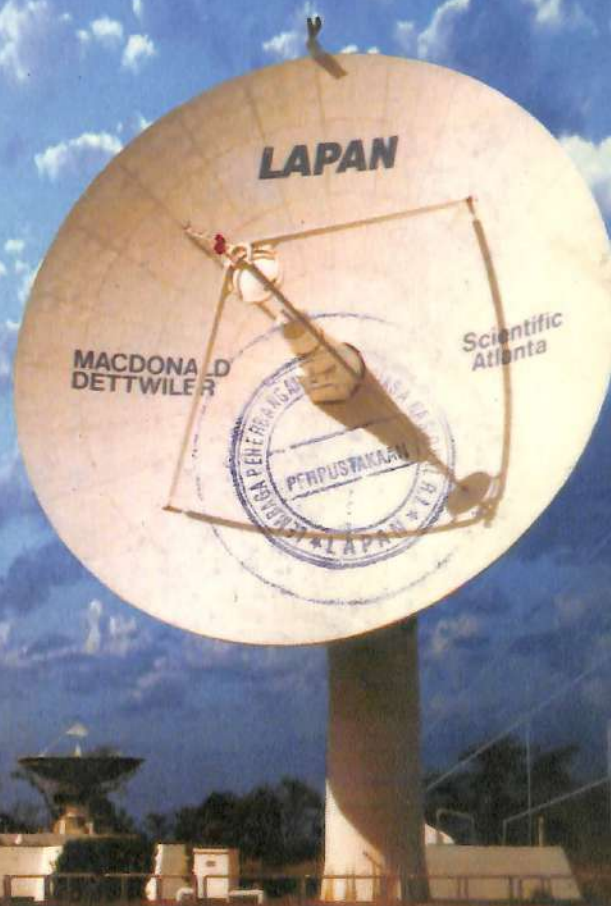


Ir. Mahdi Kartasasmita, MS. Ph.D

# PROSPEK DAN PELUANG INDUSTRI PENGINDERAAN JAUH DI INDONESIA



LISPI

ISBN 979-96004-2-1

9 789799 600424

# Bab I.

## Perkembangan Teknologi Penginderaan Jauh di Indonesia

### 1.1. Perkembangan Teknologi Inderaja

Penginderaan jauh (inderaja), khususnya inderaja dari satelit, berkembang sangat pesat. Negara-negara yang terlibat dalam pengembangan satelit akan makin banyak termasuk dari negara berkembang dan pihak swasta. Selain itu, satelit masa datang akan mempunyai karakteristik yang berbeda dari satelit yang ada sekarang, baik resolusinya yang makin baik, *downlink bit rate*-nya yang juga makin besar, dan jumlah kanal spektral makin banyak (*hyper spectra*).

Di samping itu kepemilikan satelit yang saat ini umumnya dimiliki pemerintah dan beroperasi bukan untuk tujuan "komersial" akan berubah ke pihak swasta dengan basis komersial. Tantangan tersebut bahkan lebih besar dengan adanya arus globalisasi perekonomian dan informasi melalui jaringan internet.

Dari pengalaman operasi, pengetahuan karakteristik pengguna dan perubahan teknologi satelit masa depan serta globalisasi, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) perlu melakukan pengkajian secara seksama. Baik itu menyangkut intern Lapan atau pun dalam lingkup nasional sehingga dapat membuat langkah-langkah strategis yang efisien dan tepat dalam kaitannya terhadap penajaman program masa datang. Harapannya agar tetap dapat memberikan kontribusi penting dalam mendukung kegiatan pembangunan sektor ekonomi, pemantauan lingkungan hidup dan lain-lain.

### Keadaan Inderaja Lapan Saat Ini

Lapan telah terlibat dalam kegiatan inderaja sejak awal tahun 1970-an dan mengalami beberapa tahapan perkembangan. Antara lain tahap pengkajian (1972-1982), eksperimentasi (1982-1992), dan operasional (1993 - sampai sekarang).

Tahap operasional ditandai dengan selesainya proyek *upgrading* stasiun bumi satelit penginderaan jauh di Parepare, Sulawesi Selatan, yang mana peresmian stasiun tersebut dilakukan oleh Presiden Soeharto pada 29 September 1993.

Dalam kurun waktu yang singkat ini telah terjadi aneka perubahan. Misalnya, pada tiga tahun lalu stasiun bumi baru dapat menerima, merekam, mengolah dan mendistribusikan data yang ditransmisikan oleh satelit Landsat dan SPOT.

