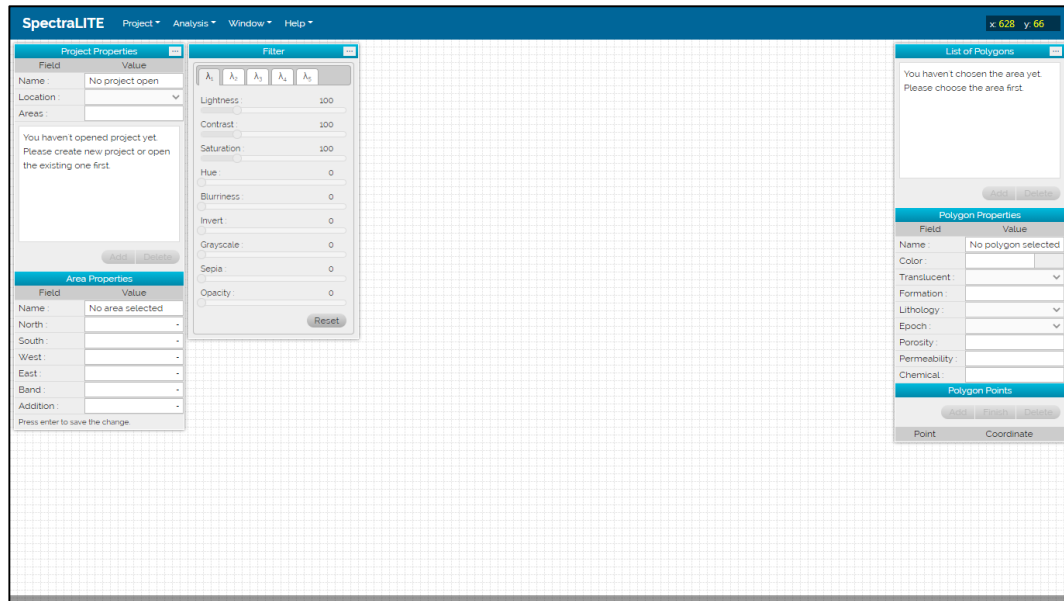
Aplikasi SpectralLITE (**S**pectral **L**itbang **E**SDM) ini mempunyai fitur-fitur sebagai berikut:

- Filter citra spektral, yang terdiri dari kecerahan (*lightness*), kontras (*contrast*), saturasi (*saturation*), pewarnaan (*hue*), pengaburan (*blurriness*), inversi (*invert*), skala abu-abu (*grayscale*), transparansi (*opacity*).
- Interpretasi otomatis, di mana interpretasi didasarkan pada persamaan matematis dengan variabel 5 *band* citra hasil perekaman.
- Interpretasi manual, yang memungkinkan interpretasi berdasarkan pertimbangan geologi dan data pendukung lain.
- Petunjuk penggunaan perangkat lunak (*user manual* dan SOP).

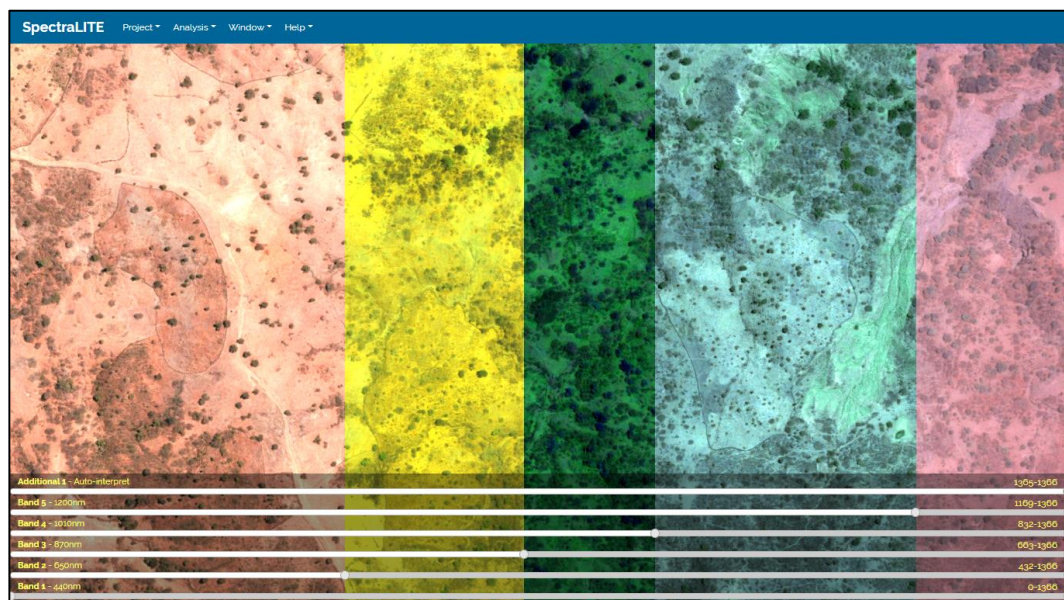
Perancangan perangkat lunak pengolah dan interpreter data citra multispektral ke dalam informasi geologi telah mencapai pengerjaan 95%, dengan pembobotan sebagai berikut:

Fitur yang belum diselesaikan adalah interpretasi otomatis karena matriks spektrum batuan referensi baru akan tersedia pada basis data setelah proses perekaman di laboratorium. Tampilan antarmuka perangkat lunak yang dirancang ditampilkan pada Gambar II-33 hingga Gambar II-38.

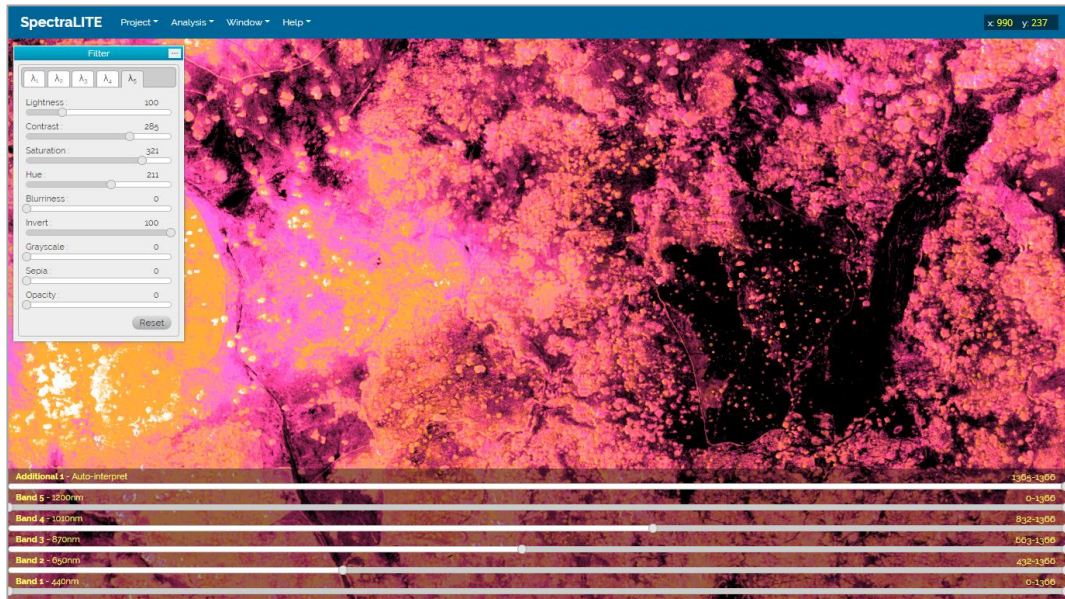
Pada hasil interpretasi otomatis (Gambar II-36), warna menunjukkan distribusi litologi. Setelah data spektrum referensi tersedia maka akan muncul informasi yang menunjukkan jenis litologi untuk masing-masing warna.



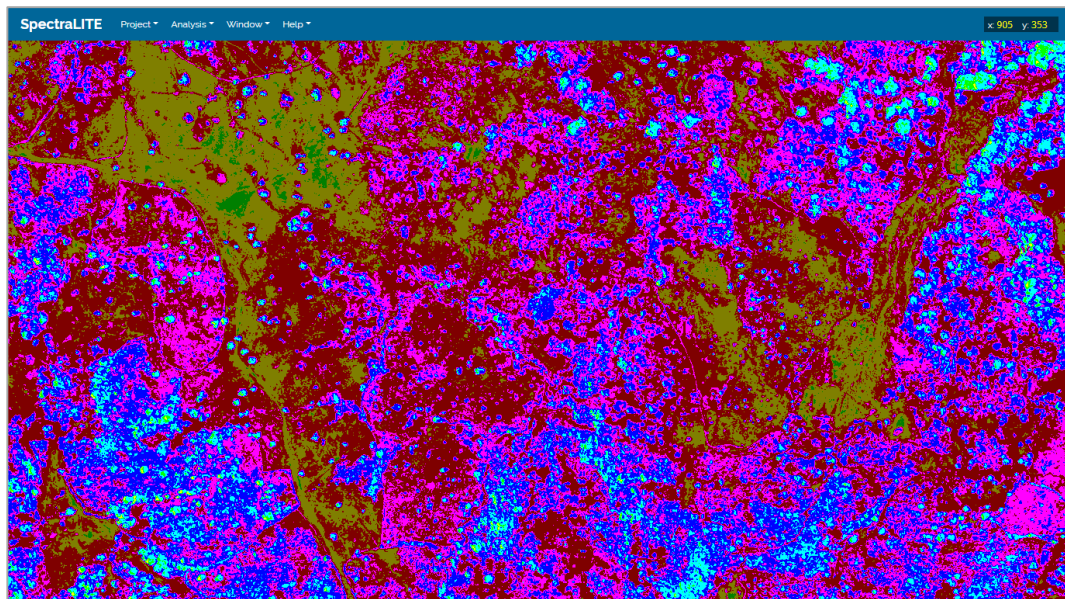
Gambar II-33. Tampilan antarmuka awal perangkat lunak pengolah data citra multispektral.



Gambar II-34. Tampilan perangkat lunak dengan 5 band multispektral yang saling overlay.

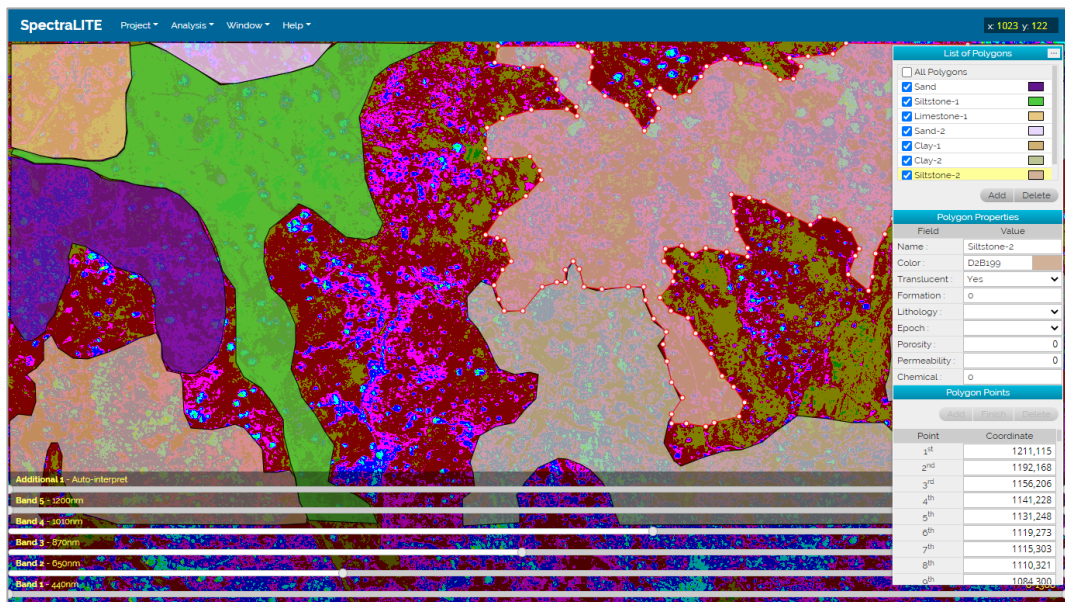


Gambar II-35. Menu filter pada salah satu citra multispektral.

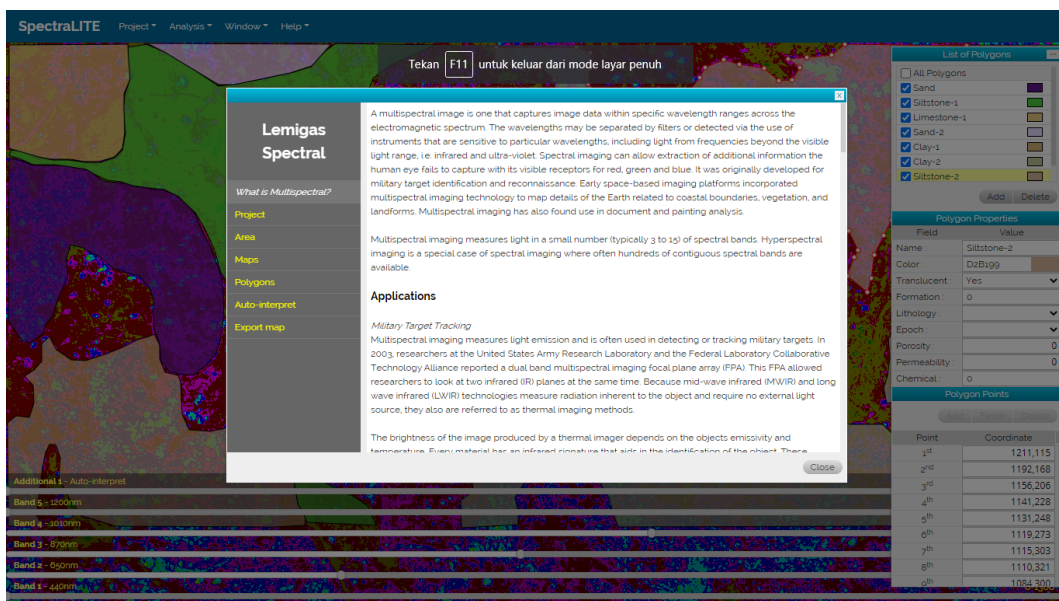


Gambar II-36. Tampilan hasil interpretasi otomatis.

Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan



Gambar II-37. Tampilan contoh hasil interpretasi manual dengan 7 buah poligon.

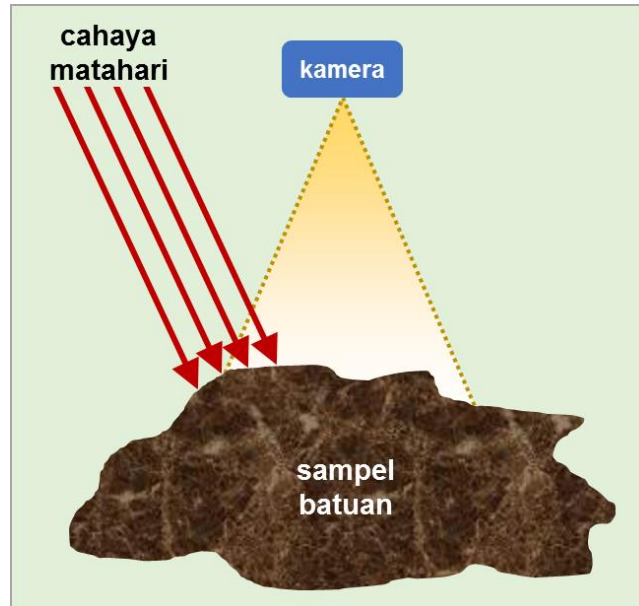


Gambar II-38. Tampilan menu *help* (user manual dan SOP).

2. Perekaman Spektrum Batuan Referensi

Kegiatan perekaman data citra multispektral batuan referensi telah dilakukan pada tanggal 2 hingga 6 November 2020 di Laboratorium Geofisika menggunakan sampel batuan dari *core storage* yang berasal dari tiga lapangan. Kegiatan ini dilakukan dengan mengambil citra spektrum dari tiap-tiap jenis batuan menggunakan kamera multispektral pada tempat yang tersinari cahaya matahari karena cahaya matahari adalah sumber

gelombang elektromagnetik dengan cakupan panjang gelombang paling lengkap. Skema perekaman spektrum diilustrasikan pada Gambar II-39.



Gambar II-39. Skema perekaman spektrum batuan referensi.

a. Sampel

Sampel batuan telah disiapkan untuk proses perekaman spektrum. Sampel batuan yang digunakan meliputi batuan sedimen dan batuan beku yang berasal dari tiga lapangan berbeda, yaitu :

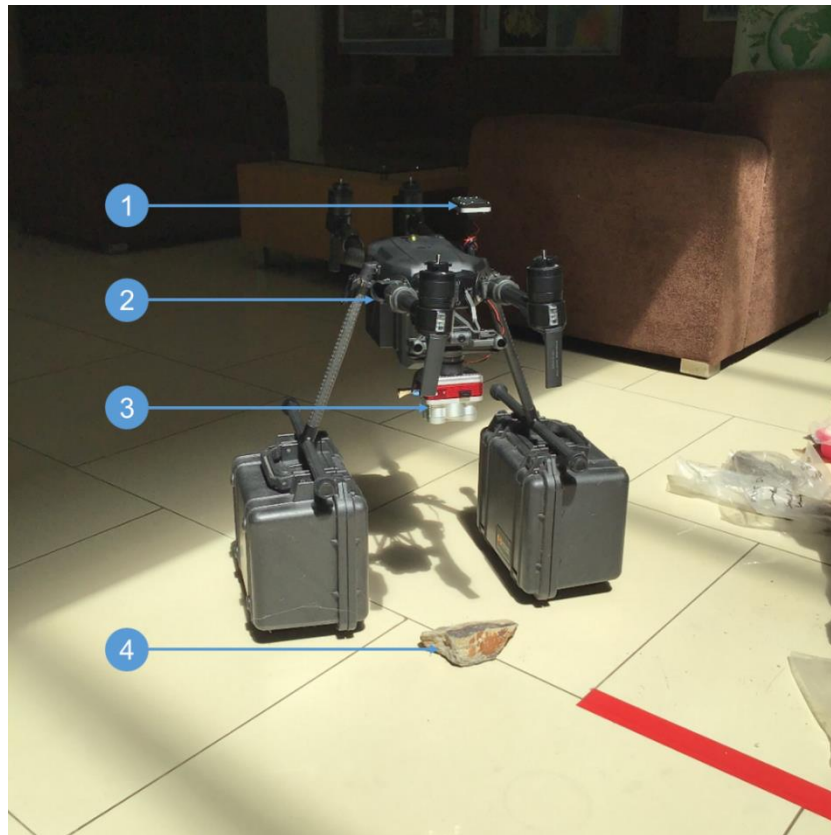
- Lapangan Jambi (Sumatera)
- Lapangan Atambua (NTT)
- Lapangan Mamberamo (Papua)



Gambar II-40. Pemilihan dan penyiapan sampel batuan oleh tim Geologi.

b. Pengambilan citra

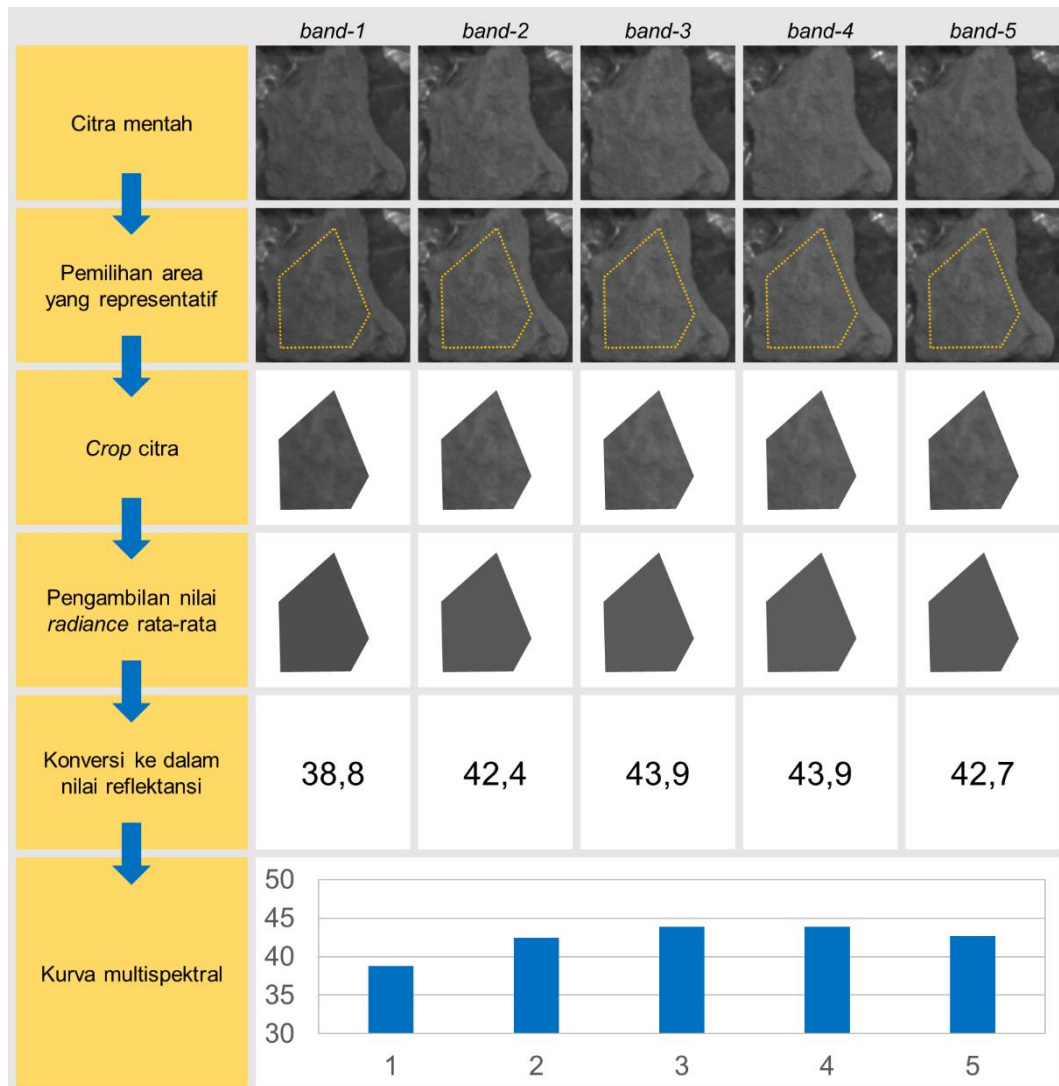
Perekaman spektrum batuan referensi dilakukan dengan jarak antara kamera multispektral dengan sampel batuan sekitar 40 cm dengan skema seperti tampak pada Gambar II-41 dengan keterangan nomor 1 adalah sensor cahaya, nomor 2 baterai *drone* yang mencatu daya untuk kamera, nomor 3 kamera multispektral Altum dan nomor 4 sampel batuan yang direkam.



Gambar II-41. Perekaman spektrum batuan referensi.

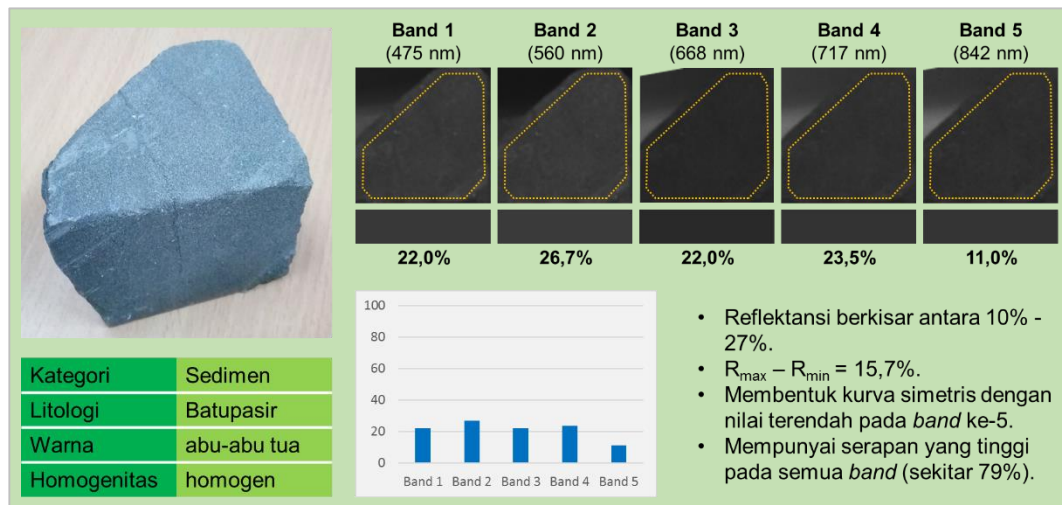
c. Hasil perekaman spektrum

Metode pembentukan spektrum dari batuan ditunjukkan pada Gambar II-42. Proses dimulai dengan pemilihan area yang representatif bahwa pada area tersebut hanya ada satu objek yaitu sampel batuan. Pemilihan area dilanjutkan dengan meng-*crop* area yang tidak mewakili sampel. Langkah berikutnya adalah merata-ratakan nilai *radiance* dari seluruh piksel yang ada di dalam area yang telah dipilih. Nilai *radiance* kemudian dikonversi menjadi nilai reflektansi. Langkah terakhir, nilai reflektansi dari tiap-tiap *band* diplotkan menjadi grafik untuk memperoleh bentuk kurva dari spektrum.

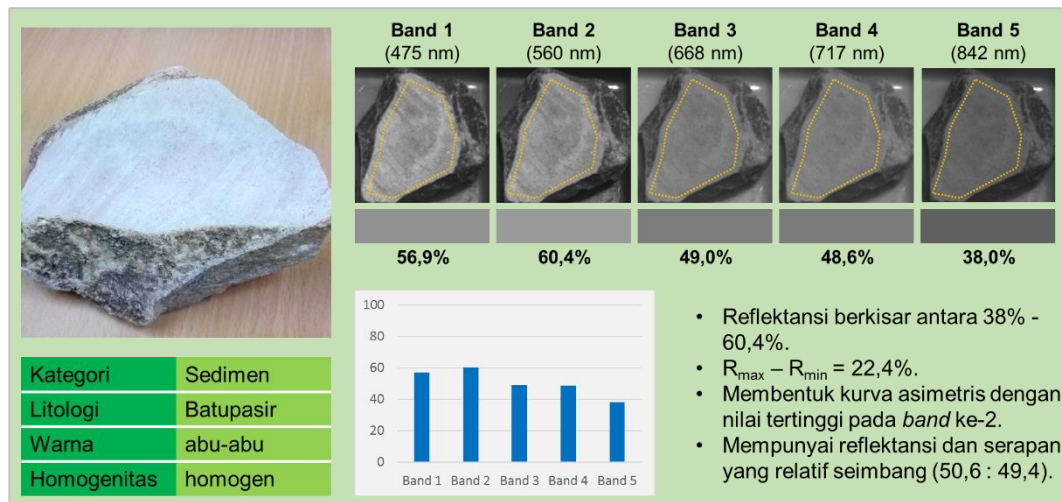


Gambar II-42. Metode pembentukan kurva dari citra multispektral.

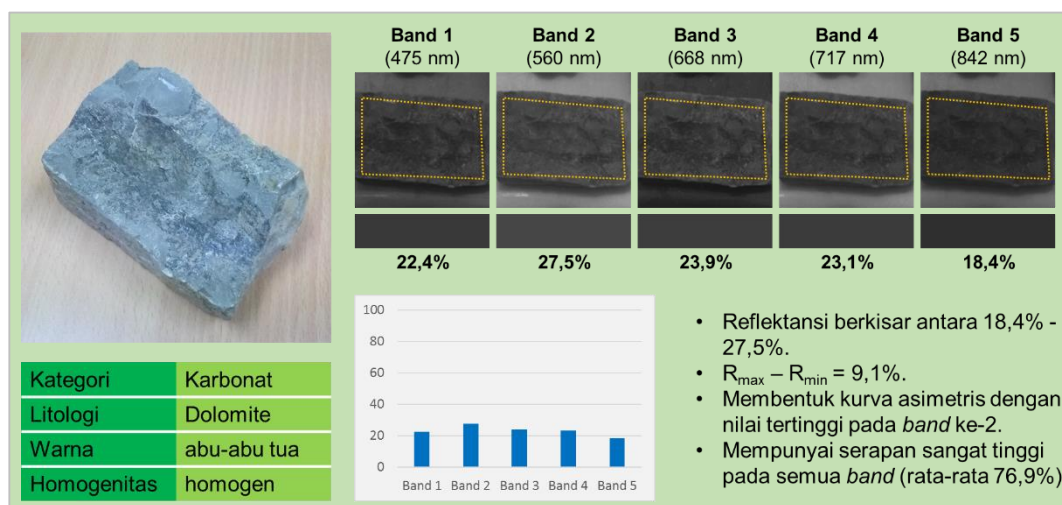
Proses pembentukan kurva lengkap untuk tiga sampel batuan (batupasir, batugamping dan dolomite) ditunjukkan pada Gambar II-43 hingga Gambar II-45. Sampel batupasir dan batugamping telah dihaluskan dengan gerinda sehingga mempunyai permukaan yang rata. Penghalusan permukaan dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh permukaan yang terekam tidak tertutupi material lain. Sampel dolomite merupakan bongkahan bersih sehingga tidak perlu dilakukan penghalusan.



