

**KAJIAN PENENTUAN KANAL SPEKTRAL SISTEM PENCITRA SATELIT MIKRO
BERBASIS KEBUTUHAN PENGGUNA UNTUK OBSERVASI SUMBER DAYA
ALAM DI INDONESIA**

**ASSESSMENT OF MICROSATELLITE IMAGING SYSTEM SPECTRAL BAND
SELECTION BASED ON USER NEEDS FOR NATURAL RESOURCES
OBSERVATION IN INDONESIA**

Musyarofah¹, Dinari Nikken Sulastrie Sirin², Ahmad Maryanto², Dony Kushardono¹

¹Peneliti dan ²Perekayasa Bidang Pengembangan Teknologi Penginderaan Jauh, Pusbangja, LAPAN

Abstract

Spectral bands of the satellite imaging system that used by remote sensing data users for natural resources observation have been assessed. The results of the assessment were analyzed and connected to microsatellite constrains which implicate the operating system, including imaging system that could be carried by the satellite. By the analysis that was conducted, it was suggested that microsatellite imaging system should have four spectral bands, consist of red channel (R), green channel (G), blue channel (B), and near infrared channel (NIR).

Keywords: spectral band, microsatellite, natural resources satellite, user needs.

Abstrak

Telah dikaji kanal spektral sistem pencitra satelit untuk observasi sumber daya alam yang banyak digunakan oleh pengguna data penginderaan jauh. Hasil kajian tersebut dianalisis dan dihubungkan dengan keterbatasan satelit mikro yang berimplikasi terhadap kinerja sistem termasuk sistem pencitra yang bisa dibawa oleh satelit. Dari analisis yang dilakukan, kanal spektral yang disarankan untuk sistem pencitra satelit mikro berjumlah empat kanal yang meliputi kanal merah (R), kanal hijau (G), kanal biru (B), dan kanal inframerah dekat (NIR).

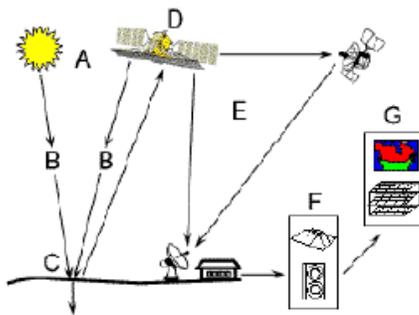
Kata kunci: kanal spektral, satelit mikro, satelit sumber daya alam, kebutuhan pengguna.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan sumber daya alam yang melimpah, yang meliputi pertanian, perkebunan, kehutanan, dan sebagainya. Pengelolaan yang efektif dan efisien dibutuhkan agar diperoleh hasil yang optimal sehingga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat. Wilayah Indonesia yang luas berdampak pada banyaknya sumber daya manusia yang diperlukan, besarnya biaya dan waktu yang harus disediakan untuk observasi sumber daya alam. Untuk itu, diperlukan teknologi yang dapat menyediakan sistem observasi yang cepat dan akurat.

Teknologi penginderaan jauh dapat menjawab kebutuhan akan tersedianya data

yang cepat dan akurat. Dengan menggunakan teknologi ini, akuisisi data dapat dilakukan dari ketinggian tertentu di atas permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek, sehingga waktu yang diperlukan lebih singkat dan cakupan wilayah yang teramati juga lebih luas. Informasi mengenai objek dapat diperoleh secara cepat dan observasi yang dilakukan lebih bersifat global. Pada Gambar 1 ditampilkan skema proses akuisisi data penginderaan jauh¹.



Gambar 1. Skema Proses Akuisisi Data Penginderaan Jauh

Proses akuisisi data penginderaan jauh satelit dimulai dari iluminasi objek oleh sinar matahari. Pantulan atau pancaran energi elektromagnetik dari objek, yang merupakan hasil iluminasi cahaya matahari, akan dideteksi dan disimpan oleh sensor. Informasi mengenai objek diperoleh dari sensor dalam bentuk rekaman energi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek. Untuk objek yang berbeda, besarnya energi elektromagnetik yang terdeteksi oleh sensor pun akan berbeda. Hal ini terjadi karena setiap objek mempunyai karakteristik yang berbeda, sehingga pola spektral yang terpantul atau terpancar juga berbeda.

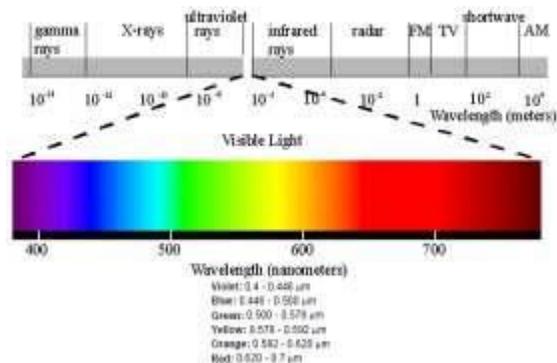
Pada paper ini, observasi sumber daya alam dengan menggunakan sensor penginderaan jauh dibatasi hanya untuk sumber daya alam di darat, yaitu pertanian, perkebunan dan kehutanan saja. Potensi yang dimiliki oleh sektor pertanian dan perkebunan di Indonesia antara lain adalah keanekaragaman hayati dan agroekosistem. Selain itu, lahan pertanian dan perkebunan yang merupakan potensi yang cukup besar juga belum dimanfaatkan secara optimal. Kendala yang dihadapi pada sektor ini adalah meningkatnya kerusakan lingkungan dan perubahan iklim global, serta ketersediaan infrastruktur, sarana prasarana, lahan dan air².