Gambar II-43. Hasil perekaman spektrum sampel batupasir.



Gambar II-44. Hasil perekaman spektrum sampel batugamping.



Gambar II-45. Hasil perekaman spektrum sampel dolomite.

Spektrum batuan referensi lainnya berjumlah 37 sampel yang terdiri dari:

- 13 sampel batupasir (Gambar II-46 hingga Gambar II-58).
- 6 sampel batulempung (Gambar II-59 hingga Gambar II-64).
- 4 sampel batugamping (Gambar II-65 hingga Gambar II-68).
- 4 sampel batuserpih (Gambar II-69 hingga Gambar II-72).
- 1 sampel batu napal (Gambar II-73).
- 2 sampel batubara (Gambar II-74 dan Gambar II-75).
- 7 sampel batuan beku (Gambar II-76 hingga Gambar II-81).
- 1 sampel batuan vulkanoklastik/tuff (Gambar II-82)



Gambar II-46. Spektrum batupasir lanau (15DV - 24A) Mamberamo.



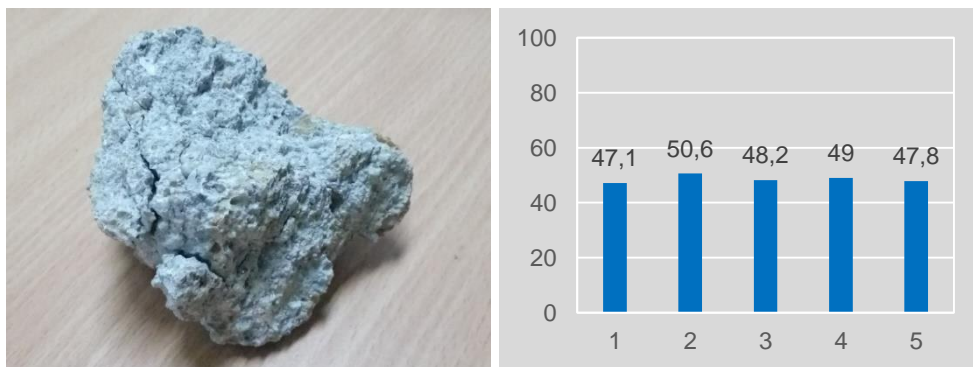
Gambar II-47. Spektrum batupasir formasi Talangakar (LKS-1) Jambi.



Gambar II-48. Spektrum batupasir halus (AGJ 03/1C) Mamberamo.



Gambar II-49. Spektrum batupasir (OC 137) Atambua.



Gambar II-50. Spektrum batupasir konglomeratik (CSS1) Jambi.



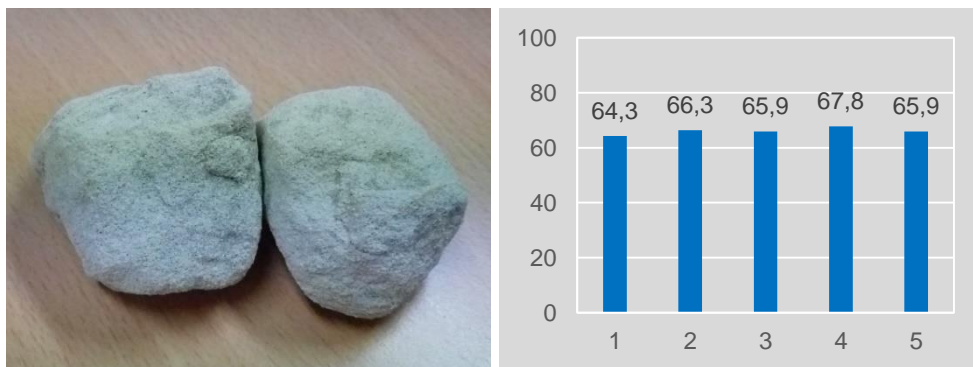
Gambar II-51. Spektrum batupasir (SM 6.3) Atambua.



Gambar II-52. Spektrum batupasir (OC139 MAF) Atambua.



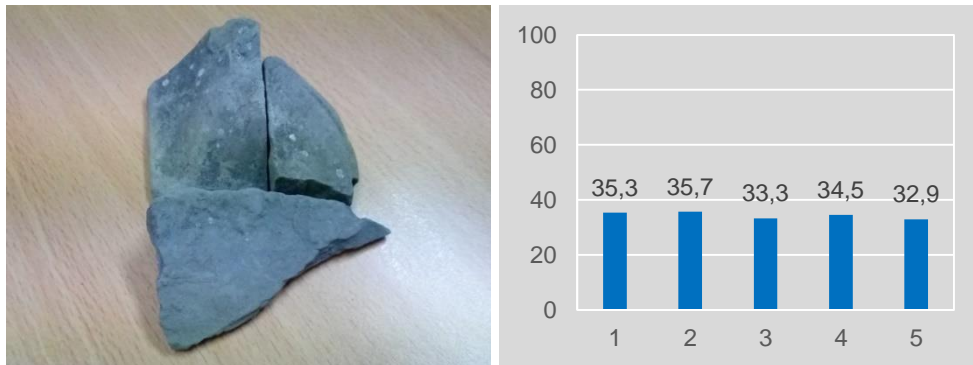
Gambar II-53. Spektrum batupasir sangat halus (AGJ 03/3) Mamberamo.



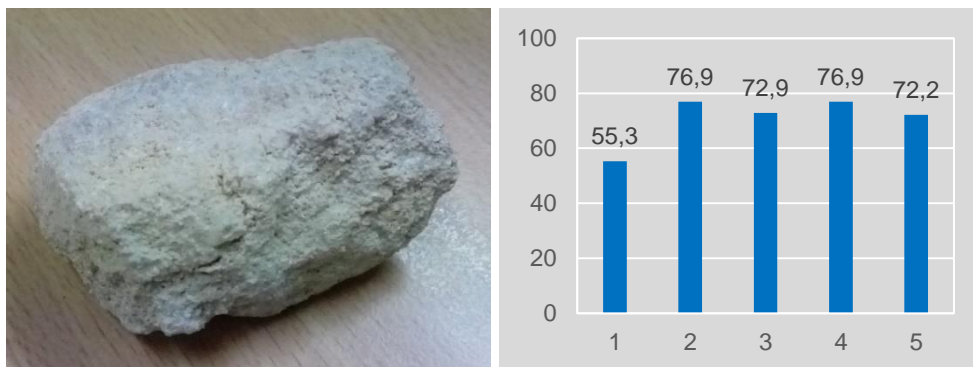
Gambar II-54. Spektrum batupasir (OC5 GP99) Atambua.



Gambar II-55. Spektrum batupasir (SM FC12) Atambua.



Gambar II-56. Spektrum batupasir sangat halus (AGJ 02/3) Mamberamo.



Gambar II-57. Spektrum batupasir (GP375) Atambua.



Gambar II-58. Spektrum batupasir laminasi serpih (UNT32) Jambi.



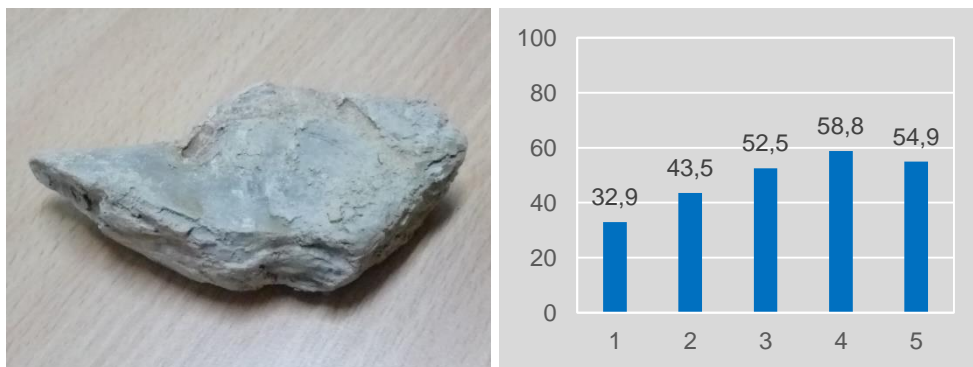
Gambar II-59. Spektrum batulempung merah (15DV - 25E) Mamberamo.



Gambar II-60. Spektrum batulempung (UNT28) Jambi.



Gambar II-61. Spektrum batulempung pasiran (PBH11) Jambi.



Gambar II-62. Spektrum batulempung (PBH 018) Jambi Utara.



Gambar II-63. Spektrum batulempung formasi Gumai (ST 1-01) Jambi.



Gambar II-64. Spektrum batulempung kalsilutit (SM3-12) Atambua.



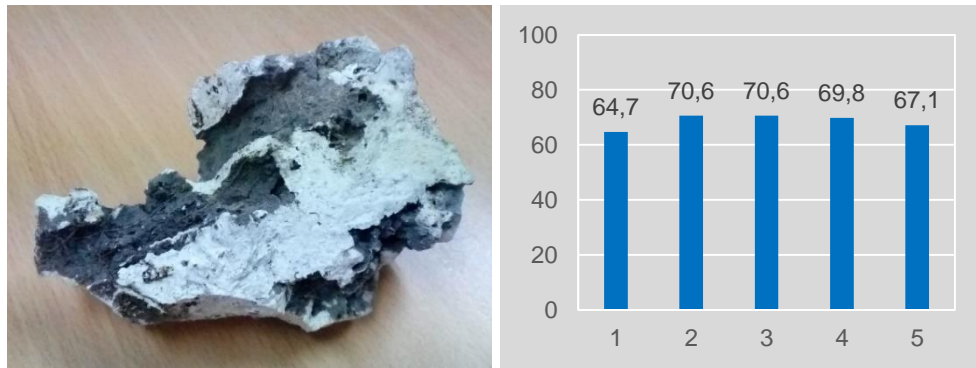
Gambar II-65. Spektrum batugamping (OC22) Atambua.



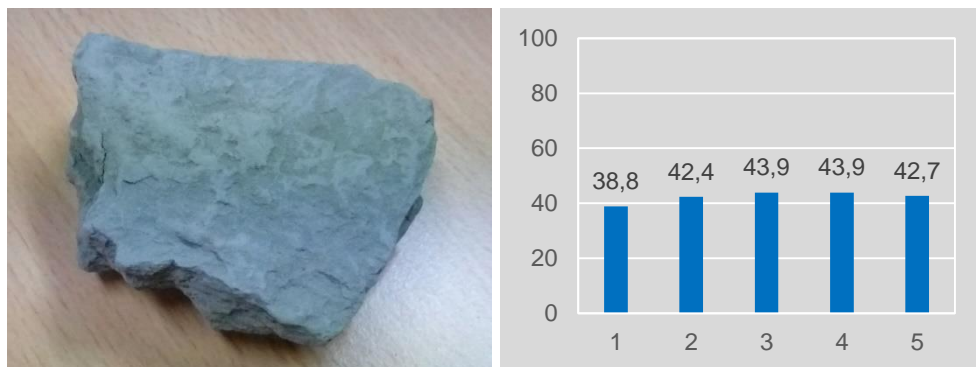
Gambar II-66. Spektrum batugamping (OC2 GP68) Atambua.



Gambar II-67. Spektrum batugamping (OC6) Atambua.



Gambar II-68. Spektrum batugamping (OC9) Atambua.



Gambar II-69. Spektrum batuserpih (15DV - 25G) Mamberamo.



Gambar II-70. Spektrum batuserpih (SM FC2) Atambua.



Gambar II-71. Spektrum batuserpih hitam (15DV 21A) Mamberamo.



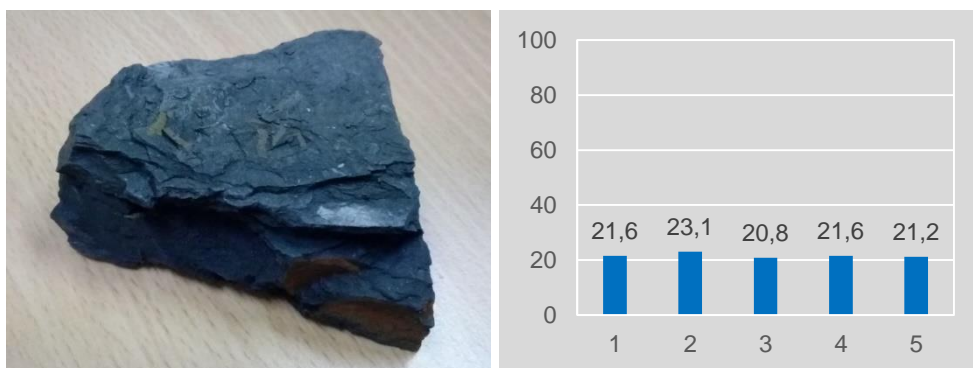
Gambar II-72. Spektrum batuserpih formasi Gumai (PBH22) Jambi Utara.



Gambar II-73. Spektrum napal (OC3 GP83) Atambua.



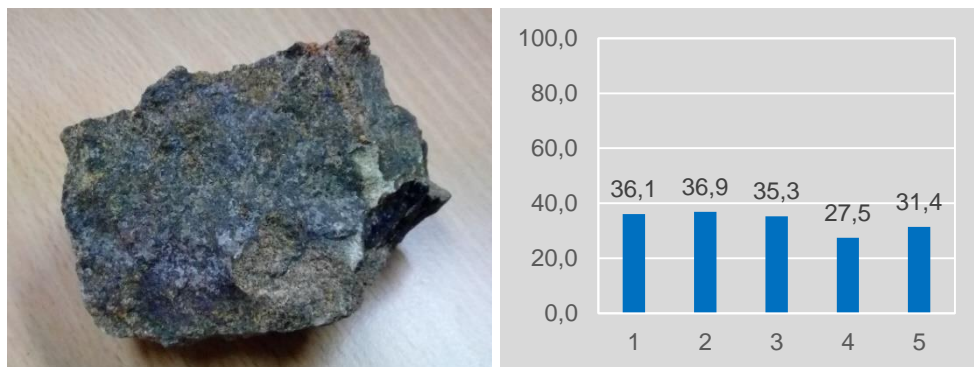
Gambar II-74. Spektrum batubara (AGJ 06/1) Mamberamo.



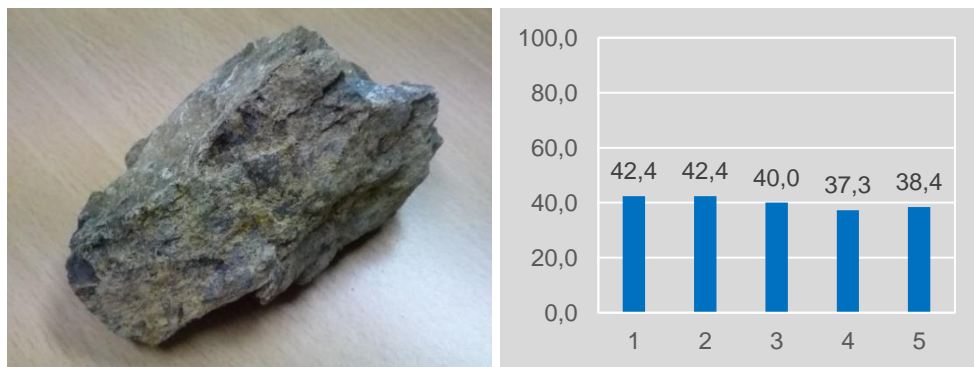
Gambar II-75. Spektrum batubara (15DV 25C) Mamberamo.



Gambar II-76. Spektrum lava (SMU5) Atambua.



Gambar II-77. Spektrum lava (OC07) Atambua.



Gambar II-78. Spektrum lava (OC15/KFT) Atambua.



Gambar II-79. Spektrum lava basalt (OC102 BMT) Atambua.



Gambar II-80. Spektrum batu ultrabasa (SMU2) Atambua.



Gambar II-81. Spektrum batu ultrabasa (OC20 KFT) Atambua.

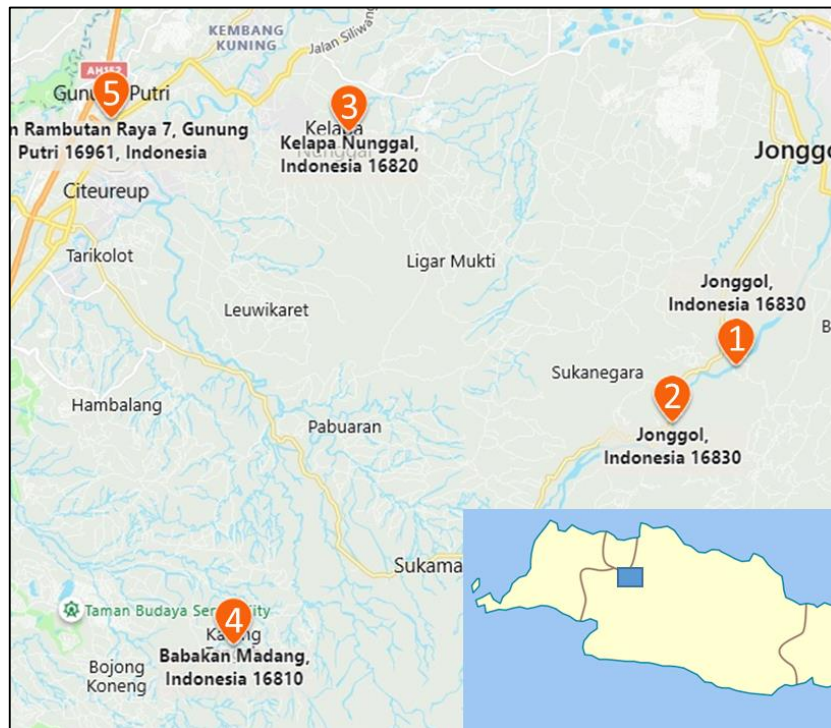


Gambar II-82. Spektrum batu tuff (GP122 OC10B) Atambua.

3. Uji Lapangan

Kegiatan uji lapangan telah dilakukan selama lima hari pada tanggal 9 hingga 13 November 2020 di daerah Kabupaten Bogor. Kegiatan ini melibatkan tim Geologi, tim Geofisika, tim penginderaan jauh serta narasumber dari Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Eksplorasi dan Produksi, Universitas Pertamina. Kegiatan dilakukan pada 5 area seperti yang terlihat pada Gambar II-83, yaitu meliputi:

- Lokasi 1: Sungai Cipamingkis hilir 1, Desa Sukanegara
- Lokasi 2: Sungai Cipamingkis hilir 2, Desa Sukanegara
- Lokasi 3: Area Gunung Kapur, Desa Klapa Nunggal
- Lokasi 4: Sungai Cipamingkis hulu, Desa Karang Tengah
- Lokasi 5: Desa Gunung Putri



Gambar II-83. 5 lokasi perekaman data citra spektrum di lapangan.

a. Lokasi 1 (Sungai Cipamingkis hilir 1)

Singkapan berada di sepanjang Sungai Cipamingkis, Desa Sukanegara. Lokasi ini didominasi oleh batuan karbonat dengan sisipan batulempung segar dan juga tersingkap batupasir di beberapa titik. Singkapan ini memperlihatkan bidang-bidang perlapisan yang dapat terobservasi dengan jelas. Secara umum lapisan batuan menerus, namun ada beberapa lapisan yang menghilang secara lateral karena penipisan lapisan batuan dan pada bagian paling tebal menunjukkan *u-shape geometry*.

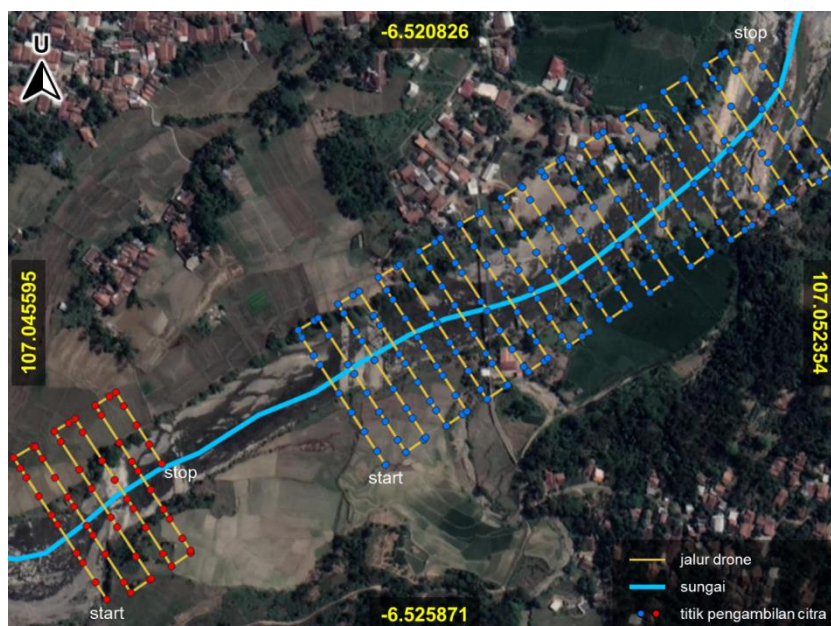
Batuan diendapkan pada lingkungan pengendapan laut dangkal, dicirikan dengan adanya litologi batugamping *bindstone* yang terdiri atas

fosil-fosil alga merah berlapis, dan *large benthic foraminifera*. Selain itu juga terdapat batupasir dengan *bedform* jelas struktur sedimen *dunes*. Gambaran kondisi lapangan tersaji pada Gambar II-84.

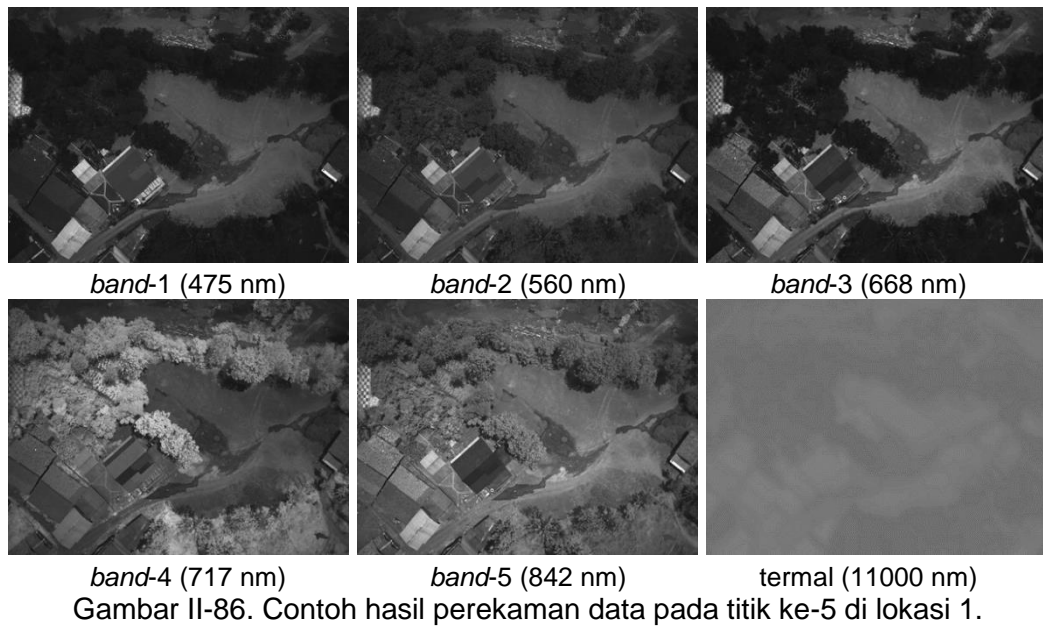


Gambar II-84. Batuan karbonat di lokasi 1, Sungai Cipamingkis hilir.

Pengambilan citra multispektral dilakukan dengan metode penerbangan misi sebanyak 294 titik yang terbagi dalam dua misi seperti terlihat pada Gambar II-85. Misi pertama (titik merah) berisi 57 titik, sedangkan misi kedua (titik biru) sebanyak 228 titik. Gambar II-86 menunjukkan contoh hasil rekaman spektrum pada titik ke-131 dari misi kedua.



Gambar II-85. Peta penerbangan misi 1 dan 2 pada lokasi 1.



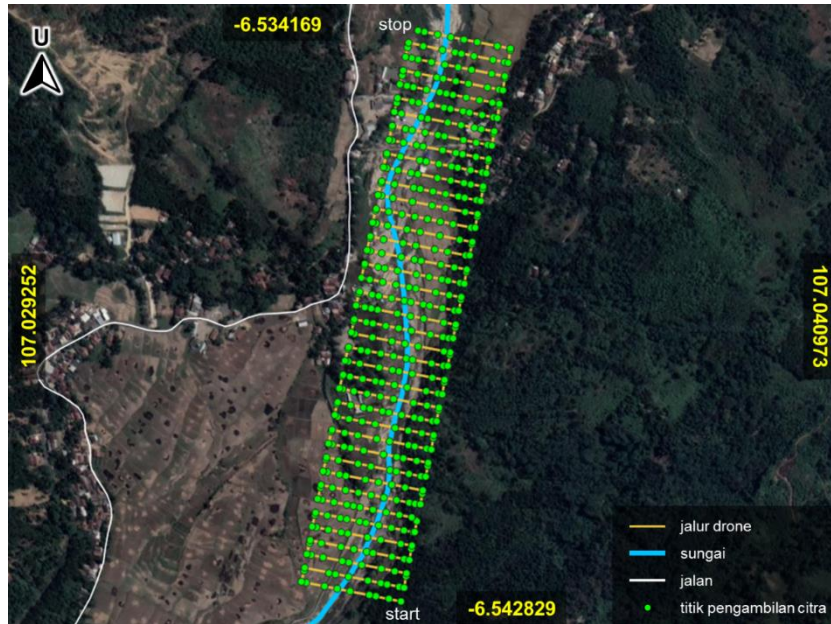
b. Lokasi 2 (Sungai Cipamingkis hilir 2)

Lokasi ini berjarak sekitar 1 km dari lokasi pertama ke arah hulu. Litologi dominan berupa batulanau gampingan dengan sisipan batupasir. Batuan pada singkapan ini didapatkan pada lingkungan pengendapan laut dalam, dicirikan dengan terdapatnya *hummocky cross stratification* dan *slump* deposit. Gambaran lokasi dan proses pengambilan data tersaji pada Gambar II-87.

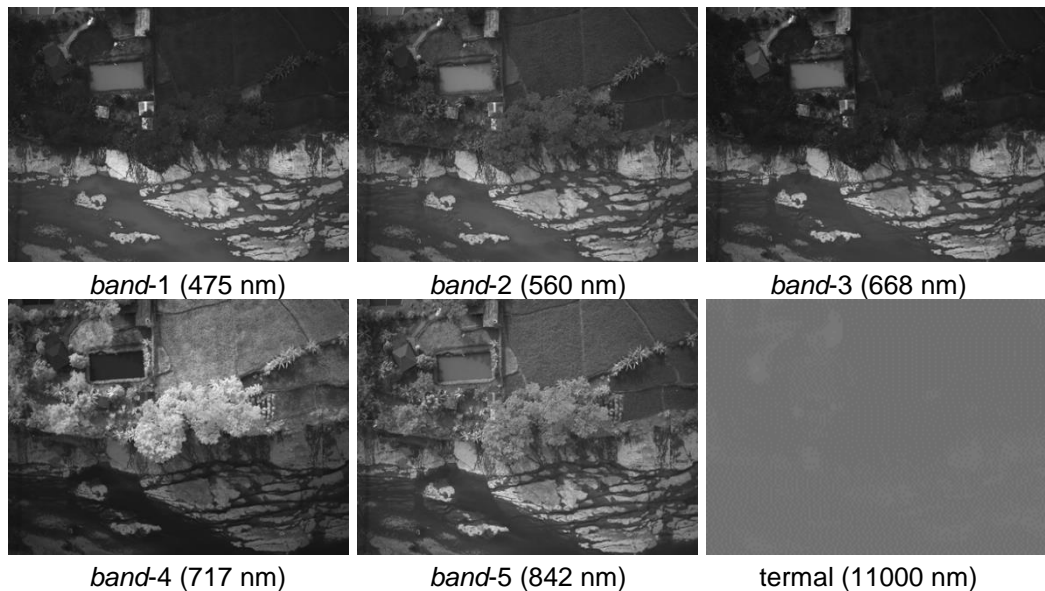


Pengambilan citra multispektral dilakukan dalam satu misi dengan jumlah titik sebanyak 425 seperti yang ditunjukkan dengan titik warna hijau

pada Gambar II-88. Contoh hasil pengambilan citra pada titik ke-3 ditunjukkan pada Gambar II-89.



Gambar II-88. Peta penerbangan misi di lokasi 2.



Gambar II-89. Contoh hasil perekaman data pada titik ke-3 di lokasi 2.

c. Lokasi 3 (Gunung Kapur Klapa Nunggal)

Singkapan berada di Desa Klapa Nunggal dan merupakan kawasan tambang batugamping aktif dan tidak diperkenankan untuk menerbangkan *drone*, sehingga pengambilan data dilakukan dengan pengambilan citra

multispektral secara manual. Pada lokasi ini tersingkap batugamping segar yang memiliki fasies batugamping berkisar antara *back reef* hingga *slope carbonate*. Secara umum batugamping menunjukkan bentuk perlapisan yang jelas dan di beberapa tempat menunjukkan fitur *erosional* dan *u-shaped body*. *Lithofacies* yang terdapat pada lokasi ini antara lain:

- *Reef Carbonate:*

Framestone, putih, keras, tidak ada porositas tampak, terdiri atas fosil coral utuh dengan ukuran 1 – 3 meter, *echinoid* utuh, dan foraminifera besar.

- *Carbonate Breccia:*

Carbonate breccia/grainstone, putih – krem, tidak ada porositas tampak, terdiri atas bongkah-bongkah batugamping dan pecahan-pecahan fosil *branching coral*. Pada bongkahan-bongkahan terdapat fosil *head coral*, dan *bentic* foraminifera yang menunjukkan lingkungan pengendapan *reef*.

- *Back Reef Facies:*

Wackestone, berwarna abu-abu, terdiri atas matrix berwarna abu-abu dan butir berwarna putih, matrix supported, butir terdiri atas *large bentic* foraminifera, dan fosil *gastropod*. Di beberapa tempat terdapat bioturbasi yang sangat besar.

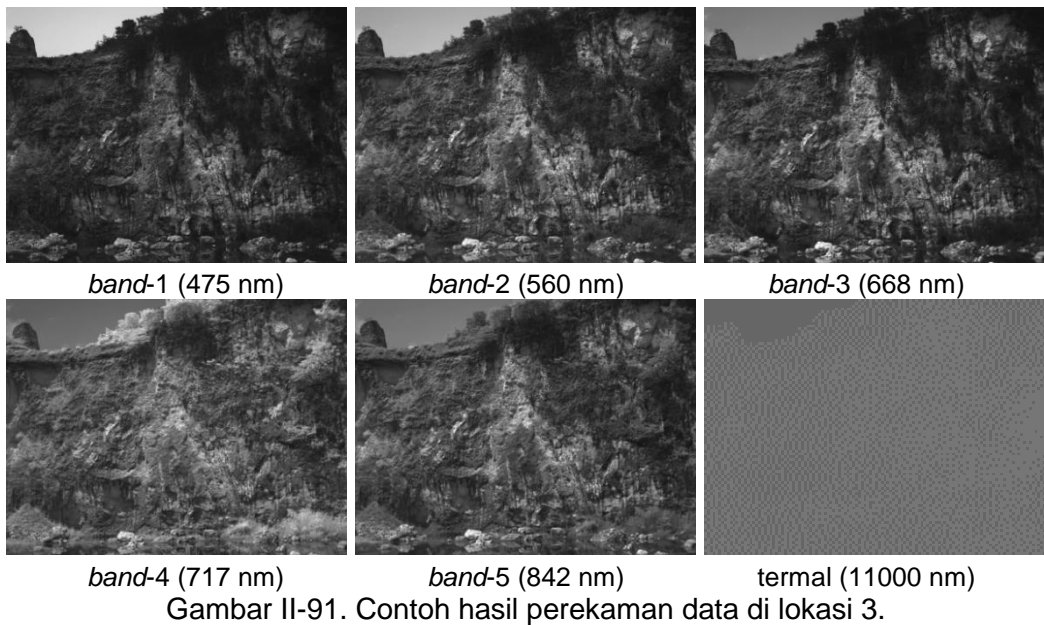
- *Chalky Limestone:*

Chalk, berwarna putih, masif dan sangat *porous*, tidak tampak fosil utuh. Butiran terdiri atas pecahan kecil (1 – 2 mm) cangkang hewan.

Mayoritas batuan pada lokasi ini tersingkap secara vertikal (tebing). Pengambilan data multispektral dilakukan dari arah horisontal sebagaimana terlihat pada Gambar II-91.



Gambar II-90. Batugamping di lokasi 3, Gunung Kapur Klapa Nunggal.



Gambar II-91. Contoh hasil perekaman data di lokasi 3.

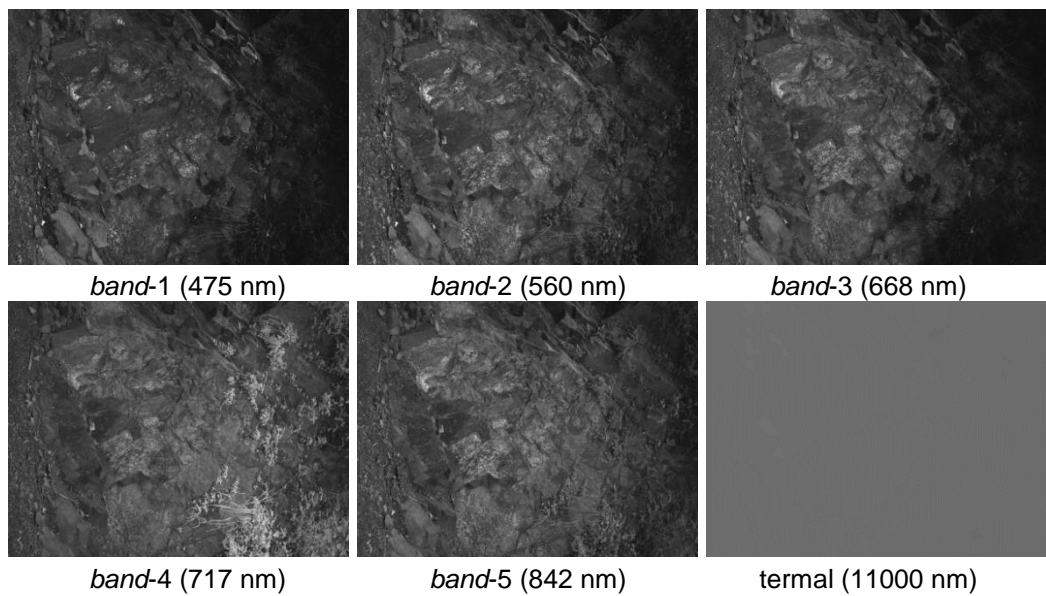
d. Lokasi 4 (Sungai Cipamingkis hulu)

Lokasi ini merupakan hulu dari Sungai Cipamingkis di Desa Karang Tengah. Di sini tersingkap batuan vulkanik intrusi dangkal kuartar segar. Di beberapa tempat didapati batuan tersebut sudah mengalami pelapukan. Terdapat struktur sekunder di singkapan ini diantaranya adalah *sheets joint*, *columnar joint*, *shear fracture*, dan *gash fracture*. Di bidang *shear fracture* terdapat struktur tangga yang menandakan adanya pergerakan sesar. Litologi di lokasi ini adalah *andesitoid*, abu-abu gelap, afanitik dengan beberapa mineral yang cukup berkembang dan memiliki bentuk membundar dengan mineral meliputi *glass material*, *mavic mineral* dan *plagioclase*.

Karena kebanyakan batuan tersingkap secara vertikal dan tertutup vegetasi, maka pengambilan data multispektral dilakukan dengan cara manual, tanpa menerbangkan *drone* seperti terlihat pada Gambar II-92 kanan. Contoh data hasil perekaman ditampilkan pada Gambar II-93.



Gambar II-92. Batuan vulkanik di lokasi 4, Karang Tengah.



Gambar II-93. Contoh hasil perekaman data di lokasi 4.

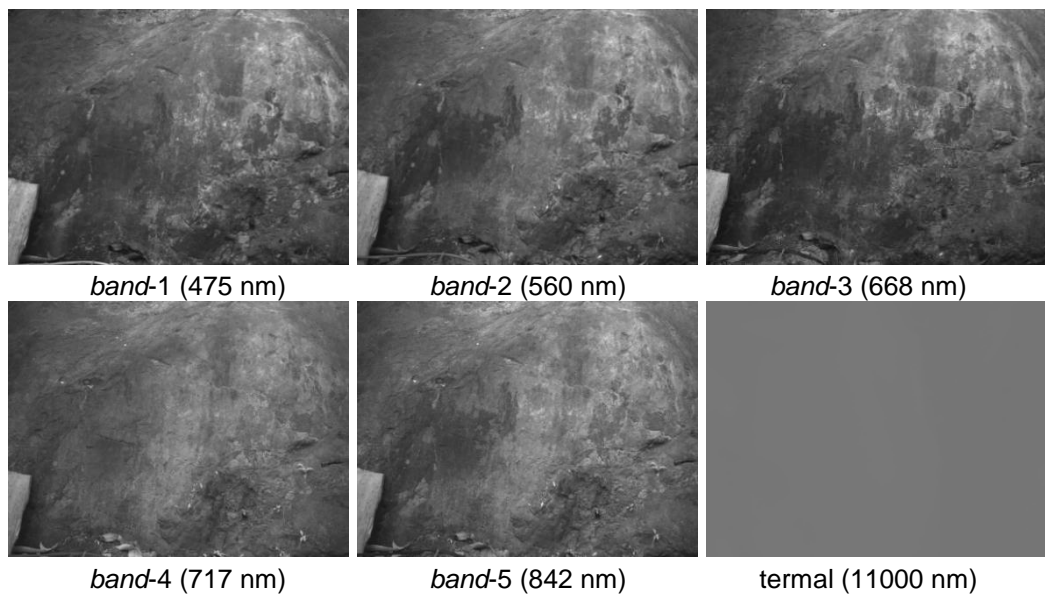
e. Lokasi 5 (Desa Gunung Putri)

Di lokasi ini tersingkap batuan intrusi dangkal segar. Tersingkap struktur sekunder berupa *sheeting joint*, dan *columnar joint*. Litologi di lokasi ini *andesitoid*, abu-abu gelap, afanitik dengan beberapa mineral yang cukup berkembang dan memiliki bentuk membulat dengan mineral meliputi *glass material*, *mavic mineral* dan *plagioclase*.

Lokasi 5 di Desa Gunung Putri juga didominasi oleh batuan beku vulkanik seperti pada lokasi 4. Sebagian besar tersingkap secara vertikal sebagaimana terlihat pada Gambar II-94. Contoh data hasil perekaman ditunjukkan pada Gambar II-95.



Gambar II-94. Batuan vulkanik di lokasi 5, Gunung Putri.



Gambar II-95. Contoh hasil perekaman data di lokasi 5.

D. Analisis dan Evaluasi

1. Data Spektrum Batuan Referensi

Setiap jenis batuan menunjukkan spektrum yang konsisten antara jenis batuan yang sama pada lapangan yang berbeda. Namun beberapa jenis batuan mempunyai range variasi kurva spektrum yang lebar, misal batupasir, sehingga diperlukan pengelompokkan yang lebih spesifik dari

batupasir terutama terkait dengan mineral penyusun, ukuran butir penyusun, porositas, kepadatan (amorf/kristalin) serta warna.

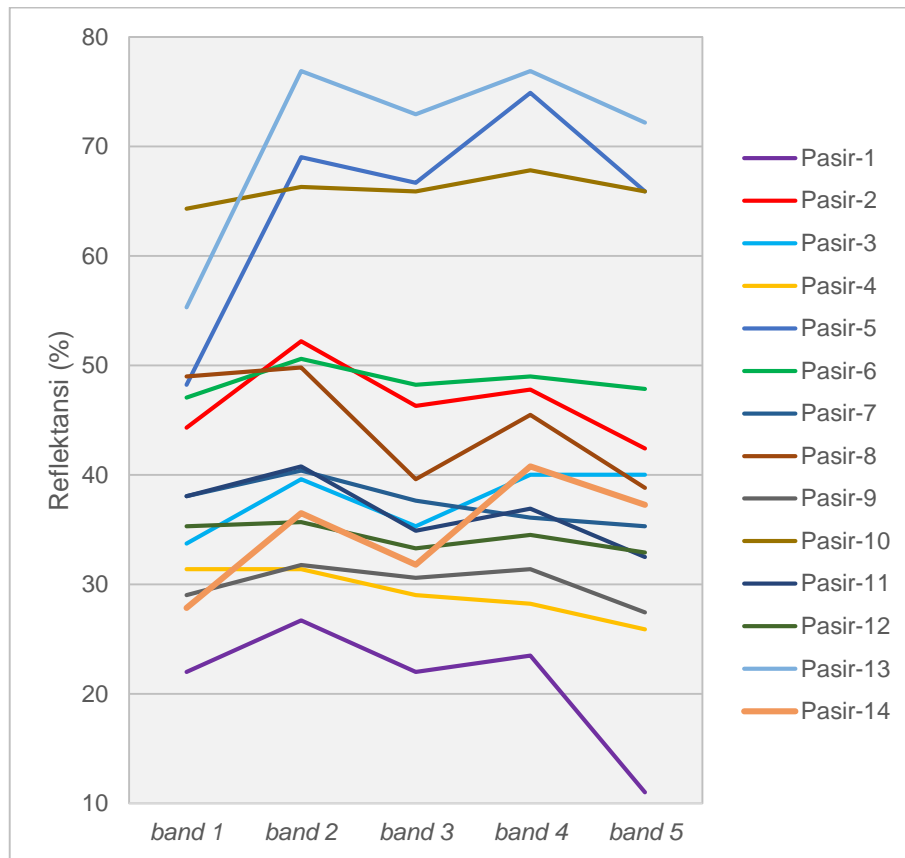
- Batupasir

Batupasir (*sandstone*) adalah batuan sedimen yang terdiri dari butiran mineral silikat berukuran pasir (diameter antara 0,6 – 2 mm). Sebagian besar batu pasir terbentuk oleh kuarsa atau feldspar karena mineral-mineral tersebut paling banyak terdapat di kulit bumi dan tahan terhadap cuaca. Batupasir dapat memiliki berbagai jenis warna akibat adanya impuritas, umumnya berwarna hitam, abu-abu, coklat muda, coklat, kuning, merah dan putih. Hasil pengukuran reflektansi batupasir ditunjukkan pada Tabel II-4.

Tabel II-4. Nilai reflektansi sampel batupasir.

Sampel	Kode	Lapangan	Reflektansi (%)					rata ²
			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
Pasir-1	-	-	22,0	26,7	22,0	23,5	11,0	21,0
Pasir-2	15DV - 24A	Mamberamo	44,3	52,2	46,3	47,8	42,4	46,6
Pasir-3	LKS-1	Jambi	33,7	39,6	35,3	40,0	40,0	37,7
Pasir-4	AGJ 03/1C	Mamberamo	31,4	31,4	29,0	28,2	25,9	29,2
Pasir-5	OC 137	Atambua	48,2	69,0	66,7	74,9	65,9	64,9
Pasir-6	CSS1	Jambi	47,1	50,6	48,2	49,0	47,8	48,5
Pasir-7	SM 6.3	Atambua	38,0	40,4	37,6	36,1	35,3	37,5
Pasir-8	OC139 MAF	Atambua	49,0	49,8	39,6	45,5	38,8	44,5
Pasir-9	AGJ 03/3	Mamberamo	29,0	31,8	30,6	31,4	27,5	30,0
Pasir-10	OC5 GP99	Atambua	64,3	66,3	65,9	67,8	65,9	66,0
Pasir-11	SM FC12	Atambua	38,0	40,8	34,9	36,9	32,5	36,6
Pasir-12	AGJ 02/3	Mamberamo	35,3	35,7	33,3	34,5	32,9	34,3
Pasir-13	GP375-376	Atambua	55,3	76,9	72,9	76,9	72,2	70,8
Pasir-14	UNT32	Jambi	27,8	36,5	31,8	40,8	37,3	34,8

Berdasarkan nilai-nilai tersebut, diperoleh mayoritas kurva dari spektrum batupasir berbentuk menyerupai huruf M, yang bernilai tinggi pada *band-2* dan *band-4*, dan bernilai lebih rendah pada *band* lainnya ($B_1 < B_2 > B_3 < B_4 > B_5$). Kurva spektrum batupasir tersaji pada Gambar II-96. Nilai rata-rata tertinggi dari kelima *band* dimiliki oleh sampel Pasir-13 sebesar 70,8% dan nilai terendah adalah 21% dimiliki oleh sampel Pasir-1.



Gambar II-96. Kurva multispektral sampel batupasir.

Nilai rata-rata dari kelima *band* sampel batupasir berasosiasi dengan warna sampel tersebut secara fisik. Dengan komposisi partikel penyusun yang sama, semakin gelap warna impuritas sampel batupasir maka akan semakin rendah nilai rata-rata reflektansi sampel tersebut. Sebaliknya, semakin terang warna sampel maka akan semakin tinggi nilai reflektansinya.

Perbandingan nilai reflektansi antar *band* pada batupasir tersaji pada Tabel II-5. Kolom kunci yang menggambarkan bentuk kurva spektrum pada tabel ini adalah kolom B₁ vs B₂, B₂ vs B₃, B₃ vs B₄ dan B₄ vs B₅. Dari keempat kolom tersebut, terdapat dua buah sampel yang memiliki nilai inkonsisten, yaitu sampel Pasir-4 dan Pasir-7 di mana reflektansi pada *band-3* lebih tinggi dibanding pada *band-4* (B₁<B₂>B₃>B₄>B₅).

Tabel II-5. Perbandingan reflektansi antar *band* pada batupasir.

Sampel	B ₁ vs				B ₂ vs			B ₃ vs		B ₄ vs
	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₃	B ₄	B ₅	B ₄	B ₅	B ₅
Pasir-1	<	=	<	>	>	>	>	<	>	>
Pasir-2	<	<	<	>	>	>	>	<	>	>
Pasir-3	<	<	<	<	>	<	<	<	<	=
Pasir-4	=	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Pasir-5	<	<	<	<	>	<	>	<	>	>
Pasir-6	<	<	<	<	>	>	>	<	>	>
Pasir-7	<	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Pasir-8	<	>	>	>	>	>	>	<	>	>
Pasir-9	<	<	<	>	>	>	>	<	>	>
Pasir-10	<	<	<	<	>	<	>	<	=	>
Pasir-11	<	>	>	>	>	>	>	<	>	>
Pasir-12	<	>	>	>	>	>	>	<	>	>
Pasir-13	<	<	<	<	>	=	>	<	>	>
Pasir-14	<	<	<	<	>	<	<	<	<	>

- Batulempung

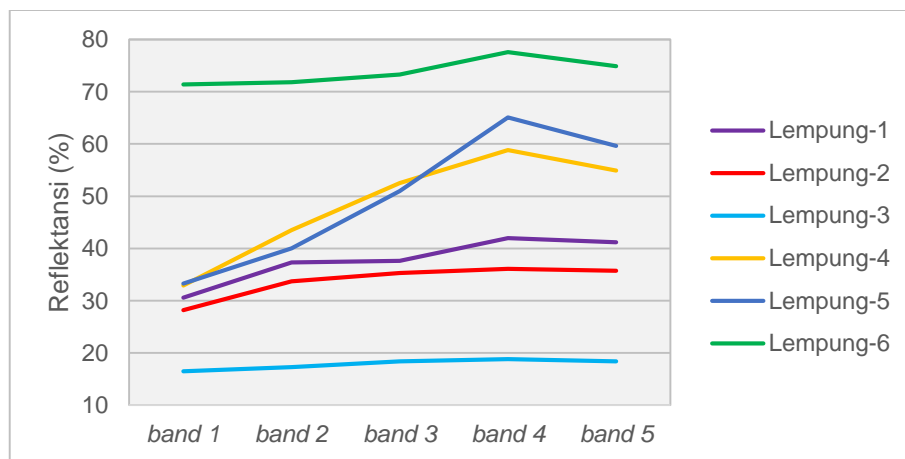
Batulempung (*clay*) mempunyai ukuran butiran yang lebih kecil dari batupasir, yaitu kurang dari 4 mikrometer. Materi penyusunnya didominasi oleh mineral lempung yaitu hidrous aluminium silikat yang terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi.

Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya. Golongan 1:1 memiliki lapisan satu oksida silikon dan satu oksida aluminium, sementara golongan 2:1 memiliki dua lapis golongan oksida silikon yang mengapit satu lapis oksida aluminium. Nilai reflektansi hasil perekaman enam sampel batulempung tersaji pada Tabel II-6.

Tabel II-6. Nilai reflektansi sampel batulempung.

Sampel	Kode	Lapangan	Reflektansi (%)					
			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	rata ²
Lempung-1	15DV - 25E	Mamberamo	30,6	37,3	37,6	42,0	41,2	37,7
Lempung-2	UNT28	Jambi	28,2	33,7	35,3	36,1	35,7	33,8
Lempung-3	PBH11	Jambi	16,5	17,3	18,4	18,8	18,4	17,9
Lempung-4	PBH 018	Jambi	32,9	43,5	52,5	58,8	54,9	48,5
Lempung-5	ST 1-01	Jambi	33,3	40,0	51,0	65,1	59,6	49,8
Lempung-6	SM3-12	Atambua	71,4	71,8	73,3	77,6	74,9	73,8

Dari tabel tersebut diperoleh kurva spektrum dari semua sampel batulempung mempunyai puncak nilai reflektansi pada *band-4*. Menuju ke *band-1* nilainya akan semakin menurun. Kurva spektrum batulempung ditunjukkan pada Gambar II-97.



Gambar II-97. Kurva multispektral sampel batulempung.

Tabel II-7 memperlihatkan perbandingan nilai reflektansi antar *band*. Dari perbandingan ini dapat kita rumuskan hubungan antar *band* batulempung adalah $B_1 < B_2 < B_3 < B_4 > B_5$. Dari keenam sampel, anomali terjadi pada perbandingan *band-3* dan *band-5* pada sampel Lempung-3 di mana nilai pada kedua *band* ini sama, namun perbandingan ini tidak menunjukkan inkonsistensi. Dari hasil pengamatan, nilai rata-rata dari kelima band pada batulempung juga menunjukkan adanya asosiasi dengan warna fisik dari sampel batuan. Sampel Lempung-3 adalah yang paling gelap (17,9%) dan sampel Lempung-6 yang paling terang (73,8%).

Tabel II-7. Perbandingan reflektansi antar *band* pada batulempung.

Sampel	B1 vs				B2 vs			B3 vs		B4 vs
	B2	B3	B4	B5	B3	B4	B5	B4	B5	B5
Lempung-1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	>
Lempung-2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	>
Lempung-3	<	<	<	<	<	<	<	<	=	>
Lempung-4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	>
Lempung-5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	>
Lempung-6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	>

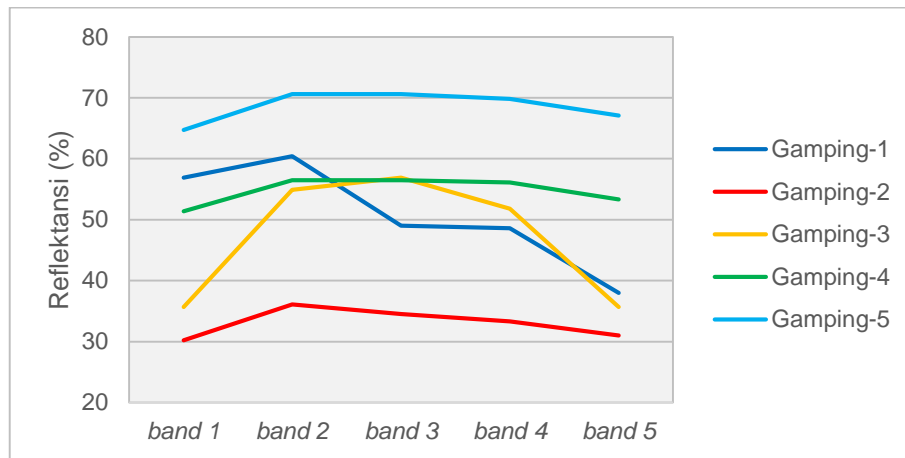
- Batugamping

Batugamping (*limestone*) atau batu kapur adalah batuan sedimen yang tersusun dari mineral kalsit dan aragonit yang merupakan dua varian yang berbeda dari kalsium karbonat (CaCO_3). Sumber utama dari kalsit adalah organisme laut yang membentuk cangkang yang kaya dengan kapur dan kemudian terendapkan di dasar laut dan terdeposit di lantai samudra. Nilai reflektansi hasil perekaman lima sampel batugamping ditunjukkan pada Tabel II-8.

Tabel II-8. Nilai reflektansi sampel batugamping.

Sampel	Kode	Lapangan	Reflektansi (%)					rata ²
			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
Gamping-1	-	-	56,9	60,4	49,0	48,6	38,0	50,6
Gamping-2	OC22	Atambua	30,2	36,1	34,5	33,3	31,0	33,0
Gamping-3	OC2 GP68	Atambua	35,7	54,9	56,9	51,8	45,1	48,9
Gamping-4	OC6	Atambua	51,4	56,5	56,5	56,1	53,3	54,8
Gamping-5	OC9	Atambua	64,7	70,6	70,6	69,8	67,1	68,6

Nilai-nilai ini menghasilkan bentuk kurva yang rata-rata mempunyai puncak pada *band-2* dan nilainya menurun ke arah *band-5*, sehingga karakternya seperti kurva batulempung yang terbalik. Anomali terjadi pada sampel Gamping-3 di mana nilai puncaknya berada pada *band-3* seperti ditunjukkan pada Gambar II-98.



Gambar II-98. Kurva multispektral sampel batugamping.

Dari perbandingan nilai reflektansi pada kelima sampel ini maka dapat kita rumuskan hubungan antar *band* dari batugamping adalah $B_1 < B_2 > B_3 > B_4 > B_5$. Perbandingan nilai antar band secara lengkap tersaji pada Tabel II-9.

Tabel II-9. Perbandingan reflektansi antar *band* pada batugamping.

Sampel	B1 vs				B2 vs			B3 vs		B4 vs
	B2	B3	B4	B5	B3	B4	B5	B4	B5	B5
Gamping-1	<	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Gamping-2	<	<	<	<	>	>	>	>	>	>
Gamping-3	<	<	<	<	<	>	>	>	>	>
Gamping-4	<	<	<	<	=	>	>	>	>	>
Gamping-5	<	<	<	<	=	>	>	>	>	>

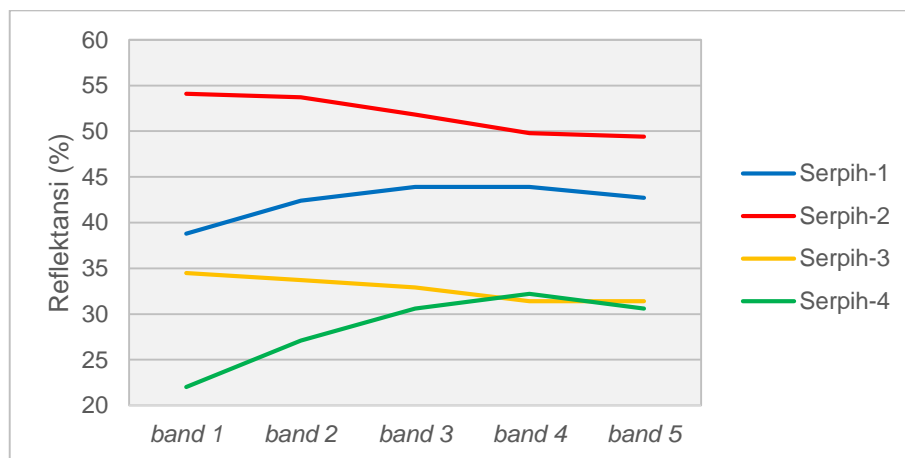
- Batuserpih

Batuserpih (*shale*) adalah batu sedimen klastik berbutir halus yang terdiri dari lumpur yang merupakan campuran dari serpihan mineral-mineral lempung dan fragmen-fragmen partikel berukuran lanau dari mineral lainnya, terutama kuarsa dan kalsit. Rasio antara batulempung dengan mineral lain pada batuserpih sangat variatif sesuai dengan proses terbentuknya. Pada dasarnya batulempung adalah batuserpih dengan sifat tak menyerpih. Nilai reflektansi hasil perekaman spektrum keempat sampel batuserpih ditunjukkan pada Tabel II-10.

Tabel II-10. Nilai reflektansi sampel batuserpih.

Sampel	Kode	Lapangan	Reflektansi (%)					
			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	rata ²
Serpih-1	15DV - 25G	Mamberamo	38,8	42,4	43,9	43,9	42,7	42,4
Serpih-2	SM FC2	Atambua	54,1	53,7	51,8	49,8	49,4	51,8
Serpih-3	15DV 21A	Mamberamo	34,5	33,7	32,9	31,4	31,4	32,8
Serpih-4	PBH22	Jambi	22,0	27,1	30,6	32,2	30,6	28,5

Hasil plot spektrum sampel batuserpih menunjukkan terbentuknya dua buah bentuk kurva. Spektrum sampel Serpih-1 identik dengan spektrum sampel Serpih-4 berupa kurva yang menyerupai karakter batulempung, sedangkan spektrum sampel Serpih-2 yang identik dengan spektrum sampel Serpih-3 mempunyai bentuk kurva yang menurun dari *band-1* menuju *band-5*. Bentuk kurva keempat sampel batuserpih ditampilkan pada Gambar II-99.



Gambar II-99. Kurva multispektral sampel batuserpih.