Untuk sektor kehutanan, arah kebijakan prioritas yang dilakukan Pemerintah Indonesia antara lain pemantapan kawasan hutan, konservasi

keanekaragaman hayati dan perlindungan hutan, serta peningkatan fungsi dan daya dukung Daerah Aliran Sungai (DAS). Sedangkan sasaran yang ingin dicapai antara lain tata batas kawasan hutan, penurunan jumlah *hotspot* kebakaran hutan, rencana pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan lain sebagainya.

Untuk memaksimalkan potensi yang ada dan mengatasi kendala baik pada sektor pertanian, perkebunan maupun kehutanan, data penginderaan jauh dapat digunakan sebagai perangkat pemetaan untuk klasifikasi lahan, menentukan kesehatan dan kelangsungan hidup, serta memantau lahan pertanian, perkebunan, dan hutan. Aplikasi penginderaan jauh untuk pertanian, perkebunan dan kehutanan meliputi klasifikasi jenis tanaman, pengkajian kondisi lahan, perkiraan hasil panen, pemetaan karakteristik tanah, pemantauan kondisi kesehatan tanaman, pemetaan *update* tutupan hutan, pemantauan pengurangan lahan hutan, pengukuran properti biofisik, deforestasi, pemantauan *hotspot* dan sebagainya³.

Sumber energi radiasi yang digunakan dalam sistem penginderaan jauh adalah energi elektromagnetik yang mempunyai spektrum berdasarkan *range* panjang gelombang yang berbeda. Pada Gambar 2 ditampilkan spektrum gelombang elektromagnetik⁴.



Gambar 2. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

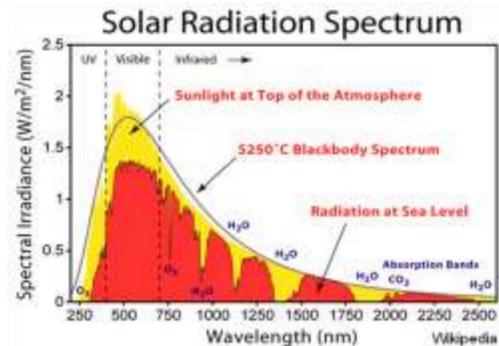
Spektrum cahaya tampak (*visible*) merupakan spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat terdeteksi oleh mata manusia. Rentang panjang gelombangnya sekitar 0,4 hingga 0,7 μm . Objek yang tidak sama akan terlihat mempunyai warna yang berbeda ketika diiluminasi dengan cahaya tampak. Hal itu terjadi karena sebagian spektrum cahaya tampak tersebut dipantulkan dan sebagian diserap oleh objek. Spektrum yang lainnya adalah inframerah (IR), panjang gelombangnya berkisar antara 0,7 hingga 100 μm . Inframerah dapat dibagi menjadi dua berdasarkan properti radiasinya, yaitu *reflected IR* dan *emitted* atau *thermal IR*.

Warna dapat digunakan untuk membedakan dan mengidentifikasi material dan objek. Warna dan pantulan objek merupakan pola dan karakteristik penting yang menunjukkan komposisi material objek. Setiap material yang berbeda mempunyai karakteristik yang berbeda dalam menyerap dan memantulkan radiasi yang datang. Karakteristik tersebut tergantung pada panjang gelombang radiasi yang mengenai objek. Pantulan cahaya atau radianansi spektral $L_s(\lambda)$ yang terekam oleh sensor merupakan hasil dari perkalian radianansi *scene* $L_i(\lambda)$ dengan spektrum reflektansi material $\rho(\lambda)$, keduanya merupakan fungsi dari panjang gelombang⁵.

$$L_s(\lambda) = \rho(\lambda) L_i(\lambda)$$

Jika spektrum iluminasi diketahui, maka spektrum reflektansi material (reflektivitas) dapat diketahui dari radianansi spektral yang diamati pada daerah spektrum yang iluminasinya tidak nol. Karena spektrum reflektansi tidak bergantung pada iluminasi, maka spektrum reflektansi dapat digunakan untuk identifikasi material dengan mencocokkan spektra reflektansi dengan librari spektra yang diketahui⁶. Pada Gambar 3