Perbedaan bentuk kurva tersebut diprediksi terjadi karena faktor materi penyusun sampel Serpih-1 dan Serpih-4 yang mempunyai porsi batulempung lebih dominan dibanding materi lainnya. Perbedaan ini dapat dianalisis lebih lanjut dengan mengkarakterisasi lebih banyak sampel batuserpih secara lebih rinci dengan memperhatikan kadar batulempung yang terdapat di dalam batuserpih. Hubungan nilai reflektansi antar band dari batuserpih ditunjukkan pada Tabel II-11.

Tabel II-11. Perbandingan reflektansi antar *band* pada batuserpih.

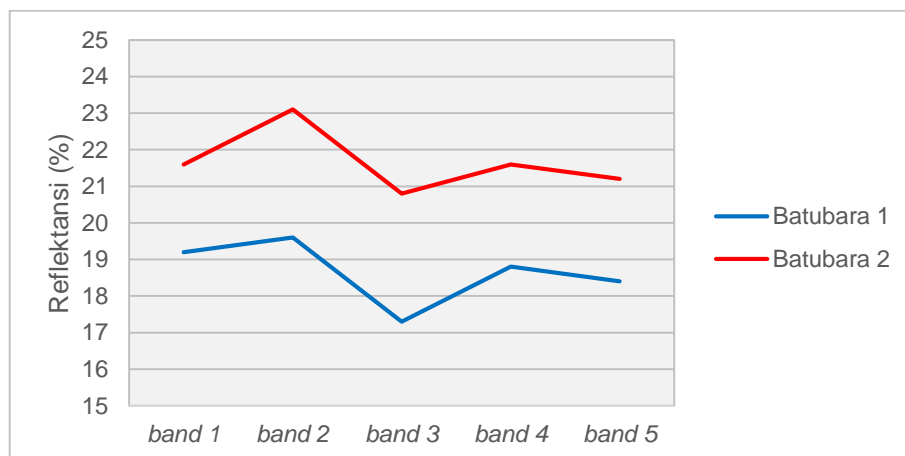
Sampel	B1 vs				B2 vs			B3 vs		B4 vs
	B2	B3	B4	B5	B3	B4	B5	B4	B5	B5
Serpih-1	<	<	<	<	<	<	<	=	>	>
Serpih-2	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Serpih-3	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Serpih-4	<	<	<	<	<	<	<	<	=	>

- Batubara

Batubara (*coal*) adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Perekaman spektrum dua sampel batubara memberikan nilai reflektansi seperti ditampilkan pada Tabel II-12 dan bentuk kurva spektrum seperti pada Gambar II-100.

Tabel II-12. Nilai reflektansi sampel batubara.

Sampel	Kode	Lapangan	Reflektansi (%)					
			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	rata ²
Batubara-1	AGJ 06/1	Mamberamo	19,2	19,6	17,3	18,8	18,4	18,7
Batubara-2	15DV 25C	Mamberamo	21,6	23,1	20,8	21,6	21,2	21,7



Gambar II-100. Kurva multispektral sampel batubara.

Dari kurva tersebut terlihat jelas bahwa kedua sampel mempunyai spektrum yang identik. Kurva ini membentuk pola menyerupai huruf M seperti yang terjadi pada batupasir. Perbedaannya, perbandingan nilai antar band pada spektrum batubara relatif lebih seragam membentuk pola $B2 > B1 > B4 > V3 > B5$. Selain itu nilai rata-rata batubara lebih rendah diakibatkan warna fisiknya yang relatif lebih gelap dibanding batupasir. Perbandingan nilai reflektansi antar *band* pada batubara lebih rinci tersaji pada Tabel II-13

Tabel II-13. Perbandingan reflektansi antar *band* pada batubara.

Sampel	B1 vs				B2 vs			B3 vs		B4 vs
	B2	B3	B4	B5	B3	B4	B5	B4	B5	B5
Batubara-1	<	>	>	>	>	>	>	<	<	>
Batubara-2	<	>	=	>	>	>	>	<	<	>

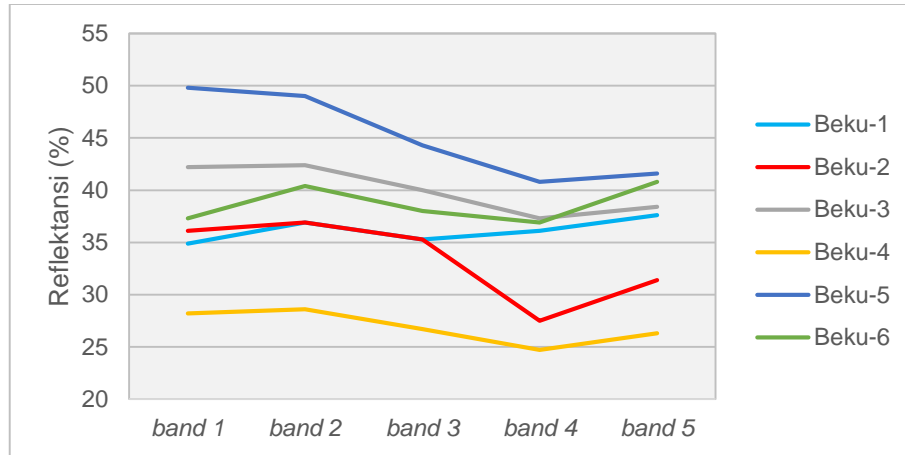
- Batuan beku

Batuan beku (*igneus rock*) adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (plutonik) maupun di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (vulkanik). Enam sampel batuan beku menghasilkan nilai reflektansi seperti terlihat pada Tabel II-14.

Tabel II-14. Nilai reflektansi sampel batuan beku.

Sampel	Kode	Lapangan	Reflektansi (%)					
			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	rata ²
Beku-1	SMU5	Atambua	34,9	36,9	35,3	36,1	37,6	36,2
Beku-2	OC07	Atambua	36,1	36,9	35,3	27,5	31,4	33,4
Beku-3	OC15/KFT	Atambua	42,4	42,4	40,0	37,3	38,4	40,1
Beku-4	OC102 BMT	Atambua	28,2	28,6	26,7	24,7	26,3	26,9
Beku-5	SMU2	Atambua	49,8	49,0	44,3	40,8	41,6	45,1
Beku-6	OC20 KFT	Atambua	37,3	40,4	38,0	36,9	40,8	38,7

Sampel batuan beku menghasilkan kurva spektrum dengan puncak tertinggi pada *band-2* dan terendah pada *band-4*. Bentuk kurva spektrum batuan beku ditampilkan pada Gambar II-101.



Gambar II-101. Kurva multispektral sampel batuan beku.

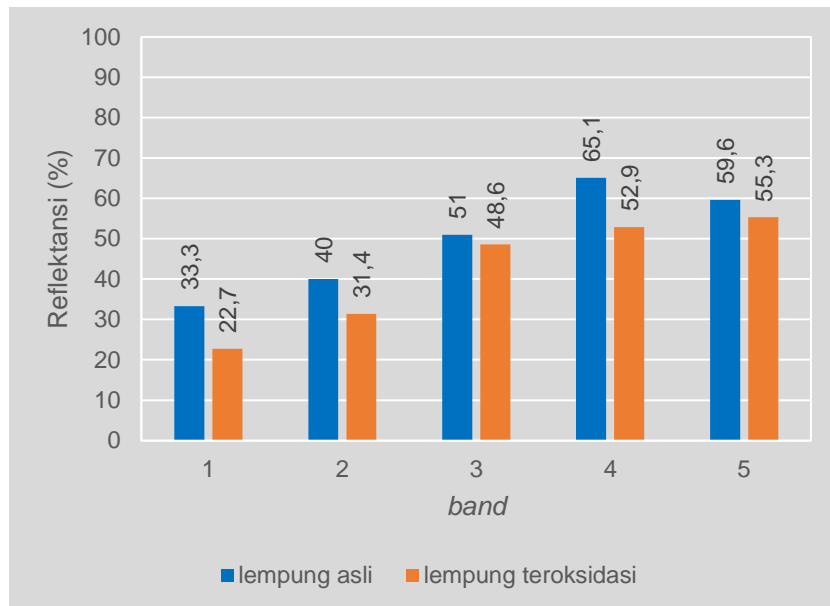
Dari kurva tersebut, anomali terlihat pada sampel Beku-1 di mana nilai pada *band-3* lebih rendah dibanding *band-4*. Perbandingan nilai reflektansi antar band batuan beku tersaji pada Tabel II-15.

Tabel II-15. Perbandingan reflektansi antar *band* pada batuan beku.

Sampel	B1 vs				B2 vs			B3 vs		B4 vs
	B2	B3	B4	B5	B3	B4	B5	B4	B5	B5
Beku-1	<	<	<	<	>	>	<	<	<	<
Beku-2	<	>	>	>	>	>	>	>	>	<
Beku-3	=	>	>	>	>	>	>	>	>	<
Beku-4	<	>	>	>	>	>	>	>	>	<
Beku-5	<	<	>	<	>	>	>	>	>	<
Beku-6	<	<	>	<	>	>	<	>	<	<

- Alterasi Batuan

Alterasi batulempung terdeteksi pada sampel Lempung-5 di mana pada titik yang tidak teroksidasi mempunyai nilai reflektansi rata-rata 49,8% sedangkan oksidasi membuat nilai reflektansi lebih rendah (rata-rata 42,2%). Kurva kedua kondisi batulempung tersaji pada Gambar II-102.



Gambar II-102. Spektrum batulempung asli dan batulempung teroksidasi.

Dari hasil analisis data hasil perekaman spektrum sampel batuan referensi, secara global berdasarkan pola kurva spektrum yang terbentuk mempunyai karakter sebagai berikut:

- Mayoritas (87,5%) jenis batuan mempunyai konsistensi bentuk kurva spektrum.
- Nilai rata-rata dari kelima *band* berkorelasi dengan warna batuan secara fisik yang dipengaruhi oleh materi penyusun batuan tersebut. Semakin gelap warna batuan maka akan semakin rendah nilai reflektansinya.
- 5 dari 40 sampel (12,5%) masih memberikan nilai reflektansi yang inkonsisten. Untuk mengatasi hal ini diperlukan perekaman dengan klasifikasi jenis batuan yang lebih rinci, misal dilakukan pembedaan antara batuan *tight* dan *porous*, kasar dan halus, dan sebagainya.

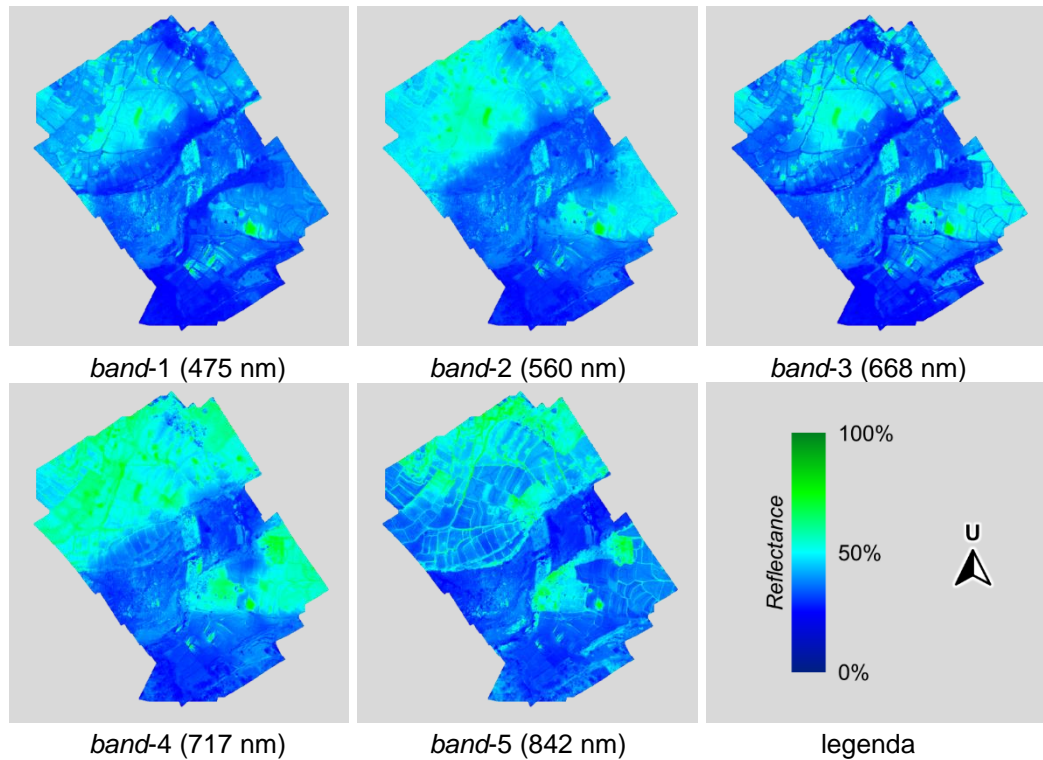
2. Data Lapangan

a. Pra-pengolahan data

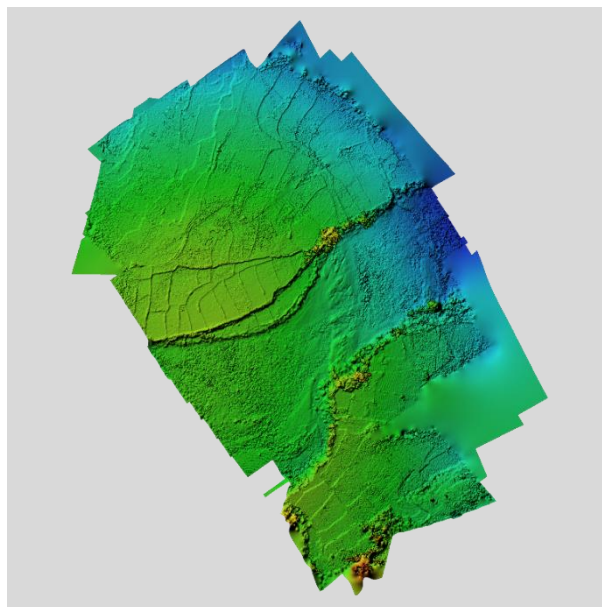
Pada tahap ini keluaran yang dihasilkan berupa peta DEM, peta ortomosaik tiap-tiap band, peta ortomosaik RGB dan peta *point cloud*.

1). Lokasi 1 (misi 1)

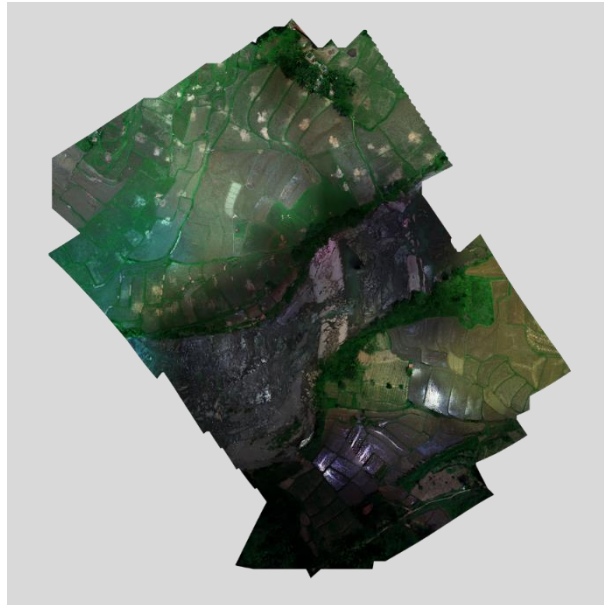
Peta ortomosaik untuk tiap-tiap *band*, peta DEM, ortomosaik RGB dan *point cloud* hasil pra-pengolahan data misi 1 di lokasi 1 secara berurutan ditunjukkan pada Gambar II-103 hingga Gambar II-106.



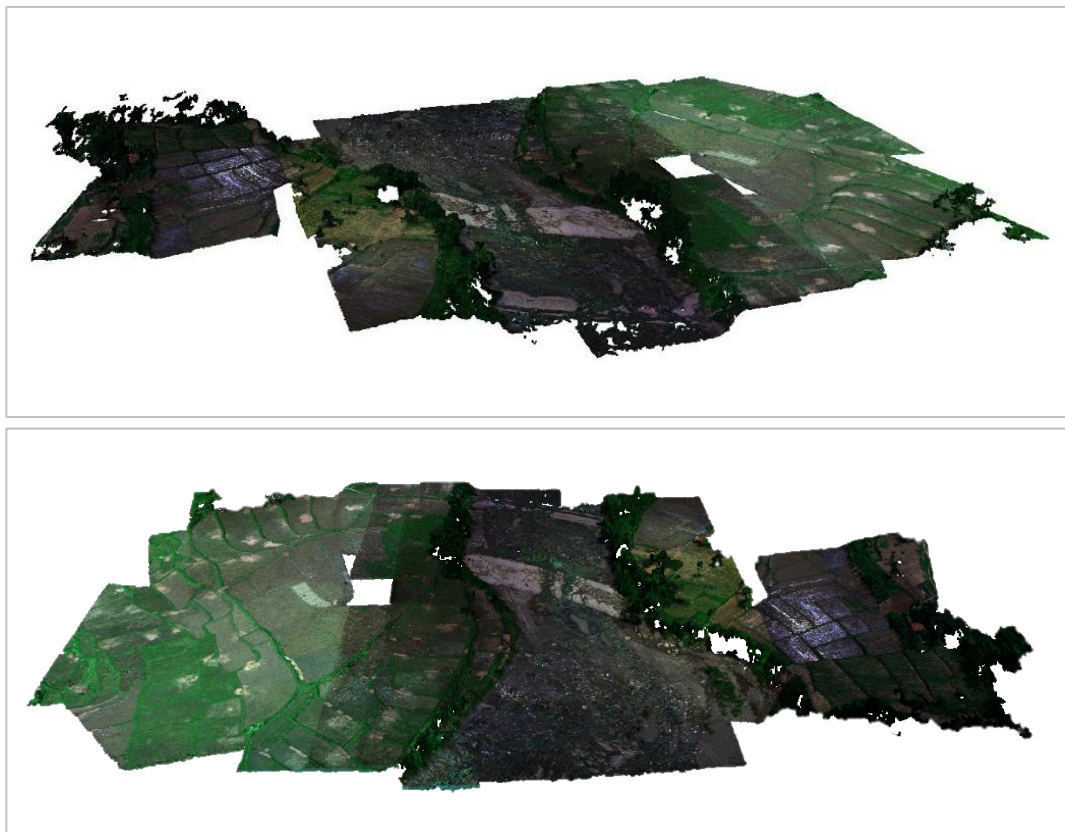
Gambar II-103. Peta ortomosaik per *band* hasil pra-pengolahan misi 1 di lokasi 1.



Gambar II-104. Peta elevasi (DEM) hasil pra-pengolahan data misi 1 di lokasi 1.



Gambar II-105. Peta ortomosaik hasil pra-pengolahan data misi 1 di lokasi 1.



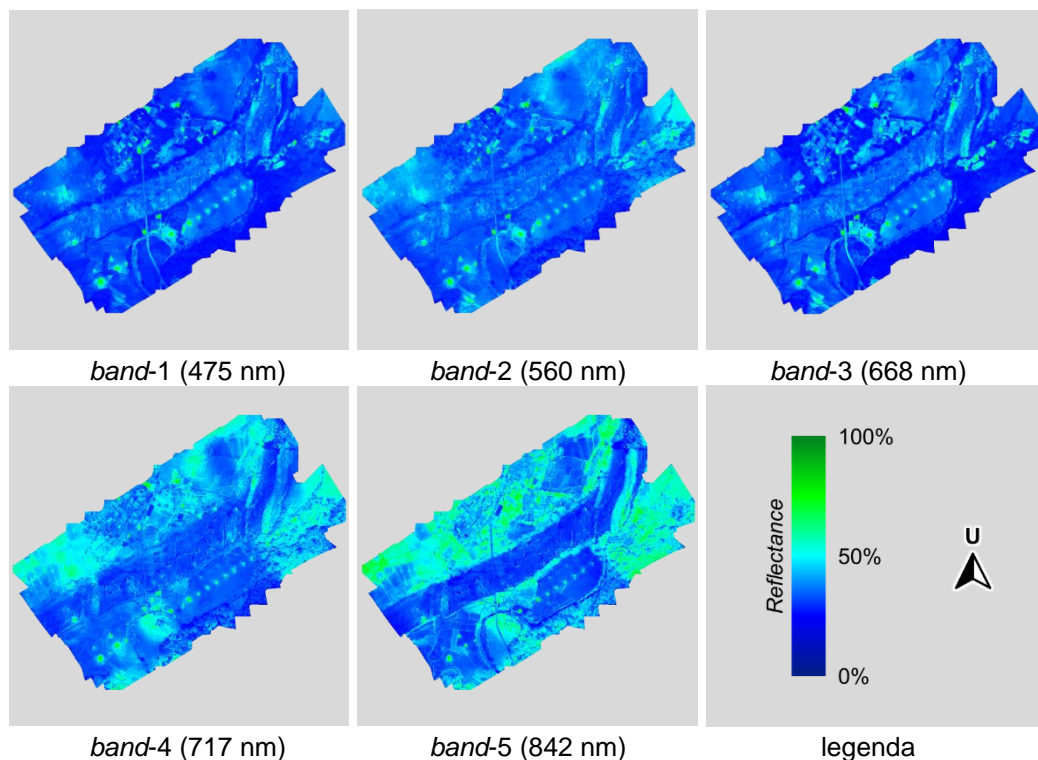
Gambar II-106. Peta *point cloud* hasil pra-pengolahan pada misi 1 di lokasi 1.

Point cloud adalah set data yang terdiri dari sejumlah titik dalam sebuah ruangan yang menghasilkan sebuah bentuk 3 dimensi. Pada

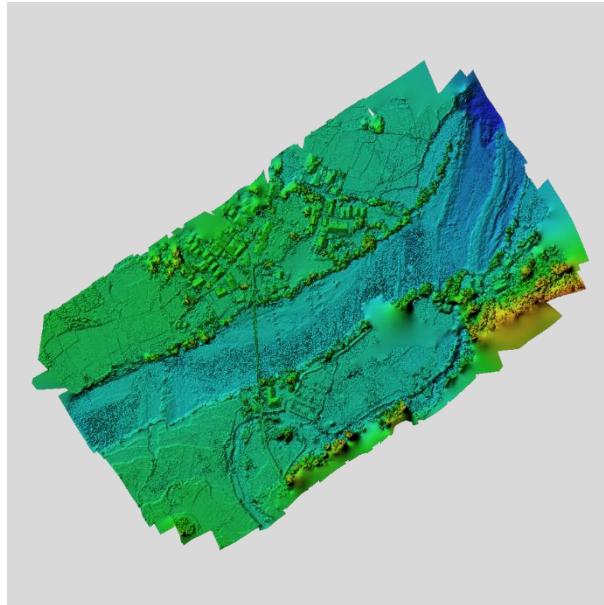
perangkat lunak pra-pengolahan data multispektral ini *point cloud* membentuk permukaan bumi yang terekam oleh kamera multispektral. Setiap piksel pada peta ortomosaik akan diangkat posisinya (sumbu z) sesuai dengan informasi elevasi dari piksel tersebut berdasarkan peta DEM. Selain untuk merepresentasikan bentuk permukaan bumi yang terekam, peta *point cloud* bermanfaat untuk memprediksi orientasi (*strike* dan *dip*) dari sebuah bidang permukaan.

2). Lokasi 1 (misi 2)

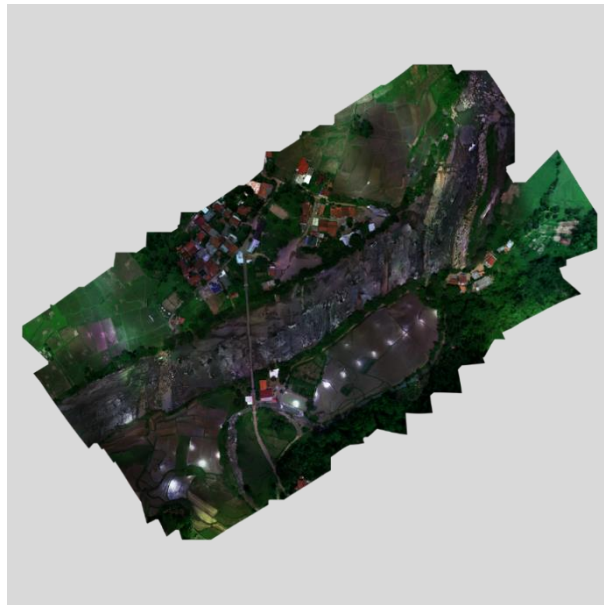
Pra-pengolahan data hasil perekaman pada misi 2 di lokasi 1 menghasilkan peta ortomosaik setiap *band* seperti yang ditunjukkan pada Gambar II-107, peta elevasi (DEM) pada Gambar II-108, peta ortomosaik RGB seperti pada Gambar II-109 dan peta *point cloud* seperti pada Gambar II-110.



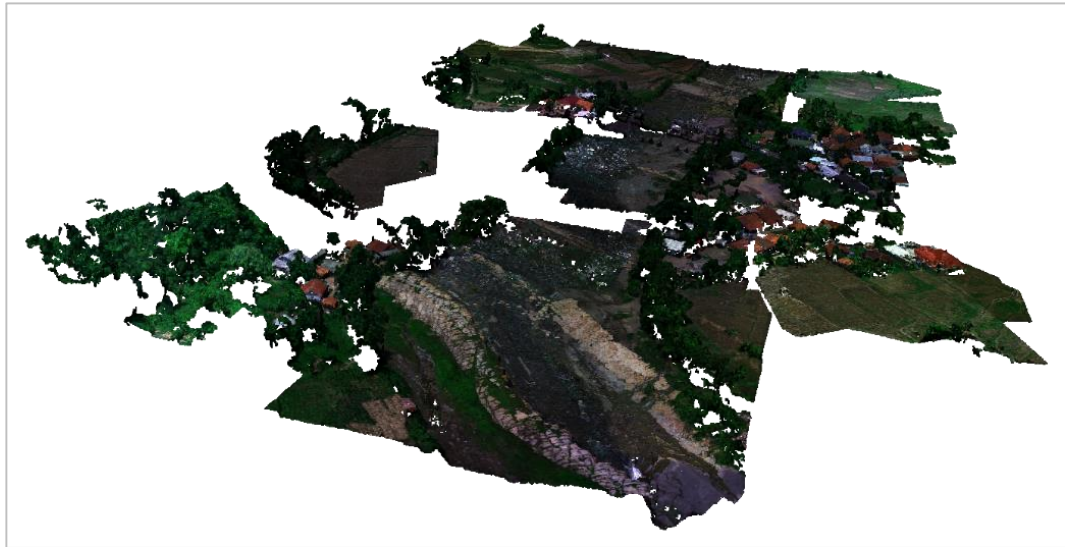
Gambar II-107. Peta ortomosaik per *band* hasil pra-pengolahan misi 2 di lokasi 1.



Gambar II-108. Peta elevasi (DEM) hasil pra-pengolahan data misi 2 di lokasi 1.



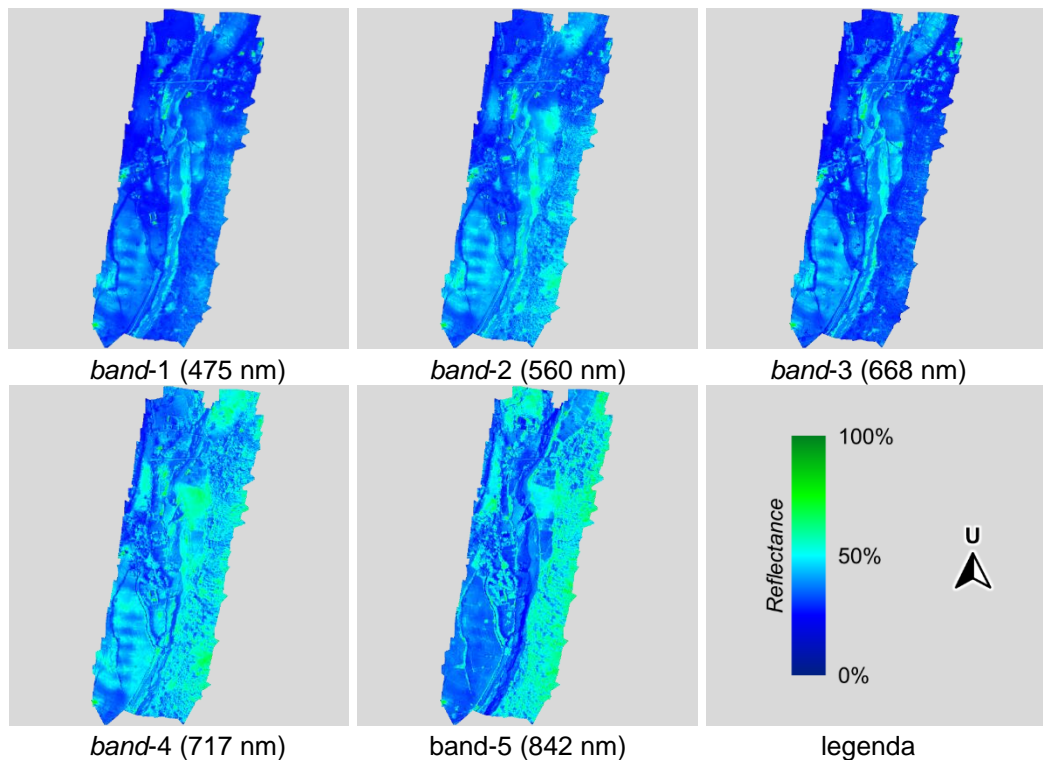
Gambar II-109. Peta ortomosaik hasil pra-pengolahan data misi 2 di lokasi 1.



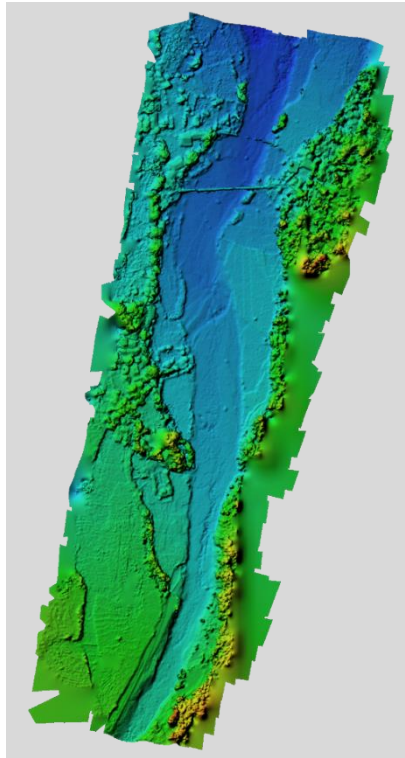
Gambar II-110. Peta *point cloud* hasil pra-pengolahan pada misi 2 di lokasi 1.

3). Lokasi 2

Hasil pra-pengolahan data dari lokasi 2 berupa peta ortomosaik per *band* (Gambar II-111), peta DEM (Gambar II-112), ortomosaik citra RGB (Gambar II-113) dan peta *point cloud* (Gambar II-114).



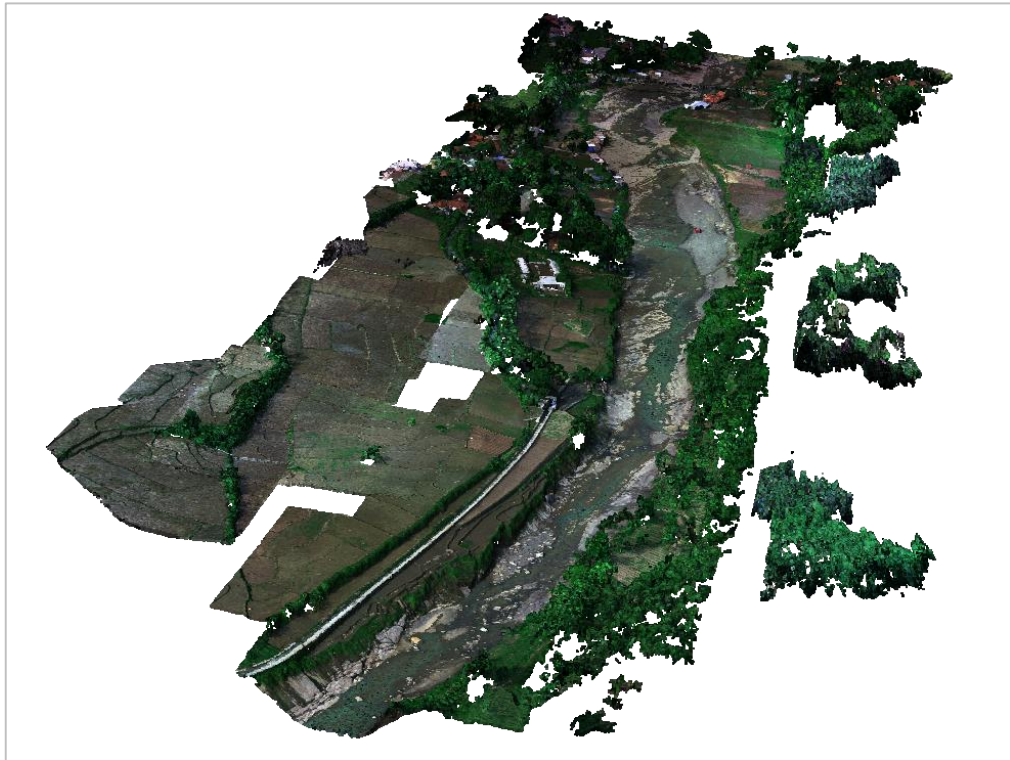
Gambar II-111. Peta ortomosaik per *band* hasil pra-pengolahan lokasi 2.



Gambar II-112. Peta elevasi (DEM) hasil pra-pengolahan data di lokasi 2.



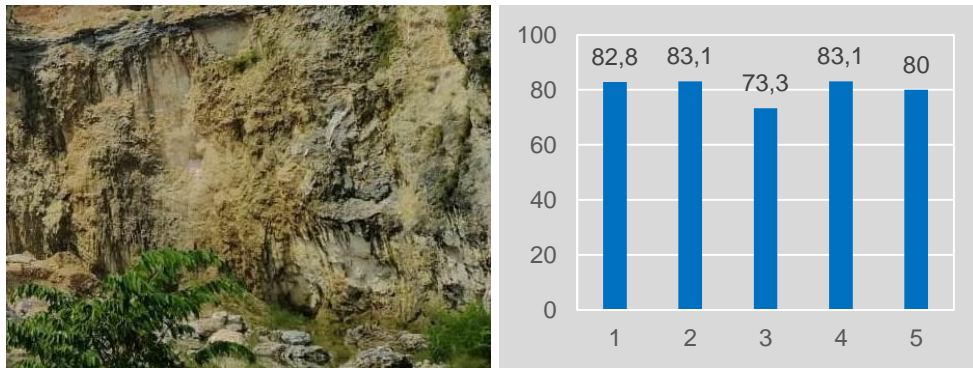
Gambar II-113. Peta ortomosaik RGB hasil pra-pengolahan data pada lokasi 2.



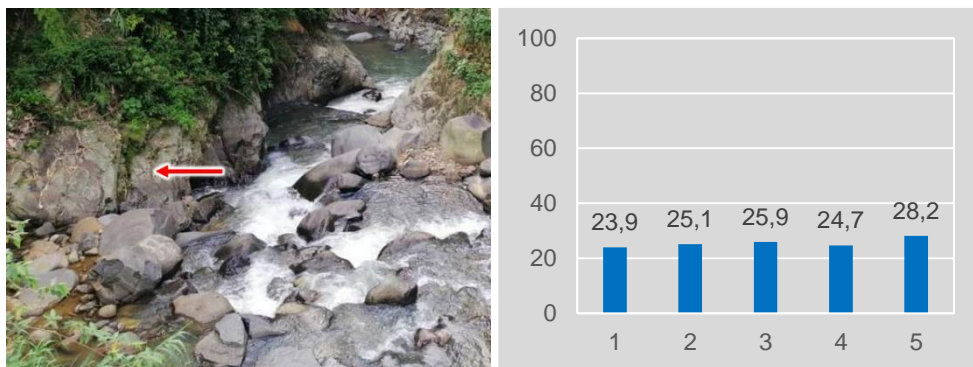
Gambar II-114. Peta *point cloud* hasil pra-pengolahan pada lokasi 2.

4). Non misi (lokasi 3-5)

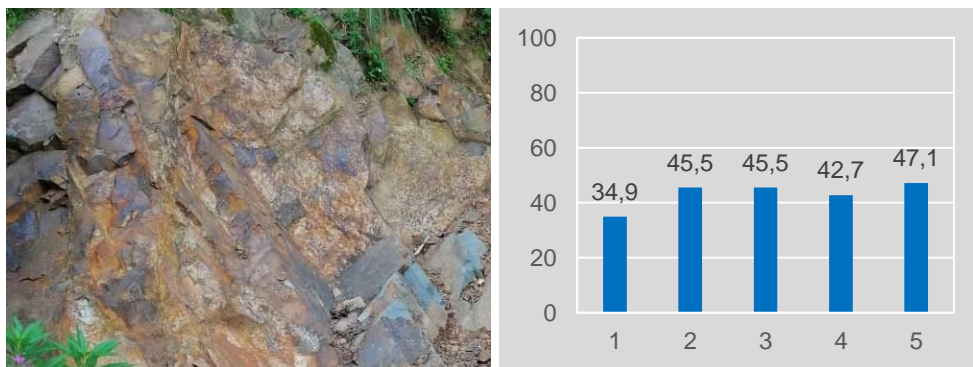
Pra-pengolahan data hanya dapat dilakukan pada citra mosaik atau citra multispektral yang diambil melalui penerbangan misi. Pengambilan data di lokasi 3 hingga 5 bukan merupakan penerbangan misi sehingga tidak dapat dilakukan pra-pengolahan. Pengambilan data di lokasi 3 hingga 5 bertujuan untuk menambah informasi pada *library* spektrum batuan referensi. Spektrum dari batuan referensi dari ketiga lokasi (batugamping Klapa Nunggal, batuan beku segar dan lapuk Karang Tengah serta batuan beku segar Gunung Putri) ditampilkan pada Gambar II-115 hingga Gambar II-118.



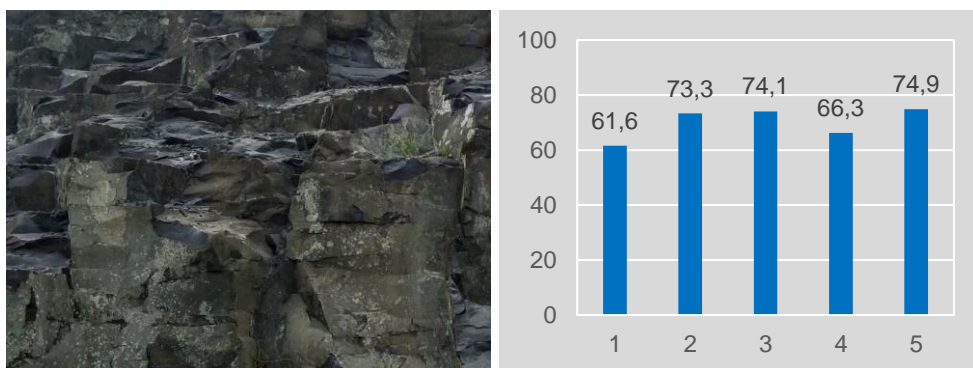
Gambar II-115. Spektrum rata-rata batugamping di lokasi 3.



Gambar II-116. Spektrum rata-rata batuan beku segar di lokasi 4.



Gambar II-117. Spektrum rata-rata batuan beku lapuk di lokasi 4.



Gambar II-118. Spektrum rata-rata batuan beku segar di lokasi 5.

Batugamping dari lokasi 3 Klapa Nunggal menghasilkan kesamaan bentuk kurva spektrum dengan sampel batugamping referensi dari laboratorium. Batuan beku baik yang masih segar maupun lapuk di lokasi 4 dan 5 menunjukkan konsistensi pada bentuk kurva spektrum dengan perbandingan nilai reflektansi antar *band* $B_5 > B_3 > B_2 > B_4 > B_1$.

b. Pengolahan dan interpretasi data

1). Lokasi 1 (misi 1)

Pengolahan dan interpretasi data multispektral meliputi pemetaan distribusi objek baik batuan maupun non-batuan yang dilanjutkan dengan penggabungan peta-peta distribusi objek tersebut. Peta distribusi objek dibangkitkan dari persamaan matematis yang diterapkan pada data citra dari *band* yang tersedia.

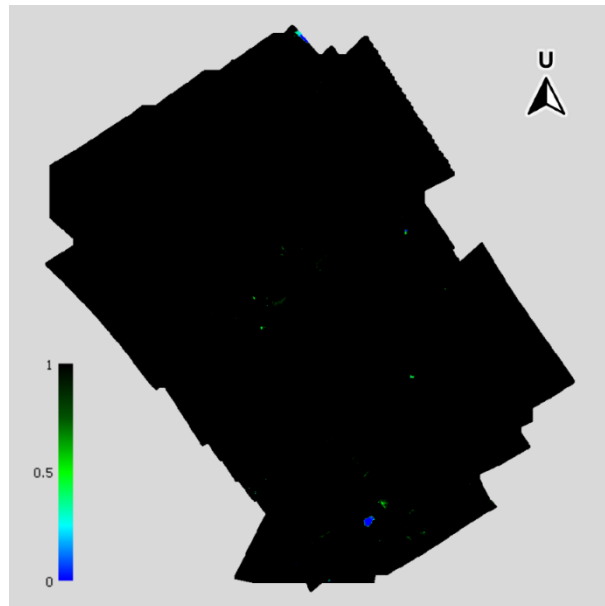
a). Distribusi Objek

1. Bangunan

Objek bangunan dapat diidentifikasi berdasarkan karakter atap dari bangunan tersebut. Kebanyakan jenis atap yang digunakan di Indonesia adalah genteng dengan warna cokelat yang menyala. Karakter tersebut dapat dipetakan dengan membangkitkan citra baru menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{B_1 + B_2}{B_1 + B_3}$$

di mana B_n adalah nilai *reflectance* pada *band* ke- n . Dengan *range* nilai antara 0 hingga 1, bangunan dapat diidentifikasi dengan *threshold* 0,5. Nilai di bawah *threshold* diinterpretasi sebagai bangunan, sedangkan nilai di atas *threshold* sebagai objek bukan bangunan. Penerapan parameter tersebut pada peta ortomosaik misi 1 di lokasi 1 akan menghasilkan peta seperti terlihat pada Gambar II-119.



Gambar II-119. Identifikasi bangunan pada misi 1 di lokasi 1.

2. Vegetasi

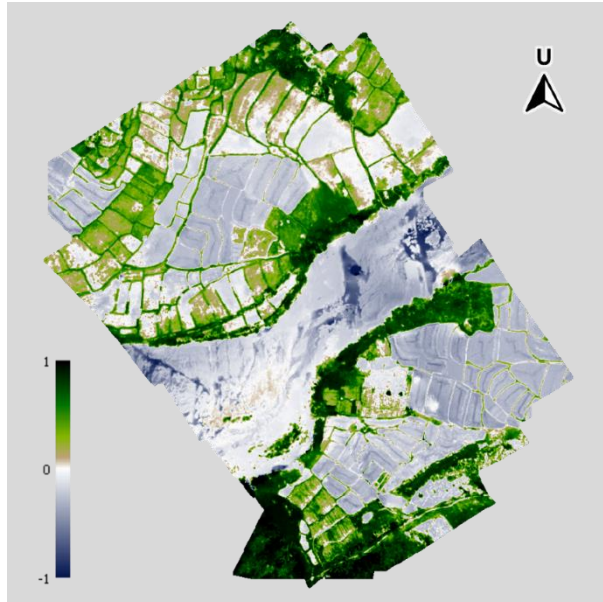
Metode yang umum digunakan pada identifikasi vegetasi adalah pemetaan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). NDVI biasa digunakan untuk memetakan tanaman sehat dan tanaman tidak sehat di bidang pertanian. NDVI mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$\frac{B_5 - B_3}{B_5 + B_3}$$

Dengan *range* nilai antara -1 hingga 1, untuk membedakan antara tanaman dan bukan tanaman digunakan *threshold* 0. Nilai di atas 0 diinterpretasikan sebagai tanaman, sedangkan di bawah 0 sebagai objek mati. Untuk mendeteksi rembesan migas yang menyebabkan tanaman tidak sehat atau tidak tumbuh dengan baik, digunakan *threshold* 0,33. Nilai antara 0 hingga 0,33 dianggap sebagai tanaman dengan pertumbuhan buruk, sedangkan nilai 0,33 hingga 1 dianggap sebagai tanaman sehat.

Terhambatnya pertumbuhan tanaman tidak selalu disebabkan oleh adanya rembesan migas, tetapi adanya anomali pertumbuhan tanaman dapat memberi informasi awal yang membuka kemungkinan

akan adanya rembesan migas. Parameter NDVI di atas jika kita aplikasikan pada peta ortomosaik misi 1 di lokasi 1 akan menghasilkan peta sebaran vegetasi seperti yang ditampilkan pada Gambar II-120.



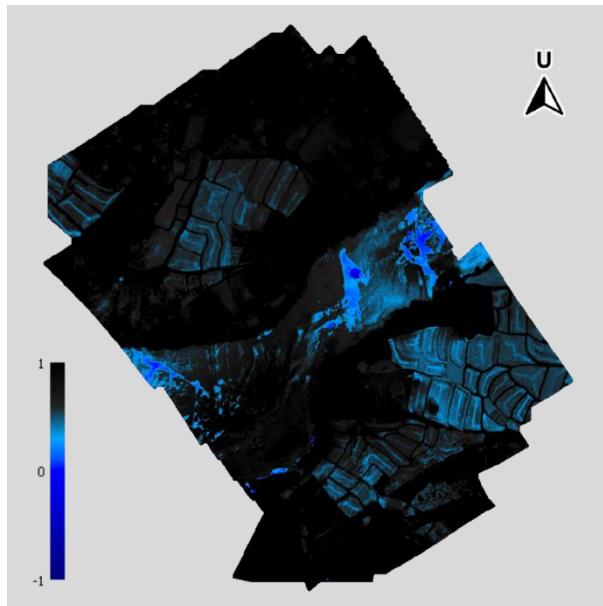
Gambar II-120. Identifikasi vegetasi pada misi 1 di lokasi 1.

3. Air

Walaupun mempunyai sifat fisis transparan, air mempunyai respon tersendiri terhadap gelombang elektromagnetik, sehingga pada ketebalan tertentu objek di bawah air akan memberikan respon spektral yang berbeda dibandingkan pada saat tidak tertutup air. Ketebalan (kedalaman) tubuh air dapat diidentifikasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{B_5}{B_3}$$

Dengan *threshold* 0,5. Nilai di bawah *threshold* diinterpretasi mempunyai kandungan air. Semakin mendekati 0 maka menunjukkan meningkatnya ketebalan air. Nilai di atas *threshold* menunjukkan objek kering.



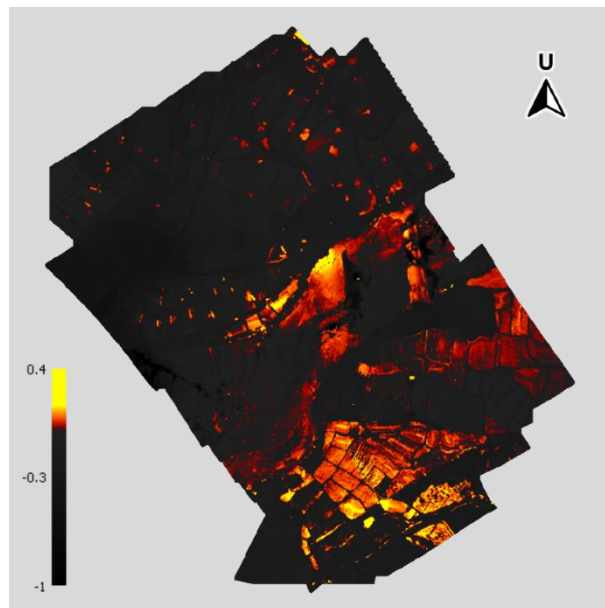
Gambar II-121. Identifikasi air pada misi 1 di lokasi 1.

4. Batuan karbonat

Batuan karbonat dapat dipetakan menggunakan persamaan sebagai berikut:

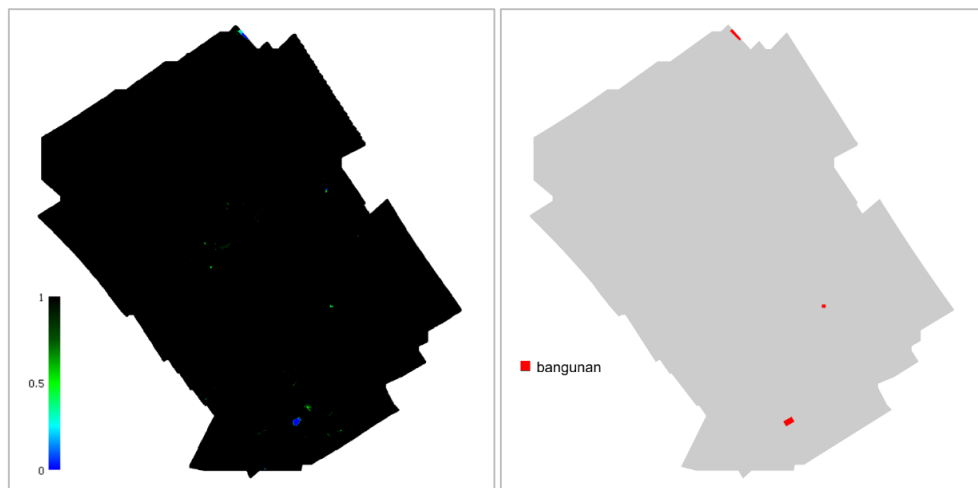
$$\frac{B_3 - B_2}{B_4 + B_5}$$

Dengan *range* -1 hingga 1 batuan karbonat mempunyai *threshold* 0. Nilai di atas *threshold* menunjukkan batuan karbonat sedangkan nilai di bawah *threshold* menunjukkan objek non-karbonat. Sebagian dari nilai ini mengalami *overlap* dengan nilai pada *soil* sehingga diperlukan parameter lain untuk membedakan antara batuan karbonat dengan *soil*, contohnya menggunakan analisis SOC (*soil organic carbon*) atau menggunakan distribusi NDVI di mana *soil* mempunyai indeks lebih kecil dibanding batuan karbonat.



Gambar II-122. Identifikasi batuan karbonat pada misi 1 di lokasi 1.

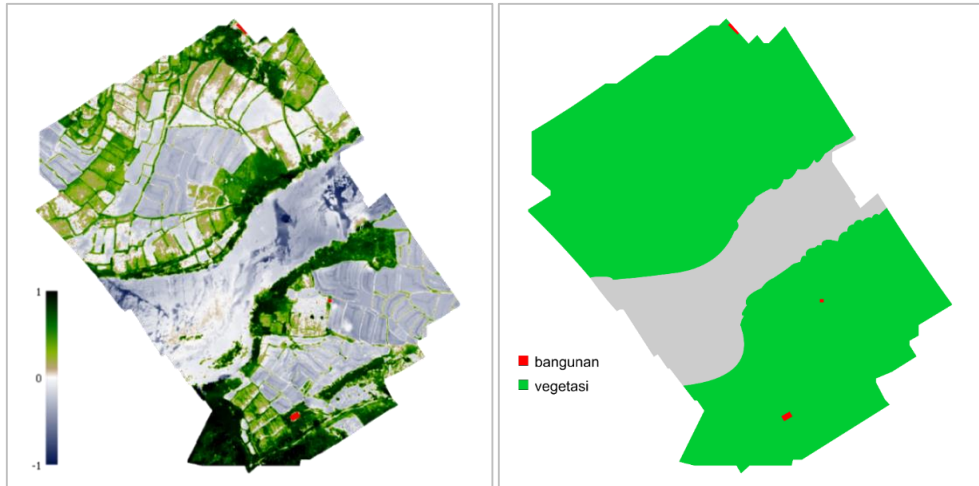
Dari peta-peta distribusi objek tersebut kita dapat melakukan interpretasi secara bertahap. Tahap pertama adalah memetakan distribusi bangunan seperti yang terlihat pada Gambar II-123.



Gambar II-123. Interpretasi tahap 1 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi bangunan.

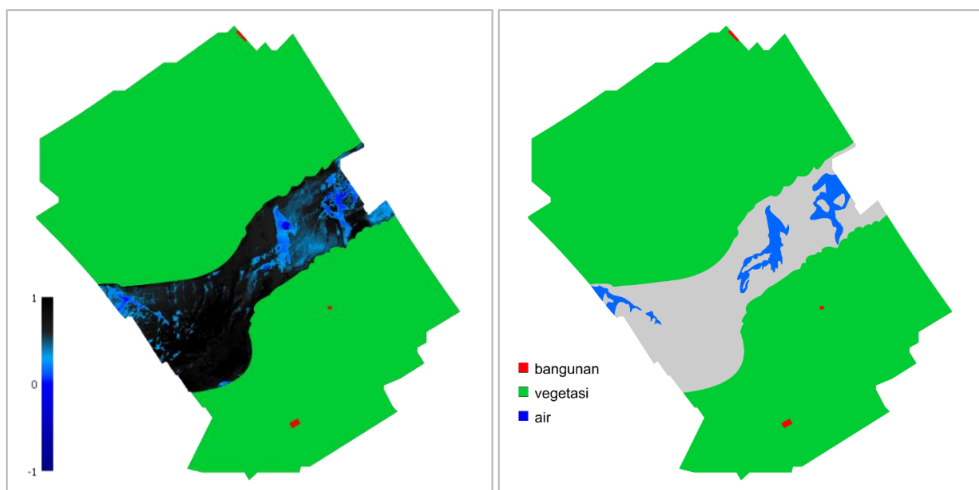
Tahap selanjutnya adalah memetakan distribusi vegetasi berdasar peta NDVI. Pada peta NDVI tidak semua area pertanian (sawah) mempunyai nilai NDVI di atas 0. Namun dengan bantuan peta ortomosaik RGB kita dapat mengidentifikasi area tersebut sebagai area pertanian

sehingga kita dapat menginterpretasikannya sebagai vegetasi sebagaimana ditampilkan pada Gambar II-124.



Gambar II-124. Interpretasi tahap 2 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi vegetasi.

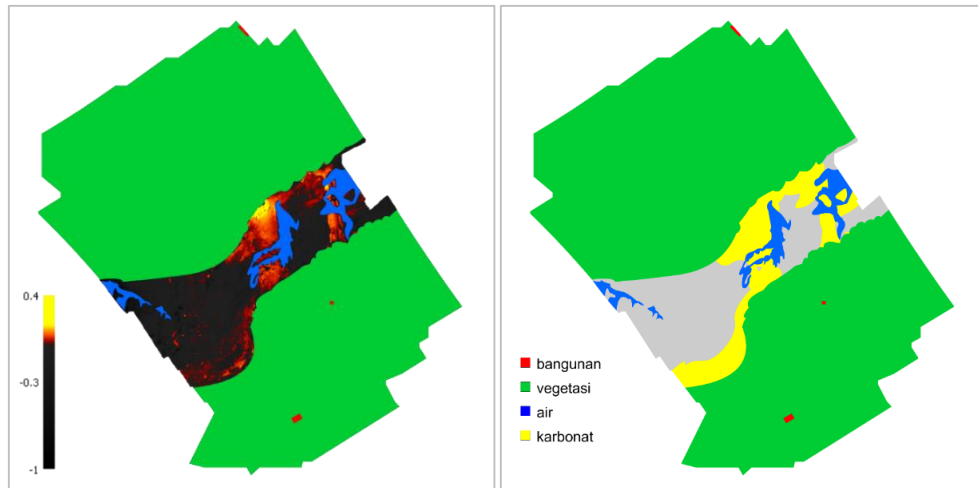
Interpretasi tahap ketiga dilakukan dengan memetakan distribusi air seperti terlihat pada Gambar II-125. Area dengan indeks mendekati *threshold* (warna biru tipis) yang menunjukkan air dengan kedalaman dangkal masih dapat diolah menggunakan persamaan lain untuk diinterpretasi sebagai objek bukan air.



Gambar II-125. Interpretasi tahap 3 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi air.

Tahap selanjutnya adalah pemetaan batuan karbonat seperti ditunjukkan pada Gambar II-126. Batuan karbonat pada daerah tersebut mempunyai sisipan batulempung dengan ketebalan di bawah nilai GSD dari

citra multispektral sehingga sisipan tidak dapat terdeteksi (kurang dari 1 piksel).

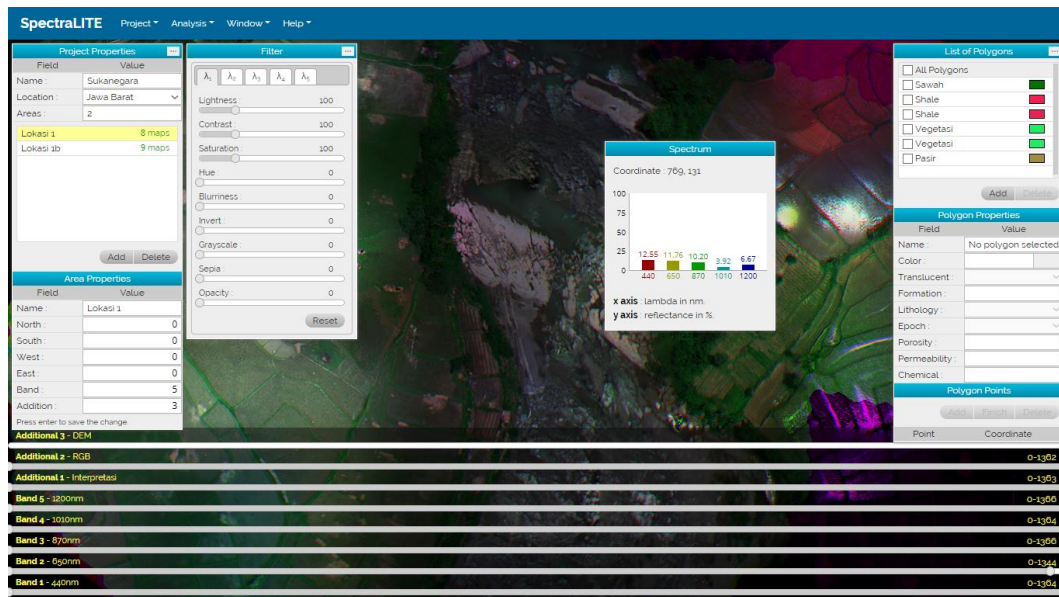


Gambar II-126. Interpretasi tahap 4 pada misi 1 di lokasi 1, distribusi batuan karbonat.