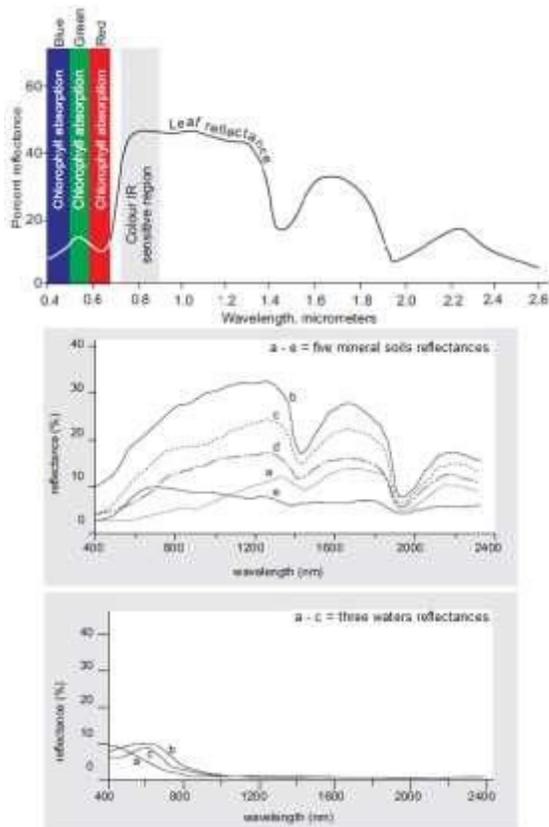
ditampilkan grafik spektrum radiasi matahari⁷.



Gambar 3. Spektrum Radiasi Matahari

Radiasi matahari merupakan sumber energi utama dalam penginderaan jauh pasif. Iradiansi atau nilai energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dipengaruhi oleh efek absorpsi dan hamburan partikel-partikel yang ada di atmosfer⁸. Sehingga, dari Gambar 3 dapat dilihat dengan jelas bahwa nilai iradiansi matahari di atas atmosfer lebih tinggi dibandingkan nilai iradiansi pada permukaan laut. Penentuan spektra reflektansi objek yang berbeda harus memperhitungkan efek atmosfer baik pada iluminasi matahari dan cahaya terpantul.

Radiasi elektromagnetik yang tidak diabsorpsi atau dihamburkan di atmosfer dapat mencapai permukaan bumi dan berinteraksi dengan objek. Ada tiga bentuk interaksi yang dapat terjadi ketika radiasi datang, yaitu absorpsi, transmisi dan pemantulan. Jumlah energi yang diabsorpsi, ditransmisikan atau dipantulkan bergantung pada panjang gelombang elektromagnetik dan kondisi fitur objek. Pada Gambar 4 ditampilkan pola spektral objek berdasarkan reflektansinya⁹.



Gambar 4. Pola Spektral Objek Berdasarkan Reflektansinya

Karakteristik reflektansi vegetasi bergantung pada kondisi daun, termasuk struktur dan orientasi kanopi daun. Sebagian pantulan radiasi pada spektrum yang berbeda bergantung pada pigmentasi daun, ketebalan dan komposisi daun (struktur sel) dan pada jumlah air yang terkandung pada daun. Pada spektrum cahaya tampak, pantulan cahaya biru dan merah cukup rendah karena spektrum cahaya biru dan merah diserap oleh tanaman (terutama oleh klorofil) untuk fotosintesis. Sedangkan untuk cahaya hijau, dari grafik pada Gambar 4, nilai reflektansinya terlihat lebih tinggi dibandingkan cahaya merah dan biru. Untuk objek vegetasi, nilai reflektansi tertinggi adalah pada spektrum inframerah-dekat, tetapi nilainya bergantung pada pertumbuhan daun dan struktur sel.

Nilai reflektansi dari tanah tergantung pada banyak faktor sehingga

sulit untuk membuat satu jenis kurva reflektansi tanah. Pada Gambar 4 terdapat lima kurva reflektansi tanah, antara lain (a) tanah dengan dominasi organik, (b) tanah dengan perubahan minimal, (c) tanah dengan kandungan besi yang berubah, (d) tanah yang terpengaruh faktor organik dan (e) tanah dengan dominasi besi. Faktor utama yang mempengaruhi nilai reflektansi tanah antara lain warna tanah, kandungan kelembaban, kandungan karbonat dan persentase besi oksida (Fe_2O_3).

Jika dibandingkan dengan vegetasi dan tanah, air mempunyai nilai reflektansi lebih rendah. Vegetasi mampu memantulkan hingga 50% energi radiasi yang datang, tanah memantulkan 30-40%, sedangkan air hanya memantulkan maksimal 10%. Air memantulkan energi elektromagnetik pada spektrum cahaya tampak hingga inframerah-dekat, pada panjang gelombang di atas 1,2 μm seluruh energi diserap. Ada tiga jenis kurva reflektansi air pada Gambar 4, yaitu (a) air laut, (b) air keruh (mengandung lumpur), (c) air dengan kandungan klorofil.

Berdasarkan kurva pada Gambar 4, terlihat dengan jelas bahwa setiap objek mempunyai karakteristik dan pola reflektansi yang berbeda. Dengan menggunakan nilai panjang gelombang elektromagnetik yang berbeda, nilai reflektansi yang dihasilkan juga berbeda. Spektrum gelombang elektromagnetik yang dipilih akan mempengaruhi akurasi pendeteksian sensor pencitra. Oleh sebab itu, diperlukan penentuan kanal spektral pada sistem pencitra agar observasi yang dilakukan sesuai dengan kebutuhan pengguna, lebih akurat dan tepat sasaran. Tujuan penulisan makalah ini adalah mengkaji dan merekomendasikan jumlah dan spesifikasi kanal spektral sistem pencitra satelit mikro untuk observasi sumber daya alam di Indonesia

METODOLOGI

Kajian ini dihasilkan dari studi literatur beberapa makalah dan artikel dari internet dan buku yang berisi informasi mengenai kebutuhan pengguna terhadap data penginderaan jauh, satelit mikro dan aplikasi data penginderaan jauh untuk observasi sumber daya alam yang banyak digunakan *user* pada umumnya. Hasil kajian tersebut dianalisis dan dihubungkan dengan keterbatasan satelit mikro yang berimplikasi terhadap kinerja sistem, termasuk sistem pencitra yang bisa dibawa oleh satelit. Dari hasil analisis ditentukan jumlah kanal spektral yang dapat diimplementasikan pada sistem pencitra satelit mikro.

Sistem pencitra multispektral yang menghasilkan citra pankromatik dan warna (*red, green, blue*) telah mendominasi penginderaan jauh elektro-optik pada spektrum gelombang elektromagnetik daerah *visible, near-infrared* (NIR), dan *shortwave infrared* (SWIR)¹⁰. Dengan menggunakan citra multispektral, informasi mengenai objek di permukaan bumi bisa diperoleh. Data citra yang dihasilkan dari akuisisi dengan penginderaan jauh optis yang paling sering digunakan oleh pengguna di Indonesia antara lain adalah data citra Landsat-7 ETM+, SPOT, Ikonos, Quickbird dan ALOS. Pada Tabel 1 berikut ini ditampilkan karakteristik kanal spektral pada beberapa satelit sumber daya alam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Karakteristik Kanal Spektral Pada Beberapa Satelit Sumber Daya Alam

Satelit	Sensor	Kanal	Kanal Spektrum (nm)	Resolusi (m)	Swath width (km)	Revisit (hr)
ALOS	AVNIR-2	1 (VIS)	420 – 500	10	70	46
		2 (VIS)	520 – 600	10	70	46
		3 (VIS)	610 – 690	10	70	46
		4 (NIR)	760 – 890	10	70	46
	PRISM	PAN (VIS)	520 – 770	2,5	70	46
IKONOS	OSA	1 (VIS)	450 – 520	4	11	3
		2 (VIS)	520 – 600	4	11	3
		3 (VIS)	630 – 690	4	11	3
		4 (NIR)	760 – 900	4	11	3
		PAN (OTHER)	450 – 900	1	11	3
LANDSAT-7 ETM+	ETM+	1 (VIS)	450 – 520	30	185	16
		2 (VIS)	520 – 600	30	185	16
		3 (VIS)	630 – 690	30	185	16
		4 (NIR)	760 – 900	30	185	16
		5 (SWIR)	155 – 175	30	185	16
		6 (TIR)	104 – 125	60	185	16
		7 (MWIR)	208 – 235	30	185	16
		PAN (VIS)	500 – 900	15	185	16
Quickbird	Quickbird	1 (VIS)	450 – 520	2,44 (2,88)	16,6	3
		2 (VIS)	520 – 600	2,44 (2,88)	16,6	3
		3 (VIS)	630 – 690	2,44	16,6	3

		4 (NIR)	760 – 900	(2,88) 2,44 (2,88)	16,6	3
		PAN (OTHER)	450 – 900	0,61 (0,72)	16,6	3
SPOT-5	HRG	1 (VIS)	500 – 590	10	60	5
		2 (VIS)	610 – 680	10	60	5
		3 (NIR)	790 – 890	10	60	5
		4 (SWIR)	158 – 175	20	60	5
		PAN (VIS)	480 – 710	5 (2,5)	60	5
	HRS	PAN (VIS)	490 – 690	10	120	26
	VEGETATION	1 (VIS)	430 – 470	1000	2200	1
		2 (VIS)	610 – 680	1000	2200	1
		3 (NIR)	780 – 890	1000	2200	1
		4 (SWIR)	158 – 175	1000	2200	1

Seperti yang terlihat pada Tabel 1, semua satelit sumberdaya alam menggunakan kanal spektral pada daerah spektrum *visible* dan *near-infrared* (NIR) dengan rentang panjang gelombang antara 400 nm hingga 700 nm untuk *visible* dan 700 nm hingga 900 nm untuk NIR. Sensor pencitra satelit ALOS, Ikonos dan Quickbird beroperasi pada daerah *visible* dan NIR. Sedangkan sensor pencitra pada satelit Landsat-7 dan SPOT-5, selain beroperasi pada daerah *visible* dan NIR, keduanya juga beroperasi pada daerah spektrum yang lain. Satelit Landsat-7 mampu mendeteksi energi radiasi pada daerah *short-wave-infrared* (SWIR), *medium-wave-infrared* (MWIR), dan *thermal-infrared* (TIR). Sedangkan SPOT-5 kanal spektral tambahannya beroperasi pada daerah SWIR.