Interpretasi menyisakan satu jenis litologi yaitu batupasir. Untuk memvalidasi distribusi batupasir digunakan metode pengecekan spektrum pada beberapa titik sampel. Pengambilan data spektrum dilakukan pada enam titik seperti yang terlihat pada Gambar II-127. Pengambilan data spektrum dilakukan pada perangkat lunak SpectraLITE (Gambar II-128).



Gambar II-127. Titik pengambilan sampel spektrum data pada misi 1 di lokasi 1.



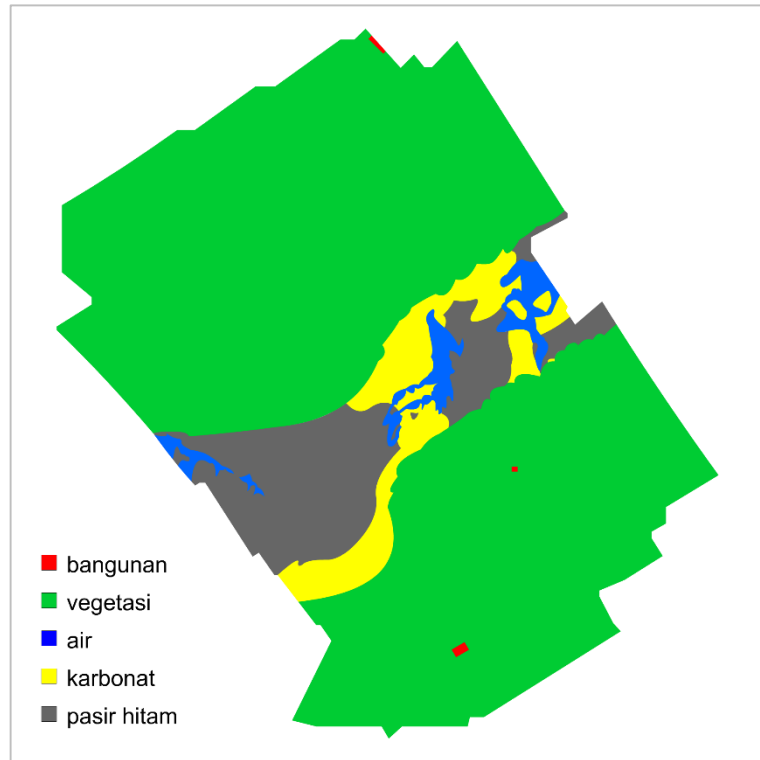
Gambar II-128. Pengambilan data spektrum pada perangkat lunak SpectraLITE.

Spektrum dari keenam titik sampel ditunjukkan pada Gambar II-129. Pola tersebut menunjukkan bahwa spektrum pada keenam sampel identik dengan spektrum batupasir kasar hitam dengan ciri kelima *band* mempunyai reflektansi yang rendah dengan nilai terendah pada *band-4*. Dengan demikian area tersebut dapat diinterpretasikan sebagai batupasir gelap (hitam).



Gambar II-129. Spektrum dari 6 titik sampel pada data misi 1 di lokasi 1.

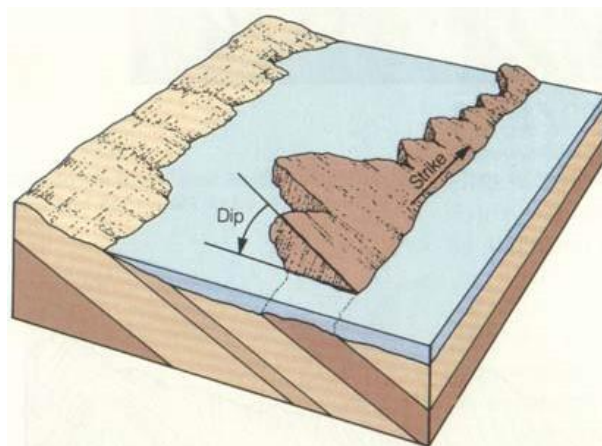
Batupasir mempunyai cakupan spektrum yang sangat luas sehingga tidak dapat diselesaikan dengan satu persamaan sederhana. Diperlukan *library* spektrum batupasir yang lebih variatif berdasarkan mineral penyusunnya. Hasil interpretasi akhir dari data multispektral pada misi 1 di lokasi 1 ditampilkan pada Gambar II-130.



Gambar II-130. Interpretasi akhir pada misi 1 di lokasi 1.

b). Orientasi Litologi

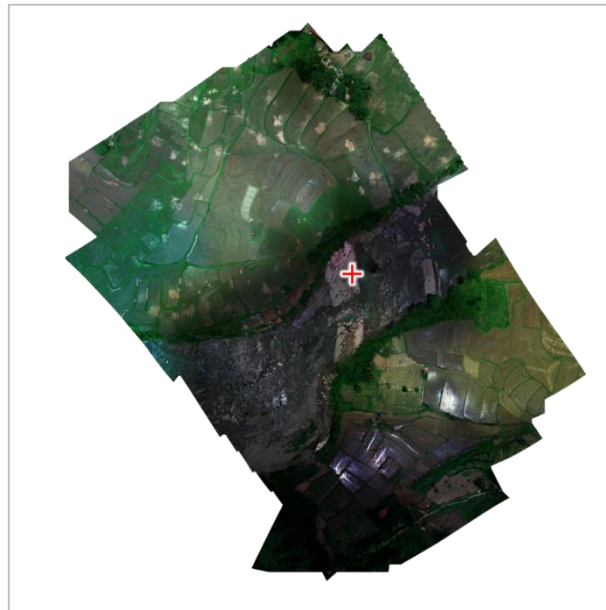
Orientasi litologi direpresentasikan dengan dua variabel sudut yaitu *strike* dan *dip*. *Strike* menyatakan perpotongan bidang yang diamati terhadap bidang datar, sedangkan *dip* menyatakan kemiringan dari bidang yang diamati. *Strike* dan *dip* dapat diilustrasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar II-131.



Sumber: MIT

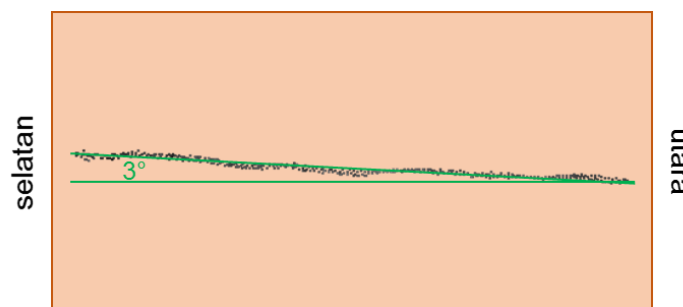
Gambar II-131. Ilustrasi orientasi litologi (*strike* dan *dip*).

Untuk menghitung *strike* dan *dip* dari peta yang dibangun dari citra multispektral, diperlukan informasi proyeksi kemiringan sebuah area terhadap bidang tegak arah utara-selatan dan bidang tegak arah barat-timur. Informasi ini dapat diperoleh dari *point cloud* yang dihasilkan pada tahap pra-pengolahan data. Sebagai contoh, pengukuran *strike* dan *dip* pada suatu titik yang ditunjukkan pada Gambar II-132.

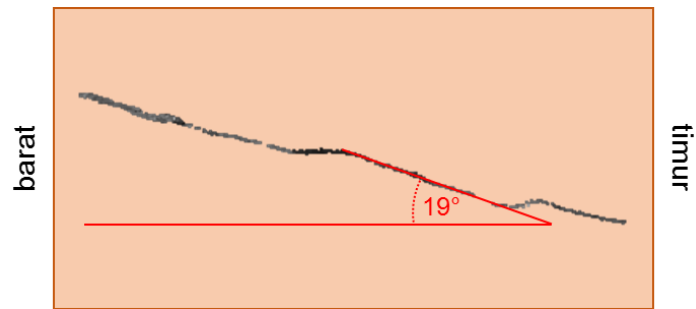


Gambar II-132. Titik perhitungan *strike* dan *dip*.

Dengan membuat irisan arah utara-selatan dan arah barat-timur untuk titik tersebut pada peta *point cloud*, maka akan diperoleh penampang proyeksi dari bidang yang diamati seperti yang terlihat pada Gambar II-133 dan Gambar II-134. Dari penampang-penampang tersebut kita dapat mengukur kemiringan proyeksi bidang.

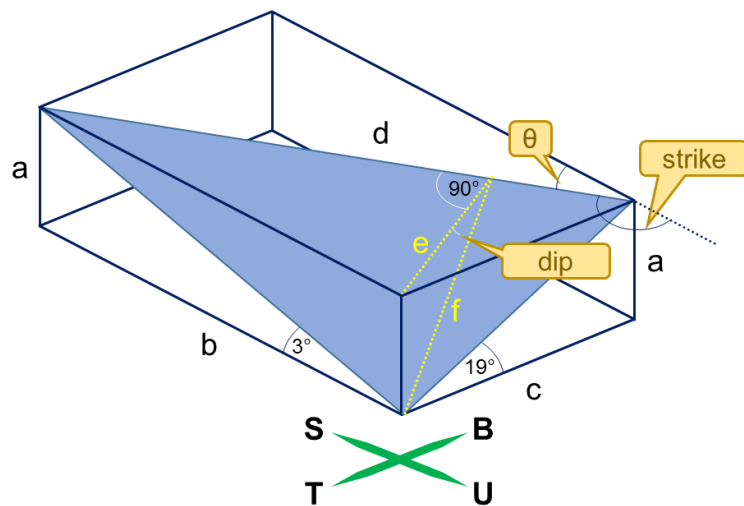


Gambar II-133. Proyeksi perlapisan batuan terhadap bidang tegak utara-selatan.



Gambar II-134. Proyeksi perlapisan batuan terhadap bidang tegak barat-timur.

Proyeksi di atas memberikan nilai sudut proyeksi 3° dan 19° . Perhitungan *strike* dan *dip* dilakukan menggunakan kombinasi persamaan Pythagoras dan trigonometri menggunakan kedua variabel sudut tersebut berdasarkan ilustrasi pada Gambar II-135.



Gambar II-135. Ilustrasi perumusan *strike* dan *dip* berdasarkan proyeksi perlapisan batuan terhadap bidang tegak.

1. *Strike*

Berdasarkan perumusan pada Gambar II-135, maka:

$$b = \frac{a}{\tan 3^\circ}$$

$$c = \frac{a}{\tan 19^\circ}$$

Dengan persamaan Pythagoras, dapat diperoleh panjang ruas d .

$$d^2 = b^2 + c^2$$

$$d^2 = \left(\frac{a}{\tan 3^\circ}\right)^2 + \left(\frac{a}{\tan 19^\circ}\right)^2$$

$$d = \sqrt{364,0898 + 8,434441} \cdot a$$

$$d = 19,30089a$$

Dari panjang ruas b dan d , sudut θ dapat dihitung.

$$\cos(\theta) = \frac{b}{d}$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{b}{d}\right)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{\frac{a}{\tan 3^\circ}}{19,30089a}\right)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{19,08114}{19,30089}\right) = \arccos 0,98861$$

$$\theta = 8,7^\circ$$

Sehingga untuk nilai *strike* diperoleh

$$strike = 180^\circ - \theta$$

$$strike = 171,3^\circ$$

2. Dip

Untuk mengetahui nilai *dip* maka perlu diketahui panjang e .

$$e = b \sin \theta$$

$$e = 19,08114a \sin 9^\circ$$

$$e = 2,98495a$$

$$\tan(dip) = \frac{a}{e} = \frac{1}{2,98495}$$

$$dip = \arctan(0,33501)$$

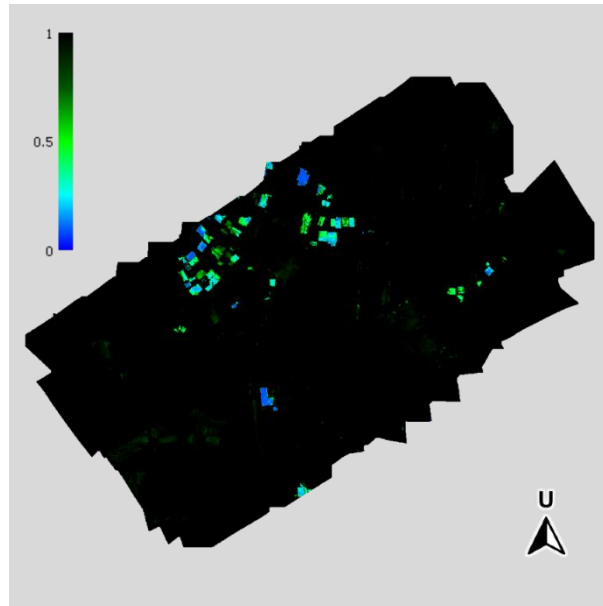
$$dip = 18,5^\circ$$

Jadi perlapisan pada titik tersebut mempunyai nilai *strike dip* $171,3^\circ$ $18,5^\circ$ arah timur laut (NE).

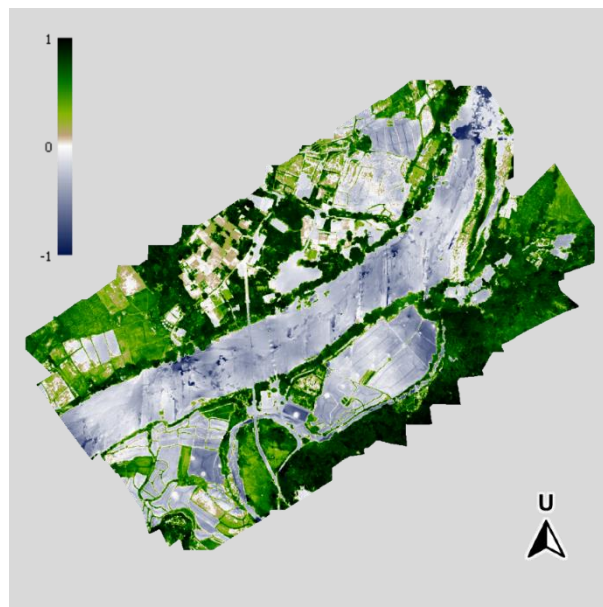
2). Lokasi 1 (misi 2)

Secara geologi, lokasi pengambilan data pada misi 2 mempunyai lingkungan yang sama dengan misi 1 sehingga proses pengolahan dan interpretasi data pada misi ini dilakukan dengan cara dan parameter yang sama dengan misi 1. Penerapan persamaan identifikasi dari bangunan

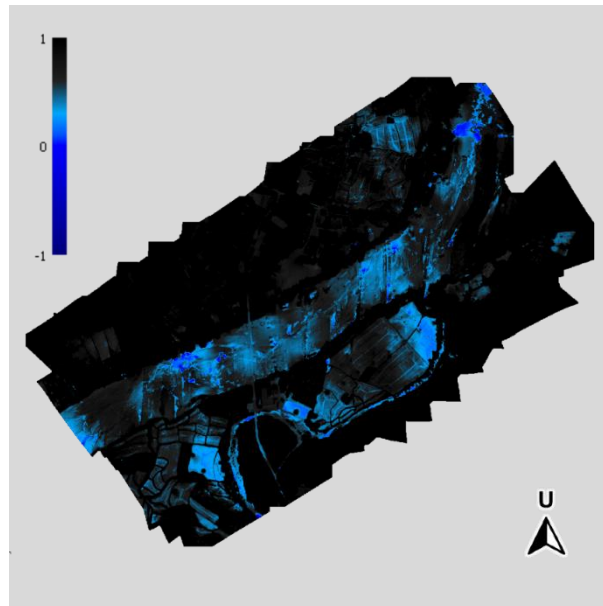
hingga batuan karbonat ditunjukkan pada Gambar II-136 hingga Gambar II-139.



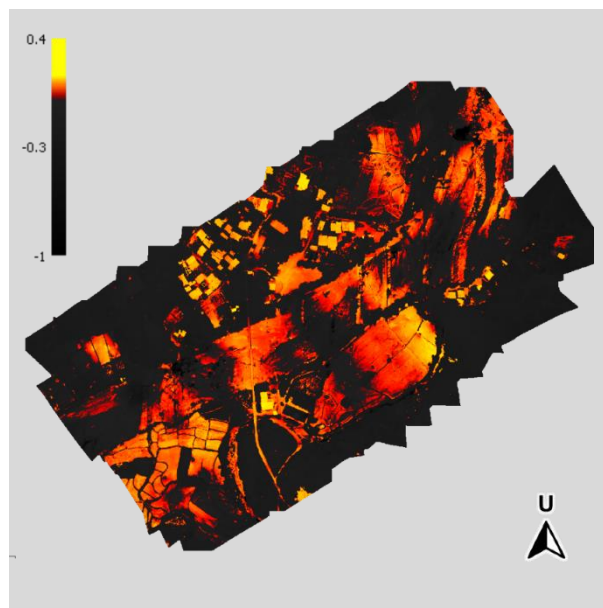
Gambar II-136. Identifikasi bangunan pada misi 2 di lokasi 1.



Gambar II-137. Identifikasi vegetasi pada misi 2 di lokasi 1.

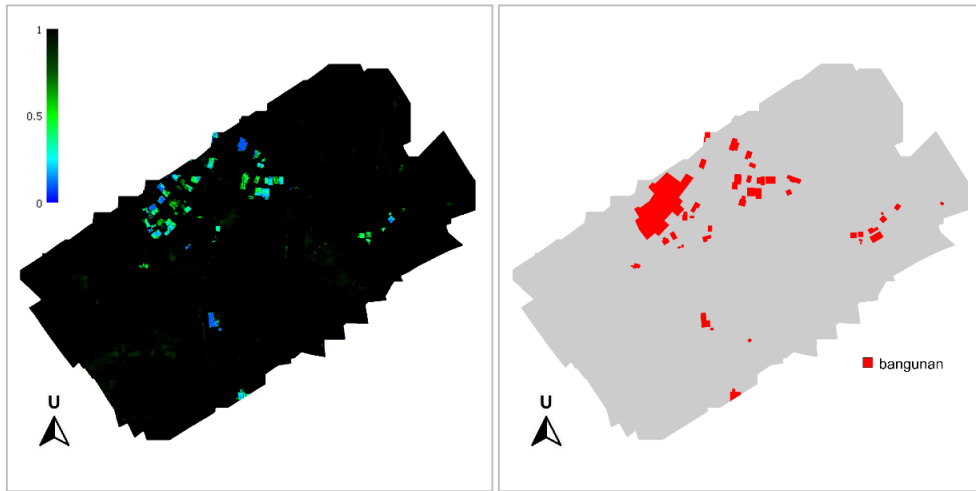


Gambar II-138. Identifikasi air pada misi 2 di lokasi 1.

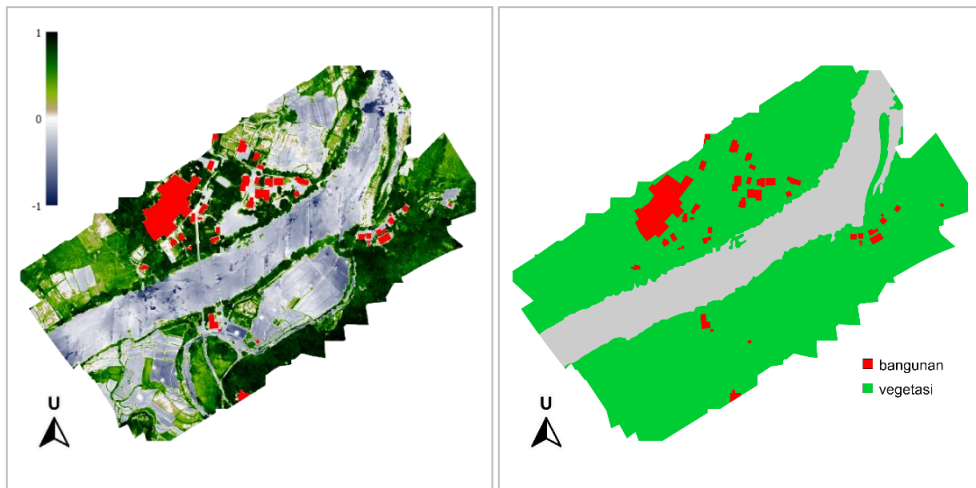


Gambar II-139. Identifikasi batuan karbonat pada misi 2 di lokasi 1.

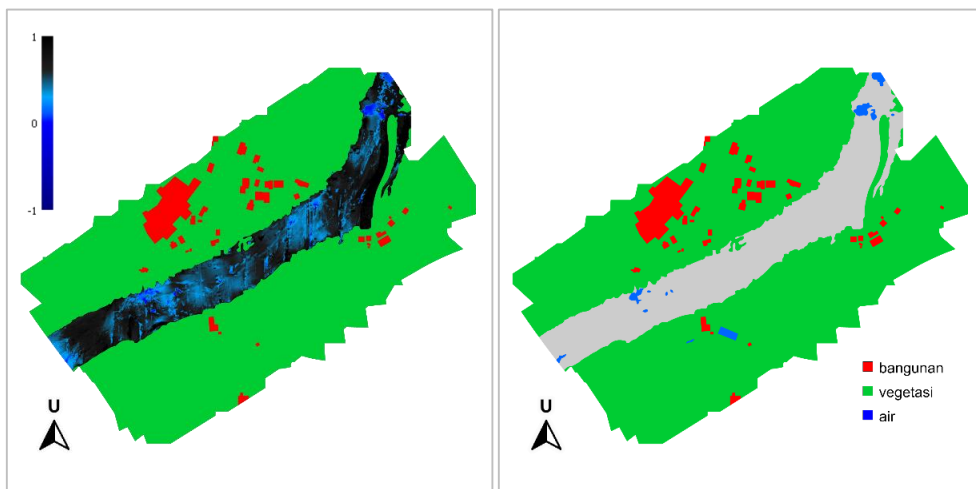
Gambar II-140 hingga Gambar II-143 menampilkan empat tahapan interpretasi data multispektral misi 2 di lokasi 1 dengan menggabungkan peta distribusi objek di atas. Hasil akhir dari interpretasi ini ditunjukkan pada Gambar II-144.



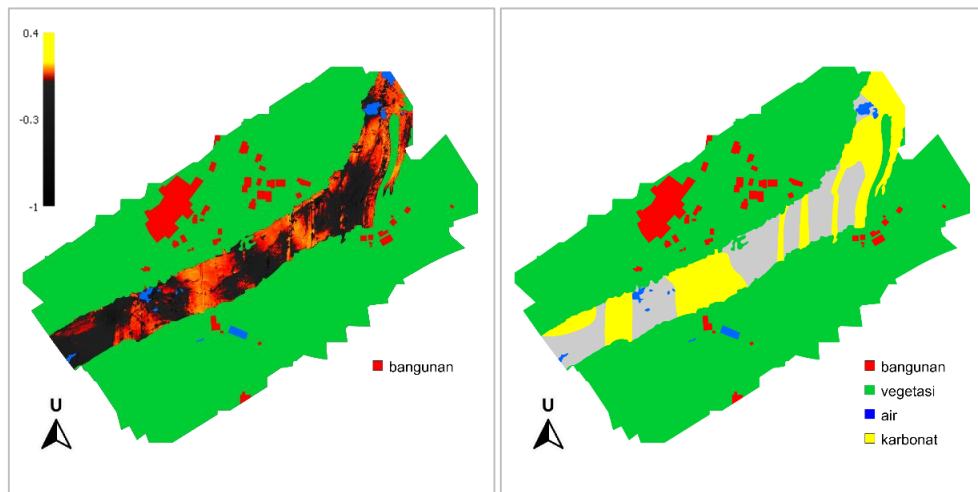
Gambar II-140. Interpretasi tahap 1 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi bangunan.



Gambar II-141. Interpretasi tahap 2 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi vegetasi.



Gambar II-142. Interpretasi tahap 3 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi air.



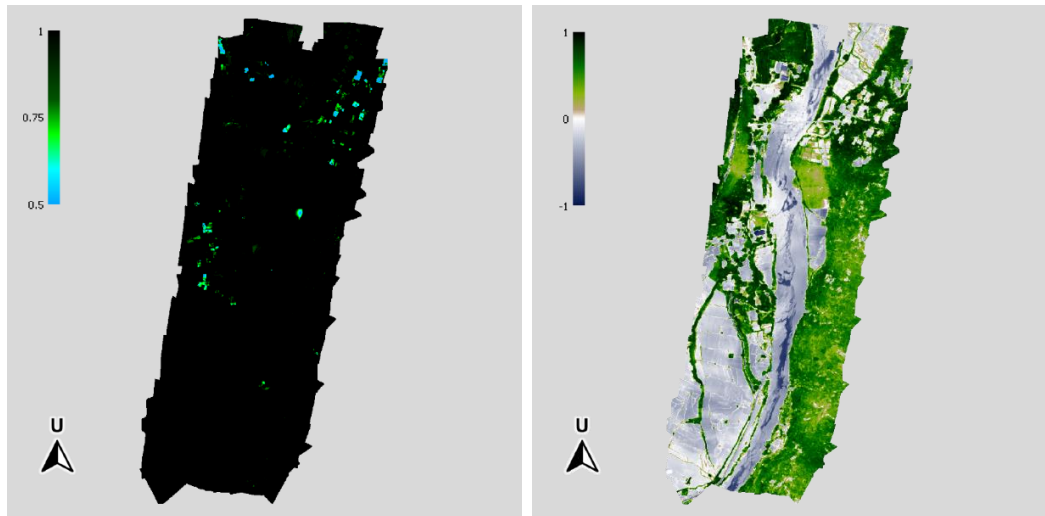
Gambar II-143. Interpretasi tahap 4 pada misi 2 di lokasi 1, distribusi batuan karbonat.



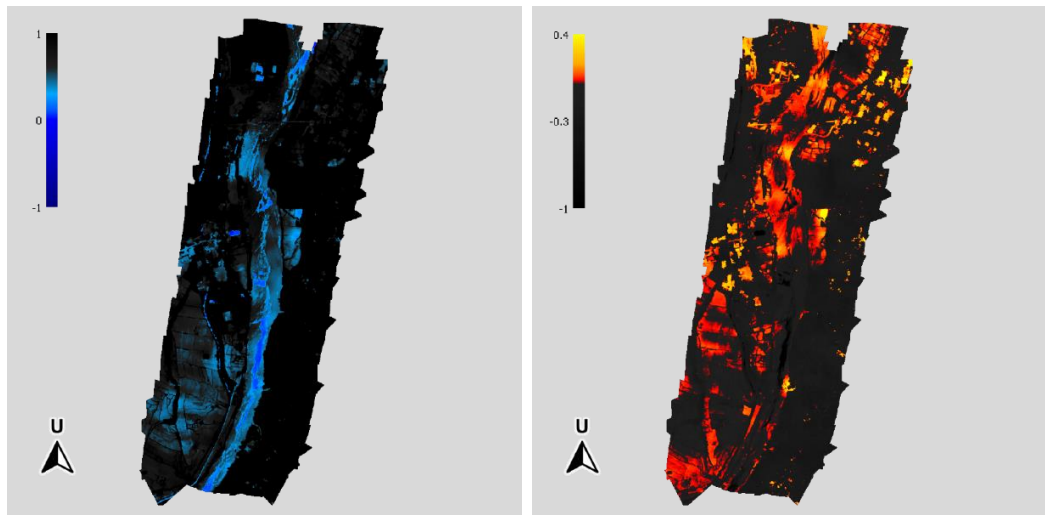
Gambar II-144. Interpretasi akhir pada misi 2 di lokasi 1.

3). Lokasi 2

Lokasi 2 masih mempunyai lingkungan yang sama dengan lokasi 1. Proses pengolahan dan interpretasi data dilakukan dengan parameter yang sama dengan lokasi 1. Penerapan persamaan identifikasi ditampilkan pada Gambar II-145 dan Gambar II-146.

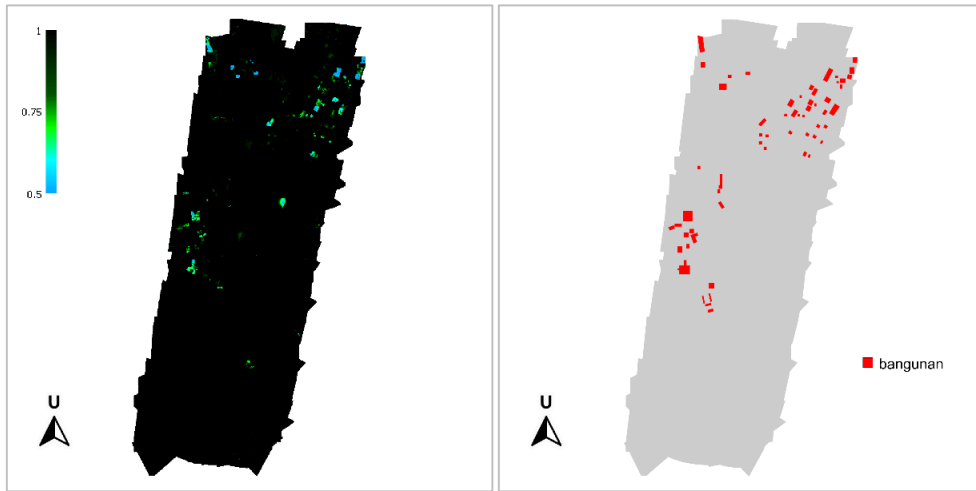


Gambar II-145. Identifikasi bangunan dan vegetasi di lokasi 2.

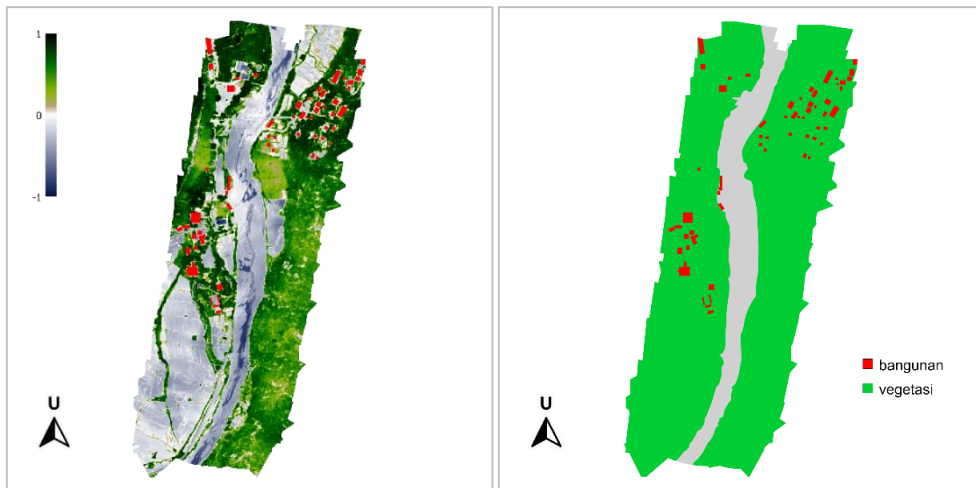


Gambar II-146. Identifikasi air dan batuan karbonat di lokasi 2.

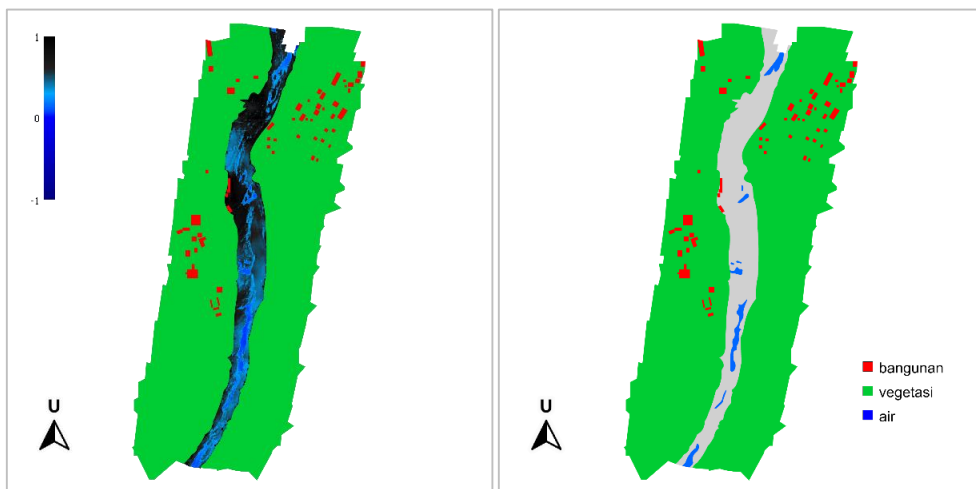
Tahapan interpretasi ditampilkan pada Gambar II-147 hingga Gambar II-150 dan hasil interpretasi akhir dari interpretasi ini ditunjukkan pada Gambar II-151.



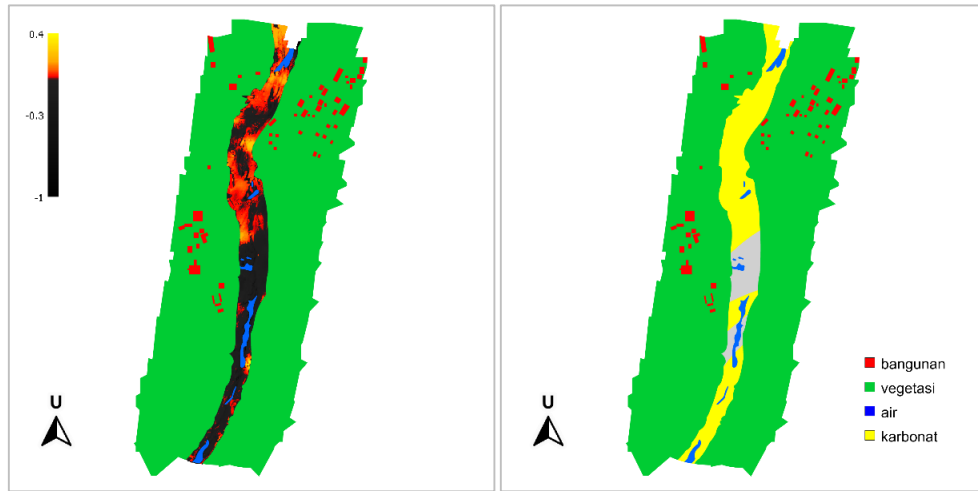
Gambar II-147. Interpretasi tahap 1 di lokasi 2, distribusi bangunan.



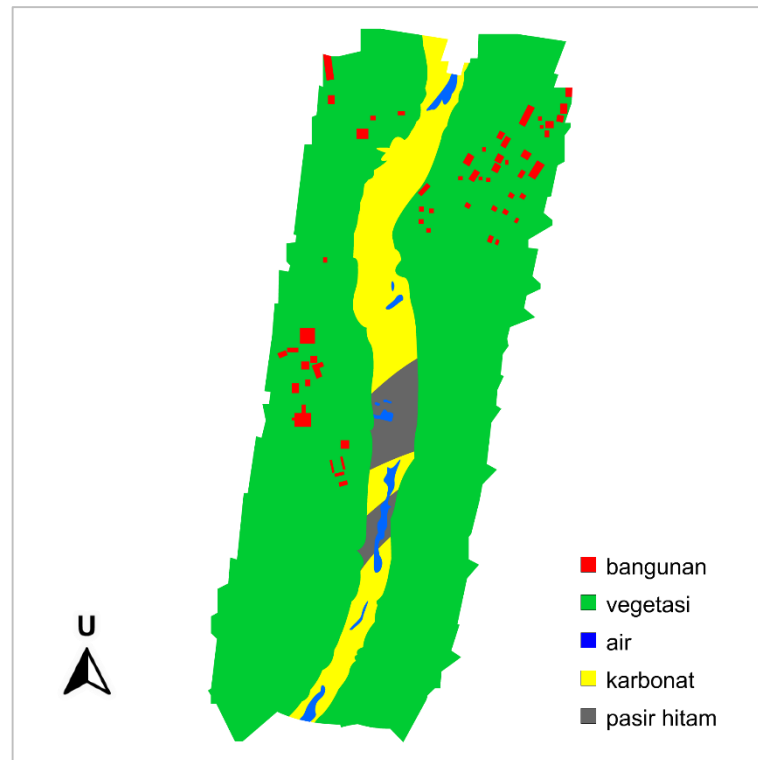
Gambar II-148. Interpretasi tahap 2 di lokasi 2, distribusi vegetasi.



Gambar II-149. Interpretasi tahap 3 di lokasi 2, distribusi air.



Gambar II-150. Interpretasi tahap 4 di lokasi 2, distribusi batuan karbonat.



Gambar II-151. Interpretasi akhir di lokasi 2.

Di lapangan tempat baik lokasi 1 maupun 2 tidak ditemukan *spot-spot* yang menandakan adanya alterasi batuan, sehingga diinterpretasikan tidak ditemukan rembesan minyak maupun gas.

E. Capaian Keluaran

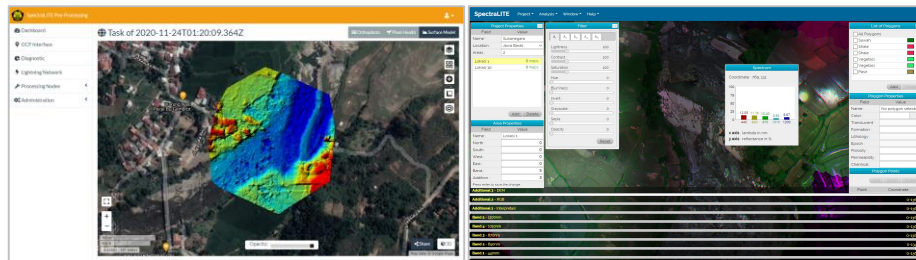
Capaian keluaran dari penelitian ini berupa:

- **Perangkat keras** perekam spektrum batuan berbasis *drone* dan kamera multispektral sebagaimana telah dijelaskan pada Bab C.1.a.



Gambar II-152. Capaian keluaran 1, perangkat keras.

- **Perangkat lunak** berupa aplikasi pra-pengolah data multispektral dan aplikasi pengolah dan interpreter data multispektral sebagaimana telah dijelaskan pada Bab C.1.b.



Gambar II-153. Capaian keluaran 2, perangkat lunak.

- **Makalah ilmiah** dalam tahap pengajuan pada jurnal LPMGB (Lembar Publikasi Minyak dan Gas Bumi) dengan judul: “*Pemanfaatan Metode Multispektral untuk Identifikasi Litologi pada Eksplorasi*”.

BAB III. PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari kegiatan penelitian ini antara lain:

1. Perangkat keras telah teruji dan siap digunakan untuk keperluan komersial, didukung oleh sumber daya manusia yang telah tersertifikasi. Perangkat keras dan perangkat lunak yang dibangun dapat menghasilkan keluaran berupa peta dengan resolusi yang tinggi (3,5 cm per piksel). Hasil perekaman dan analisis sampel batuan memberikan konsistensi pola yang dapat menjadi referensi atau acuan dalam identifikasi litologi.
2. Metode multispektral terbukti dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas kegiatan survei. Kecepatan proses perekaman data dapat mencapai 1 km² per jam.
3. Berdasarkan hasil perekaman spektrum batuan referensi di laboratorium, 35 dari 40 (87,5%) sampel batuan mempunyai konsistensi bentuk spektrum, sedangkan 5 sampel lainnya masih menunjukkan hasil yang inkonsisten. Inkonsistensi ini dapat diatasi dengan merinci pengelompokan batuan lebih detail (misal: memisahkan antara batupasir *tight* dengan batupasir *porous*). Penambahan spektrum sampel batuan yang lebih rinci akan terus dilakukan untuk menyempurnakan *library* spektrum pada perangkat lunak yang dibangun.

B. Saran

Berdasarkan hasil pengkajian pada penelitian ini maka tim pelaksana bermaksud memberikan saran kepada lembaga maupun peneliti yang mengembangkan selanjutnya, sebagai berikut:

1. Peneliti selanjutnya diharapkan menggunakan peralatan pendukung berupa spektrometer 1 dimensi maupun peralatan lain yang dapat

menghasilkan spektrum sebagai media pembanding atau titik ikat untuk memvalidasi data hasil perekaman.

2. Peneliti selanjutnya diharapkan merekam sampel batuan yang telah diuji menggunakan peralatan XRD atau sejenisnya sehingga komposisi penyusun batuan tersebut sudah diketahui.

LAMPIRAN

A. Kode Program Utama Pra-pengolahan Data

```
import cv2
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import os, glob
import math
%matplotlib inline

imagePath = os.path.join('.', 'data', '0000SET', '000')
imageName = os.path.join(imagePath, 'IMG_0000_4.tif')

# Read raw image DN values
# reads 16 bit tif - this will likely not work for 12 bit images
imageRaw=plt.imread(imageName)

# Display the image
fig, ax = plt.subplots(figsize=(8,6))
ax.imshow(imageRaw, cmap='gray')
plt.show()

import micasense.plotutils as plotutils

# Optional: pick a color map that fits your viewing style
# one of 'gray, viridis, plasma, inferno, magma, nipy_spectral'
plotutils.colormap('viridis');

fig = plotutils.plotwithcolorbar(imageRaw, title='Raw image values
with colorbar')

import micasense.metadata as metadata
exiftoolPath = None
if os.name == 'nt':
    exiftoolPath = 'C:/exiftool/exiftool.exe'
# get image metadata
meta = metadata.Metadata(imageName, exiftoolPath=exiftoolPath)
cameraMake = meta.get_item('EXIF:Make')
cameraModel = meta.get_item('EXIF:Model')
firmwareVersion = meta.get_item('EXIF:Software')
bandName = meta.get_item('XMP:BandName')
print('{0} {1} firmware version: {2}'.format(cameraMake,
                                             cameraModel,
                                             firmwareVersion))

print('Exposure Time: {0}
seconds'.format(meta.get_item('EXIF:ExposureTime')))
print('Imager Gain:
{0}'.format(meta.get_item('EXIF:ISOSpeed')/100.0))
print('Size: {0}x{1}
pixels'.format(meta.get_item('EXIF:ImageWidth'), meta.get_item('EXIF:I
mageHeight')))
print('Band Name: {0}'.format(bandName))
print('Center Wavelength: {0}
nm'.format(meta.get_item('XMP:CentralWavelength')))
print('Bandwidth: {0}
nm'.format(meta.get_item('XMP:WavelengthFWHM')))
print('Capture ID: {0}'.format(meta.get_item('XMP:CaptureId')))
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
print('Flight ID: {0}'.format(meta.get_item('XMP:FlightId')))
print('Focal Length: {0}'.format(meta.get_item('XMP:FocalLength')))
import micasense.utils as msutils
radianceImage, L, V, R = msutils.raw_image_to_radiance(meta,
imageRaw)
plotutils.plotwithcolorbar(V, 'Vignette Factor');
plotutils.plotwithcolorbar(R, 'Row Gradient Factor');
plotutils.plotwithcolorbar(V*R, 'Combined Corrections');
plotutils.plotwithcolorbar(L, 'Vignette and row gradient corrected raw
values');
plotutils.plotwithcolorbar(radianceImage, 'All factors applied and
scaled to radiance');
markedImg = radianceImage.copy()
ulx = 660 # upper left column (x coordinate) of panel area
uly = 490 # upper left row (y coordinate) of panel area
lrx = 840 # lower right column (x coordinate) of panel area
lry = 670 # lower right row (y coordinate) of panel area
cv2.rectangle(markedImg, (ulx,uly), (lrx,lry), (0,255,0),3)

# Our panel calibration by band (from MicaSense for our specific
panel)
panelCalibration = {
    "Blue": 0.67,
    "Green": 0.69,
    "Red": 0.68,
    "Red edge": 0.67,
    "NIR": 0.61
}

# Select panel region from radiance image
panelRegion = radianceImage[uly:lry, ulx:lrx]
plotutils.plotwithcolorbar(markedImg, 'Panel region in radiance
image')
meanRadiance = panelRegion.mean()
print('Mean Radiance in panel region: {:.13f}
W/m^2/nm/sr'.format(meanRadiance))
panelReflectance = panelCalibration[bandName]
radianceToReflectance = panelReflectance / meanRadiance
print('Radiance to reflectance conversion factor:
{:.13f}'.format(radianceToReflectance))

reflectanceImage = radianceImage * radianceToReflectance
plotutils.plotwithcolorbar(reflectanceImage, 'Converted Reflectane
Image');
panelRegionRaw = imageRaw[uly:lry, ulx:lrx]
panelRegionRefl = reflectanceImage[uly:lry, ulx:lrx]
panelRegionReflBlur = cv2.GaussianBlur(panelRegionRefl, (55,55),5)
plotutils.plotwithcolorbar(panelRegionReflBlur, 'Smoothed panel
region in reflectance image')
print('Min Reflectance in panel region:
{:.12f}'.format(panelRegionRefl.min()))
print('Max Reflectance in panel region:
{:.12f}'.format(panelRegionRefl.max()))
print('Mean Reflectance in panel region:
{:.12f}'.format(panelRegionRefl.mean()))
print('Standard deviation in region:
{:.14f}'.format(panelRegionRefl.std()))
# correct for lens distortions to make straight lines straight
undistortedReflectance = msutils.correct_lens_distortion(meta,
reflectanceImage)
plotutils.plotwithcolorbar(undistortedReflectance, 'Undistorted
reflectance image');
flightImageName = os.path.join(imagePath, 'IMG_0001_4.tif')
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
flightImageRaw=plt.imread(flightImageName)
plotutils.plotwithcolorbar(flightImageRaw, 'Raw Image')

flightRadianceImage, _, _, _ = msutils.raw_image_to_radiance(meta,
flightImageRaw)
flightReflectanceImage = flightRadianceImage * radianceToReflectance
flightUndistortedReflectance = msutils.correct_lens_distortion(meta,
flightReflectanceImage)
plotutils.plotwithcolorbar(flightUndistortedReflectance, 'Reflectance
converted and undistorted image');

import os
import micasense.image as image
%matplotlib inline

image_path =
os.path.join('.', 'data', '0000SET', '000', 'IMG_0000_1.tif')
img = image.Image(image_path)
img.plot_raw();
print('{0} {1} firmware version: {2}'.format(img.meta.camera_make(),
img.meta.camera_model(),

img.meta.firmware_version()))
print('Exposure Time: {0} seconds'.format(img.meta.exposure()))
print('Imager Gain: {0}'.format(img.meta.gain()))
print('Size: {0}x{1} pixels'.format(img.meta.image_size()[0],
img.meta.image_size()[1]))
print('Band Name: {0}'.format(img.meta.band_name()))
print('Center Wavelength: {0}
nm'.format(img.meta.center_wavelength()))
print('Bandwidth: {0} nm'.format(img.meta.bandwidth()))
print('Capture ID: {0}'.format(img.meta.capture_id()))
print('Flight ID: {0}'.format(img.meta.flight_id()))
import os, glob
import micasense.capture as capture

images_path = os.path.join('.', 'data', '0000SET', '000')
image_names = glob.glob(os.path.join(images_path, 'IMG_0000_*.tif'))
cap = capture.Capture.from_filelist(image_names)
cap.plot_radiance();
import matplotlib.pyplot as plt

print(cap.band_names())
fig = plt.figure(figsize=(14,6))
plt.subplot(1,2,1)
plt.scatter(cap.center_wavelengths(), cap.dls_irradiance())
plt.ylabel('Irradiance $(W/m^2/nm)$')
plt.xlabel('Center Wavelength (nm)')
plt.subplot(1,2,2)
plt.scatter(cap.band_names(), [img.meta.exposure() for img in
cap.images])
plt.xlabel('Band Names')
plt.ylim([0,2.5e-3])
plt.ylabel('Exposure Time (s)')
plt.show()
import os, glob
import micasense.image as image
import micasense.panel as panel

image_path =
os.path.join('.', 'data', '0000SET', '000', 'IMG_0000_1.tif')
img = image.Image(image_path)
```


Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan

```
# panelCorners - if we dont have zbar installed to scan the QR codes,
detect panel manually and
panelCorners = [[ [809,613], [648,615], [646,454], [808,452]],
                 [ [772,623], [613,625], [610,464], [770,462]],
                 [ [771,651], [611,653], [610,492], [770,490]],
                 [ [829,658], [668,659], [668,496], [829,496]],
                 [ [807,632], [648,634], [645,473], [805,471]]]

pnl = panel.Panel(img,panelCorners = panelCorners[0])
print("Panel found: {}".format(pnl.panel_detected()))
print("Panel serial: {}".format(pnl.serial))
print("QR Code Corners:\n{}".format(pnl.qr_corners()))
mean, std, count, saturated_count = pnl.raw()
print("Panel mean raw pixel value: {}".format(mean))
print("Panel raw pixel standard deviation: {}".format(std))
print("Panel region pixel count: {}".format(count))
print("Panel region saturated pixel count: {}".format(count))

pnl.plot();
from ipywidgets import FloatProgress
from IPython.display import display
f = FloatProgress(min=0, max=1)
display(f)
def update_f(val):
    f.value=val

import micasense.imageset as imageset
import os
images_dir = os.path.join('.', 'data', '0000SET')

imgset = imageset.ImageSet.from_directory(images_dir,
progress_callback=update_f)

for cap in imgset.captures:
    print ("Opened Capture {} with bands {}".format(cap.uuid, [str(band)
    for band in cap.band_names()])))
```

B. Kode Program Pengolah dan Interpreter Data

1. Kode program Antarmuka

```
<?php
include_once "php/_con.php";
?>
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
<title>Lemigas Multispectral</title>
<link href="images/favicon.ico" rel="shortcut icon">
<link href="images/favicon.ico" rel="icon">
<meta charset="utf-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/jquery-ui.css">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/bootstrap.css">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/yk-style.css">
</head>
<body>
<nav class="navbar navbar-expand-sm">
<a class="navbar-brand" href="#">SpectraLITE</a>
<button class="navbar-toggler" type="button" data-toggle="collapse"
data-target="#main-nav">
<span class="navbar-toggler-icon"></span>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
</button>
<div class="collapse navbar-collapse" id="main-nav">
<ul class="navbar-nav mr-auto">
<li class="nav-item dropdown">
<a class="nav-link dropdown-toggle" href="#" data-
toggle="dropdown">Project</a>
<ul class="dropdown-menu">
<li><a class="dropdown-item" data-link="new-project">Create
new</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="open-project">Open</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="close-project">Close</a></li>
<li class="dropdown-divider"></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="delete-
project">Delete</a></li>
<li class="dropdown-divider"></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="export-map">Export
map</a></li>
</ul>
</li>
<li class="nav-item dropdown">
<a class="nav-link dropdown-toggle" href="#" data-
toggle="dropdown">Analysis</a>
<ul class="dropdown-menu">
<li><a class="dropdown-item" data-link="add-area">Add new
area</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="add-map">Add new map</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="add-polygon">Add new
polygon</a></li>
<li class="dropdown-divider"></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="delete-area">Delete
area</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="delete-map">Delete
map</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="delete-polygon">Delete
polygon</a></li>
<li class="dropdown-divider"></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="generate-rgb">Generate
RGB</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="generate-ndvi">Generate
NDVI</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="auto-
interpret">Autointerpret</a></li>
<li class="dropdown-divider"></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="active-object">Active
object</a></li>
</ul>
</li>
<li class="nav-item dropdown">
<a class="nav-link dropdown-toggle" href="#" data-
toggle="dropdown">Window</a>
<ul class="dropdown-menu">
<li><a class="dropdown-item" data-
link="properties">Properties</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="filter">Filter</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="analysis">Analysis</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="map-cropper">Map
cropper</a></li>
</ul>
</li>
<li class="nav-item dropdown">
<a class="nav-link dropdown-toggle" href="#" data-
toggle="dropdown">Help</a>
<ul class="dropdown-menu">
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<li><a class="dropdown-item" data-link="user-manual">User
Manual</a></li>
<li><a class="dropdown-item" data-link="about">About</a></li>
</ul>
</li>
</ul>
</div>
</nav>
<div id="board">
<div class="k-band"></div>
<div class="k-band"></div>
<div class="k-band"></div>
<div class="k-band"></div>
<div class="k-band"></div>
<div class="k-add"></div>
<div class="k-add"></div>
<div class="k-add"></div>
<div class="k-add"></div>
<div class="k-add"></div>
<div class="k-add"></div>
<div class="k-add"></div>
<div id="leaf"></div>
<div id="wrap-svg">
<svg></svg>
</div>
</div>
<div id="focus"></div>
<div id="panel-properties" class="k-window k-panel k-width2">
<div class="k-title">
Project Properties
<a href="#" role="button" id="mize-properties" data-toggle="dropdown"
aria-haspopup="true" aria-expanded="false">...</a>
<div class="dropdown-menu dropdown-menu-right" aria-labelledby="mize-
properties">
<a class="dropdown-item k-minimizer">Minimize</a>
<a class="dropdown-item k-maximizer">Maximize</a>
<a class="dropdown-item k-hider">Hide</a>
<a class="dropdown-item k-mover" data-dock="left" data-
origin="5">Move to origin</a>
</div>
</div>
<table id="prop-project" class="table">
<thead>
<tr>
<th scope="col">Field</th>
<th scope="col">Value</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Name :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Location :</th>
<td>
<select>
<option value="0"></option>
<?php
$sch_province = mysqli_query($az_conn, "SELECT * FROM elba_location
ORDER BY id ASC");
while($res_province = mysqli_fetch_array($sch_province,
MYSQLI_ASSOC))
{
?>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<option value="<?php echo $res_province['id']; ?>"><?php echo
$res_province['name']; ?></option>
<?php
}
?>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Areas :</th>
<td><input type="text" readonly="readonly"></td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div id="list-area" class="k-list">
</div>
<div id="tool-area" class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn">Add</button>
<button type="button" class="btn">Delete</button>
</div>
<div class="k-subtitle">Area Properties</div>
<table id="prop-area" class="table">
<thead>
<tr>
<th scope="col">Field</th>
<th scope="col">Value</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Name :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">North :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">South :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">West :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">East :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Band :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"
readonly="readonly"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Addition :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"
readonly="readonly"></td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="k-hint">Press enter to save the change.</div>
</div>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<div id="panel-filter" class="k-window k-panel k-width2">
<div class="k-title">
Filter
<a href="#" role="button" id="mize-filter" data-toggle="dropdown"
aria-haspopup="true" aria-expanded="false">...</a>
<div class="dropdown-menu dropdown-menu-right" aria-labelledby="mize-
filter">
<a class="dropdown-item k-minimizer">Minimize</a>
<a class="dropdown-item k-maximizer">Maximize</a>
<a class="dropdown-item k-hider">Hide</a>
<a class="dropdown-item k-mover" data-dock="left" data-
origin="230">Move to origin</a>
</div>
</div>
<div id="tabs-filter" class="k-tabs">
<ul>
<li><a href="#tab-lambda0">&lambda;<sub>1</sub></a></li>
<li><a href="#tab-lambda1">&lambda;<sub>2</sub></a></li>
<li><a href="#tab-lambda2">&lambda;<sub>3</sub></a></li>
<li><a href="#tab-lambda3">&lambda;<sub>4</sub></a></li>
<li><a href="#tab-lambda4">&lambda;<sub>5</sub></a></li>
</ul>
<div id="tab-lambda0" data-link="0">
<div class="k-label">Lightness :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="brightness"></div>
<div class="k-label">Contrast :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="contrast"></div>
<div class="k-label">Saturation :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="saturate"></div>
<div class="k-label">Hue :<input type="number" value="0" min="0"
max="360"></div>
<div class="k-slider k-slider2" data-filter="hue"></div>
<div class="k-label">Blurriness :<input type="number" value="0"
min="0" max="5"></div>
<div class="k-slider k-slider3" data-filter="blur"></div>
<div class="k-label">Invert :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="invert"></div>
<div class="k-label">Grayscale :<input type="number" value="0"
min="0" max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="grayscale"></div>
<div class="k-label">Sepia :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="sepia"></div>
<div class="k-label">Opacity :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="opacity"></div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn k-reset">Reset</button>
</div>
</div>
<div id="tab-lambda1" data-link="1">
<div class="k-label">Lightness :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="brightness"></div>
<div class="k-label">Contrast :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="contrast"></div>
<div class="k-label">Saturation :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="saturate"></div>
<div class="k-label">Hue :<input type="number" value="0" min="0"
max="360"></div>
<div class="k-slider k-slider2" data-filter="hue"></div>
<div class="k-label">Blurriness :<input type="number" value="0"
min="0" max="5"></div>
<div class="k-slider k-slider3" data-filter="blur"></div>
<div class="k-label">Invert :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="invert"></div>
<div class="k-label">Grayscale :<input type="number" value="0"
min="0" max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="grayscale"></div>
<div class="k-label">Sepia :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="sepia"></div>
<div class="k-label">Opacity :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="opacity"></div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn k-reset">Reset</button>
</div>
</div>
<div id="tab-lambda2" data-link="2">
<div class="k-label">Lightness :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="brightness"></div>
<div class="k-label">Contrast :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="contrast"></div>
<div class="k-label">Saturation :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="saturate"></div>
<div class="k-label">Hue :<input type="number" value="0" min="0"
max="360"></div>
<div class="k-slider k-slider2" data-filter="hue"></div>
<div class="k-label">Blurriness :<input type="number" value="0"
min="0" max="5"></div>
<div class="k-slider k-slider3" data-filter="blur"></div>
<div class="k-label">Invert :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="invert"></div>
<div class="k-label">Grayscale :<input type="number" value="0"
min="0" max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="grayscale"></div>
<div class="k-label">Sepia :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="sepia"></div>
<div class="k-label">Opacity :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="opacity"></div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn k-reset">Reset</button>
</div>
</div>
<div id="tab-lambda3" data-link="3">
<div class="k-label">Lightness :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="brightness"></div>
<div class="k-label">Contrast :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="contrast"></div>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<div class="k-label">Saturation :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="saturate"></div>
<div class="k-label">Hue :<input type="number" value="0" min="0"
max="360"></div>
<div class="k-slider k-slider2" data-filter="hue"></div>
<div class="k-label">Blurriness :<input type="number" value="0"
min="0" max="5"></div>
<div class="k-slider k-slider3" data-filter="blur"></div>
<div class="k-label">Invert :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="invert"></div>
<div class="k-label">Grayscale :<input type="number" value="0"
min="0" max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="grayscale"></div>
<div class="k-label">Sepia :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="sepia"></div>
<div class="k-label">Opacity :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="opacity"></div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn k-reset">Reset</button>
</div>
</div>
<div id="tab-lambda4" data-link="4">
<div class="k-label">Lightness :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="brightness"></div>
<div class="k-label">Contrast :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="contrast"></div>
<div class="k-label">Saturation :<input type="number" value="100"
min="0" max="400"></div>
<div class="k-slider k-slider1" data-filter="saturate"></div>
<div class="k-label">Hue :<input type="number" value="0" min="0"
max="360"></div>
<div class="k-slider k-slider2" data-filter="hue-rotate"></div>
<div class="k-label">Blurriness :<input type="number" value="0"
min="0" max="5"></div>
<div class="k-slider k-slider3" data-filter="blur"></div>
<div class="k-label">Invert :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="invert"></div>
<div class="k-label">Grayscale :<input type="number" value="0"
min="0" max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="grayscale"></div>
<div class="k-label">Sepia :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="sepia"></div>
<div class="k-label">Opacity :<input type="number" value="0" min="0"
max="100"></div>
<div class="k-slider k-slider4" data-filter="opacity"></div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn k-reset">Reset</button>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
<div id="panel-analysis" class="k-window k-panel k-width2">
<div class="k-title">
List of Polygons
```