Data yang diperoleh dari sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) pada Landsat-7 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, antara lain pengelolaan sumber daya alam, pemetaan, pemantauan lingkungan, dan deteksi perubahan (misalnya pemantauan penebangan hutan)¹¹. Resolusi spasial citra Landsat-7 ETM+ adalah sekitar 30 meter, sehingga data citra ini lebih sering digunakan untuk pemantauan wilayah yang luas dan tidak membutuhkan detail objek terlalu rinci,

misalnya pemantauan daerah hutan atau pertanian. Sedangkan untuk memantau objek dengan detail yang lebih rinci dibutuhkan citra dengan resolusi spasial lebih tinggi. Satelit yang menyediakan data dengan resolusi spasial tinggi antara lain SPOT, Ikonos, dan Quickbird.

Data citra SPOT memungkinkan aplikasi yang membutuhkan detail spasial yang lebih bagus (misalnya pemetaan perkotaan). Aplikasi yang membutuhkan frekuensi pemantauan lebih sering (pertanian dan kehutanan) juga dapat dipenuhi oleh sensor SPOT.

Citra satelit Quickbird adalah citra yang memiliki resolusi spasial tinggi yang terdiri dari data multispektral (resolusi spasial 2,5m), data pankromatik (resolusi spasial 60cm), dan tersedia juga produk *bundle/pansharpen* atau fusi antara keduanya dengan resolusi spasial 60cm.

Untuk memenuhi kebutuhan pengguna pada sektor pertanian dan perkebunan, data citra penginderaan jauh yang diperlukan adalah citra multi-temporal yang dapat digunakan untuk menghitung perubahan reflektansi sebagai fungsi dari *plant phenology* (tahapan pertumbuhan tanaman). Dengan demikian, sensor yang digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu dan frekuensi pengulangan dalam akuisisi citra diperlukan selama

periode pertumbuhan tanaman. Data multisensor juga penting untuk meningkatkan akurasi klasifikasi objek. Penginderaan pada spektrum *visible* dapat memberikan informasi yang berhubungan dengan kandungan klorofil tanaman dan struktur kanopi tanaman. Untuk mendeteksi kerusakan dan pemantauan kesehatan tanaman diperlukan citra multispektral dengan resolusi tinggi.

Sedangkan untuk pemantauan pada sektor kehutanan, data penginderaan jauh optik yang diperlukan harus mempunyai skala cakupan yang luas dan multi-temporal. Pemetaan dan pemantauan lahan yang kosong (*clear cutting*) juga membutuhkan citra dengan resolusi tinggi agar daerah yang diamati dapat diidentifikasi lebih detail. Pemantauan wilayah hutan membutuhkan sensor yang sensitif terhadap perbedaan tutupan hutan (tekstur kanopi, densitas daun, dan pantulan spektral). Sama halnya dengan sektor pertanian, data multi-temporal diperlukan untuk memperoleh informasi fenologi yang membantu interpretasi dengan perubahan musiman pada spesies yang berbeda. Untuk identifikasi spesies yang lebih detail, diperlukan data multispektral dengan resolusi tinggi. Data termal juga dibutuhkan sektor kehutanan untuk deteksi dan memantau kebakaran hutan yang sedang terjadi. Sedangkan data multispektral (optik dan *near-infrared*) digunakan untuk observasi tahapan pertumbuhan dan fenologi pada daerah yang terbakar.

Selain kebutuhan pengguna, faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan kanal spektral untuk observasi sumberdaya alam adalah kapasitas dan kemampuan sistem pembawa sensor (*bus satellite*). Dengan menggunakan satelit mikro, kinerja sistem, terutama *payload*, tidak akan sama jika dibandingkan dengan kinerja sistem pada satelit besar. Hal tersebut terjadi karena adanya keterbatasan pada satelit mikro.

Satelit mikro dikembangkan dengan filosofi dasar minimalisasi anggaran, maksimalisasi komponen yang ada, miniaturisasi, dan penggunaan teknologi baru. Konsep dasar seperti ini memunculkan berbagai sifat sangat menguntungkan yang menjadi daya tarik tersendiri bagi pengembangan dan pemberdayaan satelit kecil/mikro, antara lain biaya murah (*low cost*) baik dalam pembangunan maupun penerbangannya, *short delivery time*, lebih mudah mendapatkan pembiayaan karena kemurahannya itu dan berpeluang diaplikasikan pada berbagai bidang, termasuk observasi bumi (penginderaan jauh). Harga murah memberi peluang lebih untuk mengoperasikan satelit kecil/mikro secara konstelatif sehingga dapat meningkatkan frekuensi pembaharuan data dengan tema yang lebih spesifik dan resolusi yang lebih tajam. Secara substansial meningkatkan jumlah organisasi atau badan yang dapat mengakses ruang angkasa.

Secara fisik, dampak nyata dari konsep pengembangan itu adalah adanya perbedaan karakteristik satelit kecil/mikro dari satelit konvensional yang lebih besar, antara lain panel surya yang digunakan tetap (bukan pelacak matahari), kelembaman suhu rendah karena massanya kecil, pembangkitan energi dan kapabilitas penyimpanan rendah karena ukurannya kecil, volumenya sangat terbatas, area permukaannya dari kualitas terbaik, menggunakan komponen yang lebih kecil, teknologi baru (misalnya MEMS), dan vendornya non-tradisional.