*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<a href="#" role="button" id="mize-analysis" data-toggle="dropdown"
aria-haspopup="true" aria-expanded="false">...</a>
<div class="dropdown-menu dropdown-menu-right" aria-labelledby="mize-
analysis">
<a class="dropdown-item k-minimizer">Minimize</a>
<a class="dropdown-item k-maximizer">Maximize</a>
<a class="dropdown-item k-hider">Hide</a>
<a class="dropdown-item k-mover" data-dock="right" data-
origin="5">Move to origin</a>
</div>
</div>
<div id="list-polygon" class="k-list">
</div>
<div id="tool-polygon" class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn">Add</button>
<button type="button" class="btn">Delete</button>
</div>
<div class="k-subtitle">Polygon Properties</div>
<div class="wrap-scroll-150">
<table id="prop-polygon" class="table">
<thead>
<tr>
<th scope="col">Field</th>
<th scope="col">Value</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Name :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr class="k-color">
<th scope="row">Color :</th>
<td><input type="text"><a></a></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Translucent :</th>
<td>
<select>
<option value="0"></option>
<option value="1">Yes</option>
<option value="2">No</option>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Formation :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Lithology :</th>
<td>
<select>
<option value="0"></option>
<option value="1000">Unidentified</option>
<?php
$sch_lithology = mysqli_query($az_conn, "SELECT * FROM elba_lithology
ORDER BY name ASC");
while($res_lithology = mysqli_fetch_array($sch_lithology,
MYSQLI_ASSOC))
{
?>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```

<option value="<?php echo $res_lithology['id']; ?>"><?php echo
$res_lithology['name']; ?></option>
<?php
}
?>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Epoch :</th>
<td>
<select>
<option value="0"></option>
<option value="1000">Unidentified</option>
<?php
$sch_epoch = mysqli_query($az_conn, "SELECT * FROM elba_epoch ORDER
BY id ASC");
while($res_epoch = mysqli_fetch_array($sch_epoch, MYSQLI_ASSOC))
{
?>
<option value="<?php echo $res_epoch['id']; ?>"><?php echo
$res_epoch['name']; ?></option>
<?php
}
?>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Porosity :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Permeability :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Chemical :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
</tbody>
</table>
</div>
<div class="k-subtitle">Polygon Points</div>
<div id="tool-coordinate" class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn">Add</button>
<button type="button" class="btn">Finish</button>
<button type="button" class="btn">Delete</button>
</div>
<div class="k-autowrap-200">
<table id="prop-coordinate" class="table">
<thead>
<tr>
<th scope="col">Point</th>
<th scope="col">Coordinate</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
</tbody>
</table>
</div>
</div>
<div id="context-spectrum" class="k-window k-context k-width2">

```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<div class="k-title">Spectrum</div>
<div>
<div class="k-info">Coordinate : <span></span></div>
<div class="k-chart">
<div class="k-bar">
<div></div>
<div></div>
<div></div>
<div></div>
<div></div>
</div>
<div class="k-value">
<div></div>
<div></div>
<div></div>
<div></div>
<div></div>
</div>
<div class="k-axis">
<div>0</div>
<div>25</div>
<div>50</div>
<div>75</div>
<div>100</div>
</div>
<div class="k-label">
<div>440</div>
<div>650</div>
<div>870</div>
<div>1010</div>
<div>1200</div>
</div>
</div>
<div class="k-info">
<b>x axis</b> : lambda in nm.<br />
<b>y axis</b> : reflectance in %.
</div>
</div>
<div id="panel-map-cropper">
<div>
<div class="k-label"><b>Additional 5</b> - <span></span><input
type="text" value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Additional 4</b> - <span></span><input
type="text" value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Additional 3</b> - <span></span><input
type="text" value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Additional 2</b> - <span></span><input
type="text" value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Additional 1</b> - <span></span><input
type="text" value="0-1366"></div>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Band 5</b> - 1200nm<input type="text"
value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Band 4</b> - 1010nm<input type="text"
value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Band 3</b> - 870nm<input type="text"
value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Band 2</b> - 650nm<input type="text"
value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div>
<div class="k-label"><b>Band 1</b> - 440nm<input type="text"
value="0-1366"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
</div>
<div id="dialog-color" class="k-window k-dialog k-width2">
<div class="k-title">Color Picker<a>x</a></div>
<div class="k-wrap-510">
<div class="k-label">Red:<input type="text" value="0"></div>
<div class="k-slider"></div>
<div class="k-label">Green:<input type="text" value="0"></div>
<div class="k-slider"></div>
<div class="k-label">Blue:<input type="text" value="0"></div>
<div class="k-slider"></div>
</div>
<div id="color-preview">
<div></div>
<input type="text" class="k-sans" value="#FFFFFF">
</div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">OK</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-new-project" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">New Project<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Name :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Location :</th>
<td>
<select>
<option value="0"></option>
<?php
$sch_province = mysqli_query($az_conn, "SELECT * FROM elba_location
ORDER BY id ASC");
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
while($res_province = mysqli_fetch_array($sch_province,
MYSQLI_ASSOC))
{
?>
<option value="<?php echo $res_province['id']; ?>"><?php echo
$res_province['name']; ?></option>
<?php
}
?>
</select>
</td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Create</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-open-project" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Open Project<a>x</a></div>
<div id="list-open-project" class="k-list"></div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Open</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-auto-interpret" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Autointerpret<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Tolerance :</th>
<td>
<select>
<option value="8">3%</option>
<option value="16">6%</option>
<option value="24">9%</option>
<option value="32">12%</option>
<option value="40">15%</option>
<option value="48">18%</option>
<option value="56">21%</option>
<option value="64">24%</option>
<option value="72">27%</option>
<option value="80">30%</option>
<option value="88">33%</option>
<option value="96">36%</option>
</select>
</td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Run</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-close-project" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Close Project<a>x</a></div>
<div class="k-wrap-1010">
Are you sure you want to close <b></b> project?
</div>
<div class="btn-group" role="group">
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Close</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-delete-project" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Delete Project<a>x</a></div>
<div id="list-delete-project" class="k-list"></div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Delete</button>
</div>
</div>
</div>
<div id="dialog-confirm-project" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Delete Project<a>x</a></div>
<div class="k-wrap-1010">
Are you sure you want to delete <b></b> project?<br /><br />
This action will also delete all areas, maps and polygons in this
project and you will not be able to undo this action after click
'Delete' button below.
</div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Delete</button>
</div>
</div>
</div>
<div id="dialog-export-map" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Export Map<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Filename :</th>
<td><input type="text" value=""></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Area :</th>
<td>
<select>
<option value="0">Band 1</option>
<option value="1">Band 2</option>
<option value="2">Band 3</option>
<option value="3">Band 4</option>
<option value="4">Band 5</option>
<option value="5">Additional 1</option>
<option value="6">Additional 2</option>
<option value="7">Additional 3</option>
<option value="8">Additional 4</option>
<option value="9">Additional 5</option>
</select>
</td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Export</button>
</div>
</div>
</div>
<div id="dialog-add-area" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Add New Area<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Name :</th>
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">North :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">South :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">West :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">East :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Save</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-add-map" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Add New Map<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Name :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">File :</th>
<td>
<div class="custom-file">
<input type="file" class="custom-file-input" id="mapFile">
<label class="custom-file-label" for="mapFile">Choose map
file...</label>
</div>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Type :</th>
<td>
<select>
<option value="0">Band 1</option>
<option value="1">Band 2</option>
<option value="2">Band 3</option>
<option value="3">Band 4</option>
<option value="4">Band 5</option>
<option value="5">Additional 1</option>
<option value="6">Additional 2</option>
<option value="7">Additional 3</option>
<option value="8">Additional 4</option>
<option value="9">Additional 5</option>
</select>
</td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
```


*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Save</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-add-polygon" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Add New Polygon<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Name :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr class="k-color">
<th scope="row">Color :</th>
<td><input type="text"><a></a></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Translucent :</th>
<td>
<select>
<option value="0">No</option>
<option value="1">Yes</option>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Formation :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Lithology :</th>
<td>
<select>
<option value="0">Unidentified yet</option>
<?php
$sch_lithology = mysqli_query($az_conn, "SELECT * FROM elba_lithology
ORDER BY name ASC");
while($res_lithology = mysqli_fetch_array($sch_lithology,
MYSQLI_ASSOC))
{
?>
<option value="<?php echo $res_lithology['id']; ?>"><?php echo
$res_lithology['name']; ?></option>
<?php
}
?>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Epoch :</th>
<td>
<select>
<option value="0">Unidentified yet</option>
<?php
$sch_epoch = mysqli_query($az_conn, "SELECT * FROM elba_epoch ORDER
BY id ASC");
while($res_epoch = mysqli_fetch_array($sch_epoch, MYSQLI_ASSOC))
{
?>
<option value="<?php echo $res_epoch['id']; ?>"><?php echo
$res_epoch['name']; ?></option>
<?php
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```

}
?>
</select>
</td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Porosity :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Permeability :</th>
<td><input type="text" class="k-sans k-right"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Chemical :</th>
<td><input type="text"></td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Save</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-delete-area" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Delete Area<a>x</a></div>
<div class="k-wrap-1010">
Are you sure you want to delete <b></b> area. This action will also
delete all maps and polygons related to this area and you will not be
able to undo this action after click 'Delete' button below.
</div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Delete</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-delete-map" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Delete Map<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Map :</th>
<td>
<select>
<option value="0">Band 1</option>
<option value="1">Band 2</option>
<option value="2">Band 3</option>
<option value="3">Band 4</option>
<option value="4">Band 5</option>
<option value="5">Additional 1</option>
<option value="6">Additional 2</option>
<option value="7">Additional 3</option>
<option value="8">Additional 4</option>
<option value="9">Additional 5</option>
</select>
</td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Delete</button>
</div>

```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
</div>
<div id="dialog-delete-polygon" class="k-window k-dialog k-width4">
<div class="k-title">Delete Polygon<a>x</a></div>
<div class="k-wrap-1010">
Are you sure you want to delete <b></b> polygon? You can't undo this
action after click 'Delete' button.
</div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Cancel</button>
<button type="button" class="btn cmd-forward">Delete</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-active-object" class="k-window k-dialog k-width6">
<div class="k-title">Active Cookies<a>x</a></div>
<table class="table table-borderless table-nohead">
<tbody>
<tr>
<th scope="row">Project :</th>
<td><input type="text" readonly="readonly"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Area :</th>
<td><input type="text" readonly="readonly"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Polygon :</th>
<td><input type="text" readonly="readonly"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">Point :</th>
<td><input type="text" readonly="readonly"></td>
</tr>
<tr>
<th scope="row">All :</th>
<td><textarea readonly="readonly"></textarea></td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Close</button>
</div>
</div>
<div id="dialog-user-manual" class="k-window k-dialog k-width8">
<div class="k-title">User Manual<a>x</a></div>
<div>
<div id="manual-menu">
<span>Lemigas<br>Spectral</span>
<?php
$sch_manual = mysqli_query($az_conn, "SELECT id, title FROM
elba_manual ORDER BY id ASC");
while($res_manual = mysqli_fetch_array($sch_manual, MYSQLI_ASSOC))
{
?>
<a data-link="<?php echo $res_manual["id"]; ?>"><?php echo
$res_manual['title']; ?></a>
<?php
}
?>
</div>
<div id="manual-content"></div>
</div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Close</button>
```

```
</div>
</div>
<div id="dialog-about" class="k-window k-dialog k-width5">
<div class="k-title">About Lemigas Spectral<a>x</a></div>
<div>ABOUT</div>
<div class="btn-group" role="group">
<button type="button" class="btn cmd-cancel">Close</button>
</div>
</div>
<div id="mouse">
<span>x: <span></span></span>
<span>y: <span></span></span>
</div>
<script type="text/javascript" src="js/jquery-3.5.1.js"></script>
<script type="text/javascript" src="js/jquery-ui.js"></script>
<script type="text/javascript" src="js/bootstrap.bundle.js"></script>
<script type="text/javascript" src="js/yk-query.js"></script>
<script type="text/javascript" src="js/yk-function.js"></script>
</body>
</html>
```

2. Kode javascript pengolah dan interpreter data

```
function slc_polygon(a)
{
$("polygon").css("stroke", "#000000");
$("polygon[data-bind='" + a + "']").css("stroke", "#FF0000");
$("circle").attr("visibility", "hidden");
$("circle[data-bind='" + a + "']").attr("visibility", "visible");
$.ajax(
{
data      : 'act=slc_poly&cod=' + a,
success   : function(data)
{
data = data.split('^');
$("#rock-name>input").val(data[0]);
$("#rock-formation>input").val(data[1]);
$("#rock-lithology>select").val(data[2]);
$("#rock-epoch>select").val(data[3]);
$("#rock-permeability>input").val(data[4]);
$("#rock-porosity>input").val(data[5]);
$("#rock-chemical>input").val(data[6]);
$("#rock-fill>input.rgb").val(data[7]);
$("#rock-fill>input.color").css("background-color", "#" + data[7]);
$("#rock-stroke>select").val(data[8]);
$("#rock-opacity>select").val(data[9]);
$("#poly-plot>.table>div").html("<div><div class='field'>
header'>Point</div><div class='header'>x</div><div class='header'>y</div></div>");
var pointx = [];
var pointy = [];
data = data[10].split(" ");
jQuery.each(data, function(i, val)
{
val = val.split(",");
$("#poly-plot>.table>div").append("<div><div class='field'>" + (i+1)
+ "</div><div><input type='text' class='pointx' value='" + val[0] +
"' /></div><div><input type='text' class='pointy' value='" + val[1] +
"' /></div></div>");
pointx.push(val[0]);
pointy.push(val[1]);
});
$("#rock-north>input").val(Math.min(...pointy));
$("#rock-south>input").val(Math.max(...pointy));
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
$("#rock-east>input").val(Math.max(...pointx));
$("#rock-west>input").val(Math.min(...pointx));
}
});
$("#poly-prop input").prop("disabled", false);
$("#poly-prop select").prop("disabled", false);
$("#poly-list li").removeClass("selected");
$("#poly-list li[data-bind='" + a + "']").addClass("selected");
$("#add-point-start").show();
$("#save-point").show();
}

$(function()
{
$.ajaxSetup({type:'POST', url:'ajaccio.php'});

var board = [];
board["left"] = $("#board").offset().left;
board["top"] = $("#board").offset().top;
board["width"] = $("#board").width();
board["height"] = $("#board").height();

var filter_def = [];
filter_def["a"] = 100;
filter_def["b"] = 100;
filter_def["c"] = 100;
filter_def["d"] = 0;
filter_def["e"] = 0;
filter_def["f"] = 0;
filter_def["g"] = 0;
filter_def["h"] = 0;
filter_def["i"] = 0;

$("#svg").attr("width", board["width"]);
$("#svg").attr("height", board["height"]);
$("#paper").css("background-size", board["width"] + "px auto");

$("#board").mousemove(function(event)
{
$("#mousex").text(event.clientX - board["left"]);
$("#mousey").text(event.clientY - board["top"]);
});

$("#board").mouseenter(function()
{
$("#mouse").show();
});

$("#board").mouseleave(function()
{
$("#mouse").hide();
});

$("#poly-list>div>ol>li").click(function()
{
$("#binder").val($(this).attr("data-bind"));
var bind = $(this).attr("data-bind");
slc_polygon(bind);
});

$("#polygon").click(function()
{
$("#binder").val($(this).attr("data-bind"));
}
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
var bind = $(this).attr("data-bind");
slc_polygon(bind);
});

$("#rect").click(function(event)
{
$("#polygon").css("stroke", "#000000");
$("#circle").attr("visibility", "hidden");
$("#poly-list li").removeClass("selected");
$("#binder").val("");
$("#poly-plot>.table>div").html("");
$("#poly-prop input").val("");
$("#poly-prop input.color").css("background-color", "#DDDDDD");
$("#poly-prop input").prop("disabled", true);
$("#poly-prop select").val(0);
$("#poly-prop select").prop("disabled", true);
$("#add-point-start").hide();
$("#save-point").hide();
});

$("#rock-name>input").keydown(function(e)
{
if(e.keyCode == 13)
{
var name = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data : 'act=chg_name&nam=' + name + '&cod=' + bind,
success :function(data)
{
if(data == "1")
{
$("#poly-list li.selected>span.title").text(name);
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
}
});

$('#rock-formation>input').keydown(function(e)
{
if(e.keyCode == 13)
{
var formation = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data : 'act=chg_formation&for=' + formation + '&cod=' + bind,
success :function(data)
{
if(data == "1")
{
alert("Successfully altered");
}
else
{
alert("Error");
}
}
}
});
}
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
    }
  });
}
});

$('#rock-lithology>select').change(function()
{
var lithology = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data      : 'act=chg_lithology&lit=' + lithology + '&cod=' + bind,
success  : function(data)
{
if(data == "1")
{
alert("Successfully altered");
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
});

$('#rock-epoch>select').change(function()
{
var epoch = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data      : 'act=chg_epoch&age=' + epoch + '&cod=' + bind,
success  : function(data)
{
if(data == "1")
{
alert("Successfully altered");
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
});

$('#rock-permeability>input').keydown(function(e)
{
if(e.keyCode == 13)
{
var permeability = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data      : 'act=chg_permeability&per=' + permeability + '&cod=' + bind,
success  : function(data)
{
if(data == "1")
{
alert("Successfully altered");
}
else
```



```
{
alert("Error");
}
});
}
});

$('#rock-porosity>input').keydown(function(e)
{
if(e.keyCode == 13)
{
var porosity = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data      : 'act=chg_porosity&por=' + porosity + '&cod=' + bind,
success   : function(data)
{
if(data == "1")
{
alert("Successfully altered");
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
}
});

$('#rock-chemical>input').keydown(function(e)
{
if(e.keyCode == 13)
{
var chemical = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data      : 'act=chg_chemical&che=' + chemical + '&cod=' + bind,
success   : function(data)
{
if(data == "1")
{
alert("Successfully altered");
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
}
});

$('#rock-fill>input.rgb').keyup(function(e)
{
if(e.keyCode == 13)
{
var color = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
{
data      : 'act=chg_fill&fil=' + color + '&cod=' + bind,
success   : function(data)
{
if(data == "1")
{
$("#rock-fill>input.color").css("background-color", "#" + color);
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("fill", "#" + color);
$("#poly-list li.selected>span.color").css("background-color", "#" +
color);
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
else
{
var color = $(this).val();
$("#rock-fill>input.color").css("background-color", "#" + color);
}
});

$("#rock-stroke>select").change(function()
{
var stroke = $(this).val();
var bind = $("#binder").val();
$.ajax(
{
data      : 'act=chg_stroke&str=' + stroke + '&cod=' + bind,
success   : function(data)
{
if(data == "1")
{
if(stroke == 0)
{
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-width", "0px");
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-dasharray", "");
}
else if(stroke == 1)
{
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-width", "1px");
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-dasharray",
"2,2");
}
else if(stroke == 2)
{
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-width", "1px");
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-dasharray",
"5,3");
}
else
{
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-width", "1px");
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").css("stroke-dasharray", "");
}
}
else
{
alert("Error");
}
}
}
});
```

```
    }
  });
});

$("#rock-opacity>select").change(function()
{
  var opacity = $(this).val();
  var bind = $("#binder").val();
  $.ajax(
  {
    data      : 'act=chg_opacity&opc=' + opacity + '&cod=' + bind,
    success   :function(data)
    {
      if(data == "1")
      {
        if(opacity == 0)
        {
          $("polygon[data-bind='" + bind + "']").css("fill-opacity", "");
        }
        else
        {
          $("polygon[data-bind='" + bind + "']").css("fill-opacity", "50%");
        }
      }
      else
      {
        alert("Error");
      }
    }
  });
});

$("#add-point-start").click(function()
{
  $(this).hide();
  $("#leaf").show();
  $("#add-point-end").show();
});
$("#add-point-end").click(function()
{
  $(this).hide();
  $("#leaf").hide();
  $("#add-point-start").show();
});
$("#leaf").click(function()
{
  var mousex = $("#mousex").text();
  var mousey = $("#mousey").text();
  var bind = $("#binder").val();
  var oldpoint = $("polygon[data-bind='" + bind + "']").attr("points");
  var newpoint = oldpoint + " " + mousex + "," + mousey;
  $.ajax(
  {
    data      : 'act=chg_points&point=' + newpoint + '&code=' + bind,
    success   :function(data)
    {
      if(data == "1")
      {
        $("polygon[data-bind='" + bind + "']").attr("points", newpoint);
      }
      else
      {
        alert("Error");
      }
    }
  });
});
```

```
}
}
});
});

$("#save-point").click(function()
{
var bind = $("#binder").val();
var numpoint = $("input.pointx").length;
var newpoint = "";
for(var i=0; i<numpoint; i++)
{
newpoint += $("input.pointx").get(i).value + "," +
$("input.pointy").get(i).value + " ";
}
newpoint = $.trim(newpoint);
$.ajax(
{
data      : 'act=chg_points&point=' + newpoint + '&code=' + bind,
success   : function(data)
{
if(data == "1")
{
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").attr("points", newpoint);
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
});

$("input[type=checkbox].lambda-hider").change(function()
{
var o = $(this).attr("data-bind");
if(this.checked)
{
$("#slider-range-" + o).show();
$("#lambda-" + o).show();
}
else
{
$("#slider-range-" + o).hide();
$("#lambda-" + o).hide();
}
});

$("input[type=checkbox]#analysis-hider").change(function()
{
if(this.checked)
{
$("#svg").show();
}
else
{
$("#svg").hide();
}
});

$("input[type=checkbox].poly-hider").change(function()
{
var bind = $(this).parent().attr("data-bind");
```

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*

```
if(this.checked)
{
$.ajax(
{
data      : 'act=hide_polygon&value=0&code=' + bind,
success   : function(data)
{
if(data == "1")
{
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").show();
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
}
else
{
$.ajax(
{
data      : 'act=hide_polygon&value=1&code=' + bind,
success   : function(data)
{
if(data == "1")
{
$("#polygon[data-bind='" + bind + "']").hide();
}
else
{
alert("Error");
}
}
});
}
});

$("#.reset").click(function()
{
var binder = $(this).attr("data-bind");
$("#slider-filter-" + binder + "a").slider("value", filter_def["a"]);
$("#slider-filter-" + binder + "b").slider("value", filter_def["b"]);
$("#slider-filter-" + binder + "c").slider("value", filter_def["c"]);
$("#slider-filter-" + binder + "d").slider("value", filter_def["d"]);
$("#slider-filter-" + binder + "e").slider("value", filter_def["e"]);
$("#slider-filter-" + binder + "f").slider("value", filter_def["f"]);
$("#slider-filter-" + binder + "g").slider("value", filter_def["g"]);
$("#slider-filter-" + binder + "h").slider("value", filter_def["h"]);
$("#slider-filter-" + binder + "i").slider("value", filter_def["i"]);
$("#lambda-" + binder).css("filter", "none");
});

$("#tabs-main").tabs();
$("#tabs-lambda").tabs();
});
```

C. Foto Kegiatan Uji Lapangan



Penyiapan perangkat keras pada uji lapangan.



Tim uji lapangan.

D. Pelatihan Operator Drone

1. Kegiatan Pelatihan

Pelatihan dengan tema *The DJI Matrice 200 v2 with Micasense Multispectral Sensor Training*, 1 Desember 2020 diikuti oleh 5 peserta. Pelatihan meliputi teori tentang regulasi dan keselamatan, instalasi, operasional dan perawatan peralatan (*drone* dan kamera multispektral) :



Pemaparan teori operasional



Pengenalan perangkat

*Rekayasa Alat Pencitraan Multispektral untuk
Pemetaan Sebaran Microseepage dan Litologi Permukaan*



Instalasi perangkat



Pengoperasian perangkat

2. Sertifikat Pelatihan



Rismo Bayu Haryo Utomo

Hari Yanto



Nurus Firdaus

Tri Muji Susantoro



R.K. Risdianto

DAFTAR PUSTAKA

- AAPG, 2016, *Macroseepage vs Microseepage in Surficial Geochemistry*. Diakses pada September 2020 dari AAPG Wiki (https://wiki.aapg.org/Macroseepage_vs._microseepage_in_surficial_geochemistry).
- Arifin, A.Z. dan Lestriandoko, N.H., 2003, *Kompresi Citra Penginderaan Jauh Multispektral Berbasis Clustering dan Reduksi Spektral*. JUTI Vol. 2, No. 1, pp. 8-14.
- Chen, S., et al, 2017, *Hydrocarbon Micro-Seepage Detection by Altered Minerals Mapping from Airborne Hyper-Spectral Data in Xifeng Oilfield, China.*, Journal of Earth Science, Vol. 28, No. 4 (Agustus 2017), pp. 656–665.
- Goldman, D.B. dan Chen, J.H., 2005, *Vignette and Exposure Calibration and Compensation*. Proceedings of ICCV '05, Beijing (China), pp. 899–906
- LEMIGAS-JICA, 1994, *A Guideline of Image Interpretation for Oil and Gas Exploration: The Project on Image Processing Technology for Oil and Gas Study*, Jakarta (ID): PPPTMGB Lemigas.
- Micasense, 2017, *RedEdge Processing Tutorial* diakses pada November 2020 dari Micasense (<https://micasense.com/rededge-processing-tutorial>).
- Munawar, A.A., et al, 2016. *Rapid and Non-destructive Prediction of Mango Quality Attributes using Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy and Chemometrics*, Engineering in Agriculture, Environment and Food Vol. 9, No.3.
- Noomen, M.F., 2007, *Hyperspectral Reflectance of Vegetation Affected by Underground Hydrocarbon Gas Seepage* [disertasi], Enschede (NL): International Institute for Geo-information Science & Earth Observation.

- Omodanisi, M.E. dan Salami A.T., 2014, *An Assessment of the Spectra Characteristics of Vegetation in South Western Nigeria*, IERI Procedia Vol, 9 (Desember 2014), pp.26-32.
- Saunders, F., Burson, K.R. dan Thompson, C.K., 1999, *Model for Hydrocarbon Microseepage and Related Near-Surface Alterations*, AAPG Bulletin Vol 83, No. 1 (Januari 1999), pp. 170-185.
- Smejkalová, E., Bujok, P., 2012, *Remote Sensing Methods in the Identification of Oil Contaminations*, GeoScience Engineering (ISSN 1802-5420) Vol. LVIII, No.1, pp. 24-33.
- Smith, K.L., Steven, M.D. dan Colls, J.J., 2004, *Spectral Responses of Pot-grown Plants to Displacement of Soil Oxygen*, International Journal of Remote Sensing Vol. 25, No. 20, pp 4395-4410.
- Susantoro, T.M., 2009. *Optimalisasi Data Landsat 7 ETM +dan SRTM untuk Revisi Peta Geologi Lembar Bojonegoro* [tesis], Yogyakarta (ID): Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Susantoro, T.M., 2019, *Model Geobiokimia Permukaan Lapangan Migas Berbasis Penginderaan Jauh dan Geologi di Cekungan Sedimen Produksi Hidrokarbon Jawa Barat Utara* [disertasi], Bandung (ID): Institut Teknologi Bandung.
- Wiweka, 2006., *Metodologi Penyusunan Citra Multiskala Berdasarkan Citra Hiperspektral Berdasarkan Konsep Integrated Objects dan Agregated Objects* [disertasi], Jakarta (ID): Universitas Indonesia.