Perbedaan karakteristik tersebut menjadi kendala yang membatasi kinerja sistem satelit secara keseluruhan, dan

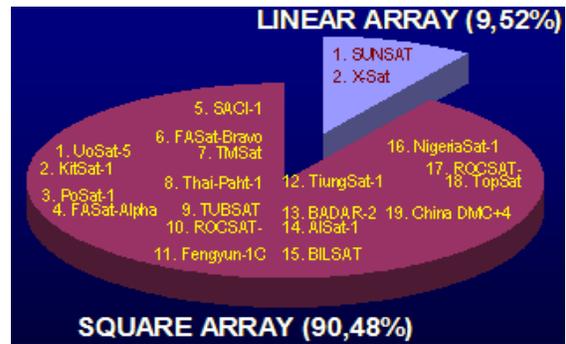
sekaligus menjadi acuan atau batasan dasar dalam proses disain sub-sub sistem satelit yang bersangkutan. Secara ilustratif dapat digambarkan bahwa dengan batasan bobot total 50 kg, dapat dikembangkan sistem pencitra satelit mikro dalam ruang lingkup batasan:

- *Payload mass under 12 kg*
- *Payload volume no more than 30 cm cube*
- *Continuous payload power under 5 Watts, peak power up to 15 Watts*
- *Preferably no moving mechanics*
- *Attitude control to within 2*
- *Reduced communications data rates (9.6 / 38.4 kbps)*

yang dapat menghasilkan data setara *multispectral scanner* (MSS)¹².

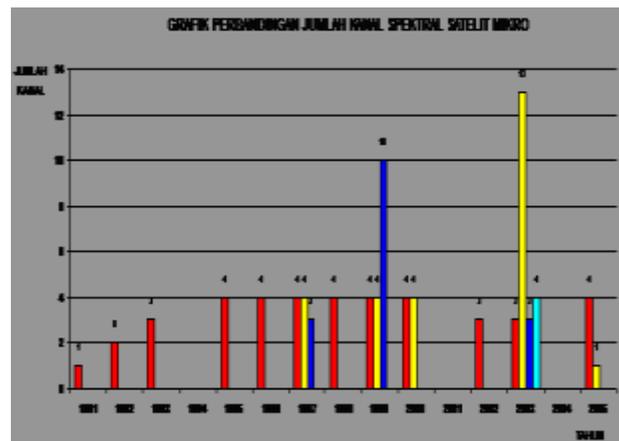
Dengan adanya batasan-batasan tersebut, sistem pencitra pada satelit mikro massanya harus ringan (<12 kg), volumenya tidak besar (<30 cm³), sistemnya harus mampu beroperasi dengan daya 5 Watt dengan *peak power* 15 Watt dan diharapkan tidak ada komponen mekanik yang bergerak. Oleh sebab itu, sebagian besar sistem pencitra pada satelit mikro menggunakan sensor *charge-coupled-device* (CCD) untuk mendeteksi pantulan energi elektromagnetik dari objek.

Sensor pencitra CCD banyak digunakan pada satelit mikro karena sifatnya yang *solid-state*, berukuran kecil, ringan, murah, mudah diperoleh, relatif stabil dan memiliki jangkauan spektrum sensor penginderaan jauh¹³. Pada Gambar 5 ditampilkan prosentase penggunaan ccd pada sensor satelit mikro.



Gambar 5. Prosentase Penggunaan CCD Pada Sensor Satelit Mikro

Dari Gambar 5 terlihat bahwa 90,48% dari 19 satelit mikro yang ada menggunakan ccd larik persegi (*square array*), selebihnya (9,52%) menggunakan ccd larik lurus (*linear array*). Sensor CCD larik persegi banyak digunakan karena sensor ini didesain agar mampu menangkap citra satu *frame* penuh setiap kali akuisisi tanpa memerlukan pergerakan detektor. Dengan demikian, CCD larik persegi secara teknik lebih menguntungkan dibandingkan CCD larik lurus dalam hal laju *frame* yang dihasilkan. Berdasarkan sensitivitasnya, sensor CCD hanya mampu menangkap spektrum gelombang elektromagnetik pada daerah *visible*, NIR, dan SWIR. Pada Gambar 6 ditampilkan grafik perbandingan jumlah kanal spektrum satelit mikro¹⁴.

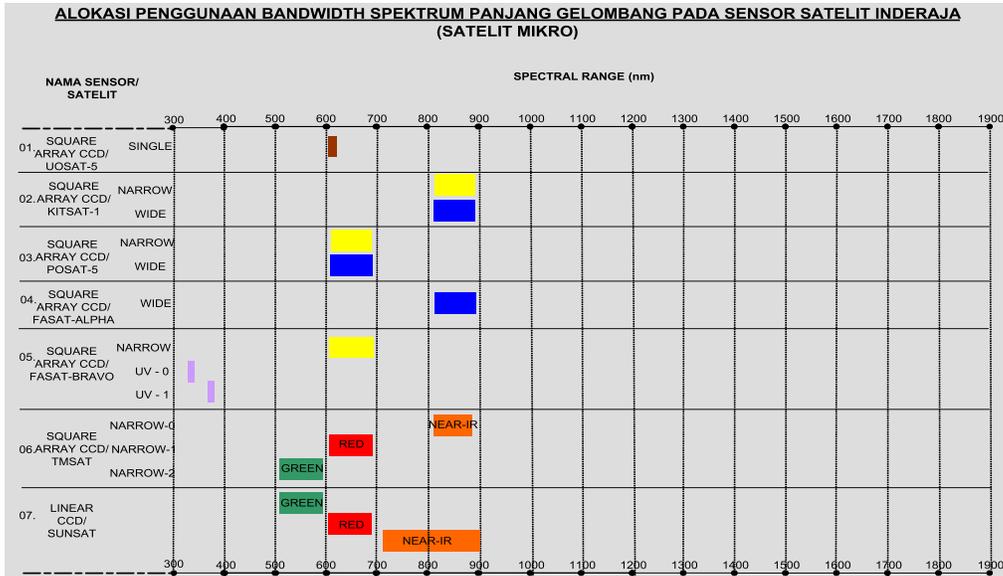


Gambar 6. Grafik Perbandingan Jumlah Kanal Spektrum Satelit Mikro

Dari Gambar 6 terlihat bahwa jumlah kanal spektral yang digunakan sistem pencitra pada satelit mikro berkisar antara satu hingga tiga belas kanal. Sebagian besar satelit mikro

yang telah diorbitkan dari tahun 1991-2006 menggunakan jumlah kanal spektral sebanyak empat. Pada Gambar 7 ditampilkan alokasi

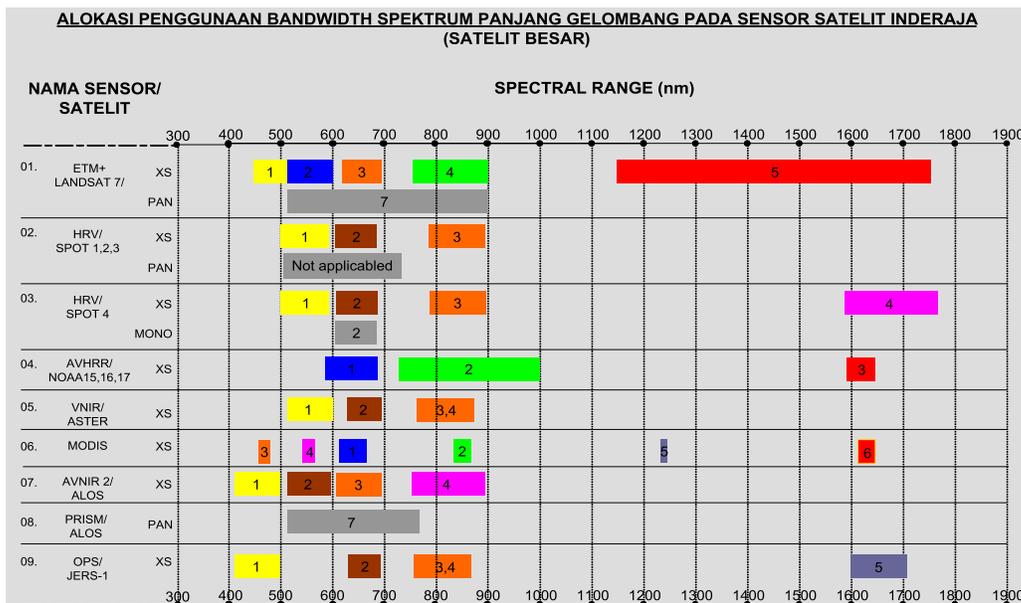
penggunaan *bandwidth* spektrum panjang gelombang pada sensor satelit indera (satelit mikro)¹⁴.



Gambar 7. Alokasi Penggunaan *Bandwidth* Spektrum Panjang Gelombang Pada Sensor Satelit Inderaja (Satelit Mikro)

Seperti yang terlihat pada Gambar 7, satelit mikro yang sudah beroperasi pada umumnya menggunakan sensor CCD dengan sensitivitas yang mampu mendeteksi radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang antara 400 nm hingga 900 nm. Oleh sebab itu, spektrum panjang gelombang

yang mampu dicakup oleh detektor sensor CCD hanya pada daerah *visible* dan *near-infrared* (NIR). Sebagai perbandingan, pada Gambar 8 ditampilkan alokasi penggunaan *bandwidth* spektrum panjang gelombang pada sensor satelit indera (satelit besar)¹⁴.



Gambar 8. Alokasi Penggunaan *Bandwidth* Spektrum Panjang Gelombang Pada Sensor Satelit Inderaja (Satelit Besar)

Sensor pencitra pada satelit-satelit besar mampu mendeteksi energi radiasi elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang dari 400 nm hingga 1750 nm. Jika dibandingkan dengan sensor pada satelit mikro, daerah spektrum yang mampu dideteksi oleh sensor pada satelit besar cakupannya lebih luas. Sensor pencitra pada satelit besar tidak hanya mampu mendeteksi spektrum energi pada daerah *visible* dan *near-infrared* (NIR), tetapi juga mampu mendeteksi spektrum energi pada daerah *short-wave-infrared* (SWIR), *medium-wave-infrared* (MWIR) dan *thermal-infrared* (TIR). Sehingga, informasi mengenai objek yang diperoleh dengan sensor pencitra pada satelit besar lebih banyak.

Meskipun sensitivitas detektor pada sensor pencitra satelit mikro hanya mampu mendeteksi pada daerah *visible* dan NIR, data citra yang dihasilkan sudah cukup memenuhi kriteria yang dibutuhkan pengguna data penginderaan jauh untuk observasi sumber daya alam. Dengan menggunakan spektrum gelombang pada daerah *visible*, pengguna bisa memanfaatkan citra yang dihasilkan untuk pemetaan perairan dan pesisir (kanal biru), pemetaan vegetasi darat (kanal hijau dan kanal merah). Selain itu, data citra pada spektrum *visible* juga dapat digunakan untuk mengobservasi klorofil (kanal merah, kanal hijau dan kanal biru), membedakan vegetasi dari tanah (kanal biru), memantau kebakaran hutan (kanal merah dan hijau) dan mengkaji kondisi dan pertumbuhan vegetasi (kanal hijau). Sedangkan pada spektrum daerah *near-infrared*, pengguna dapat memanfaatkan citra untuk pemetaan vegetasi darat, mengetahui batas antara darat dan air, dan pemantauan kebakaran hutan. Dengan demikian, untuk pengembangan sensor pencitra satelit mikro berikutnya disarankan jumlah kanal spektral yang dapat digunakan adalah empat yang meliputi kanal merah (R), kanal hijau (G), kanal biru (B) dan kanal inframerah dekat (NIR).

KESIMPULAN

Karena adanya keterbatasan yang ada pada satelit mikro, maka dapat direkomendasikan bahwa jumlah kanal

spektral yang dapat diimplementasikan pada sistem sensor pencitra satelit mikro adalah empat kanal, yang beroperasi pada daerah spektrum *visible* (R, G, B) dan inframerah dekat (NIR). Dengan menggunakan sistem kanal tersebut, informasi mengenai objek yang diperlukan untuk sektor pertanian, perkebunan, dan kehutanan dapat diperoleh. Citra yang dihasilkan dari kombinasi keempat kanal tadi sudah cukup memenuhi kriteria yang dibutuhkan pengguna untuk observasi sumberdaya alam. Untuk pengamatan yang membutuhkan detail objek lebih rinci diperlukan data resolusi tinggi. Sedangkan untuk pengamatan yang berskala global yang mencakup wilayah yang lebih luas cukup dengan data resolusi menengah.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Anonim. *Fundamental of Remote Sensing*. A Canada Centre for Remote Sensing Tutorial, Canadian Centre of Remote Sensing (CCRS). Canada
- ²Anonim. 2010. *Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2010-2014*. Kementerian Pertanian RI. Jakarta
- ³Anonim. 2010. *Rencana Strategis Kementerian Kehutanan 2010-2014*. Kementerian Kehutanan RI. Jakarta
- ⁴Anonim. *Electromagnetic Waves*. <http://www.yorku.ca/eye/spectrum/gif/>, diakses tanggal 15 oktober 2010
- ⁵Slater, P. N. 1980. *Remote Sensing Optics and Optical Systems*. Addison-Wesley Publishing Company. Massachusetts, USA.
- ⁶Bowker, D.E., Davis, R.E, Myrick, D.L., Stacy, K., and Jones, W.T. 1985. *Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies*. NASA Reference Publication 1139. Virginia, USA.
- ⁷Anonim. *Solar Radiation Spectrum*. <http://www.wikipedia.org/>, diakses tanggal 15 oktober 2010.
- ⁸Gaut, N.E., Reifenshtein, E.C., and Sievering, H. 1975. *Interaction Mechanisms – Within the Atmosphere, Manual of Remote Sensing, 1st ed, Volume I*. The American Society of Photogrammetry. Virginia, USA.

⁹Kerle, N. 2004. *Principles of Remote Sensing, ITC Educational Textbook Series 2*. ITC, the International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, Netherland.

¹⁰Shaw, G.A. and Burke, H.K. 2003. *Spectral Imaging for Remote Sensing*. Jurnal. Lincoln Laboratory Journal Volume 14 Number 1.

¹¹Anonim. *Landsat Satellite*. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>, diakses tanggal 15 Oktober 2010

¹²Fouquet and Sweeting, M.N. 1995. *Remote Sensing Using The University of*

Surrey's Microsatellites. Prosiding pada SCRS'95 Conference. Xi'an, Cina.

¹³Soleh, M. dkk. 2009. *Sensor CCD untuk Sistem Pencitra Pada Satelit Mikro*. Prosiding pada Siptekgan XIII-2009. LAPAN, Jakarta.

¹⁴Maryanto, A. dkk. 2006. *Sistem Pencitra Satelit Mikro*. Laporan Kegiatan Pengembangan Sensor Bangetkja LAPAN Tahun 2006. LAPAN, Jakarta