Namun saat ini stasiun bumi telah mampu menerima, merekam, mengolah, dan mendistribusikan data *synthetic aperture radar* (SAR) dari satelit ERS -1 dan JERS - 1 serta Landsat -7. Selain itu sistem penerima data satelit JERS dan Landsat dapat diintegrasikan sehingga dalam operasi akuisisi data sistem tersebut merupakan sistem komplementer.

Dalam pelayanan pengguna, Lapan saat ini pun telah mampu menyediakan data digital dalam format CD-

ROM. Selain itu dikembangkan pula sistem *browse* katalog yang mudah dioperasikan oleh pengguna serta dapat dikembangkan lebih lanjut agar dapat diakses melalui internet.

Dalam bidang penelitian, Lapan telah mampu memberikan metode dan model aplikasi yang dapat dipakai secara operasional oleh pengguna, seperti pemantauan kekeringan, pemantauan *hot spot* (titik api), pemantauan ITCZ untuk prediksi perubahan iklim global, produksi luas panen, pemantauan perkembangan cuaca dan iklim, pemantauan hutan bakau, dan masih banyak yang lainnya.

## Perkembangan Satelit Masa Depan

Teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan wahana satelit untuk kepentingan nonmiliter telah berkembang sejak diluncurkannya ERS-1 pada bulan Juli 1972. Perkembangan ini makin pesat dengan ditempatkannya satelit-satelit seperti Landsat, SPOT, dan NOAA-AVHRR pada akhir 1970-an dan dekade 1980-an.

Pada dekade 1990, perkembangan tersebut semakin marak dimana teknologi yang awalnya hanya didominasi negara adidaya seperti Amerika Serikat dan Uni Soviet, sekarang mulai dikuasai oleh negara-negara maju di Eropa, Kanada, Jepang, maupun negara-negara berkembang seperti Cina dan India.

Pada dekade ini telah diluncurkan satelit-satelit yang mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan generasi sebelumnya yang kemampuannya terbatas pada

pengamatan permukaan bumi dan kondisi cuaca secara umum.

Sekarang ini, satelit mampu mengamati kondisi lingkungan seperti tutupan ozon, warna air laut, konsentrasi gas rumah kaca, arah angin di laut, suhu permukaan laut, petir, dan fenomena alam lainnya. Pengamatan dilakukan baik dengan sensor pasif (pantulan sinar matahari) maupun sensor aktif (radar).

Berakhirnya perang dingin antara negara-negara adidaya juga memberikan pengaruh terhadap satelit penginderaan jauh. Hal ini ditunjukkan dengan adanya komersialisasi satelit militer Rusia dan pemberian izin penggunaan teknologi satelit beresolusi tinggi (resolusi sampai dengan kurang dari 1 meter) kepada perusahaan swasta oleh pemerintah Amerika Serikat.

Selain itu, terjadi perkembangan menarik beberapa tahun belakangan ini pada kegiatan yang sebelumnya banyak didominasi oleh pemerintah ke partisipasi aktif pihak swasta. Di sisi lain muncul dukungan pemerintah negara-negara berkembang ke lembaga pemerintahannya yang mengelola kegiatan penginderaan jauh.

Dari fenomena ini tidaklah aneh jika di masa mendatang, negara-negara berkembang dan Jepang memiliki peran yang dominan di bidang penginderaan jauh di samping perusahaan swasta dari negara-negara Amerika Serikat, Eropa, dan Kanada. Untuk memberikan gambaran perkembangan teknologi penginderaan jauh sejak dekade 70-an sampai dengan 90-an dan 2000, secara umum dapat dilihat pada tabel berikut:

	Dekade 1970-an	Dekade 1980-an	Dekade 1990-an
Platform/ Sensor / Product	Landsat, MSS (80m, 4 band), Film (B/W, color) dan CCT (raw).  NOAA-AVHRR (1 km, 5 band), Film, CCT (raw).	Landsat MSS & TM (30 m, 7 band, thermal band), Film (Color), CCT (Georef & Geocoded)  SPOT: HRV (20 m, 4 band) CCT (Geocoded) PAN (10 m) stereo pairs, DTM  NOAA-NDV1	NOAA, Landsat 5,7, SPOT-4, ERS-1/2, IERS, ADEOS, IRS  Series, Radarsat, SEASTAR, CBERS, ARIES, dan satelit resolusi tinggi seperti:  ORBVIEW, Spance Imaging, Early Bird, dan Quick Bird.
Pengolahan	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Photo Enlarger</li> <li>♦ Mainframe (Image Analysis)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Photo Enlarger</li> <li>♦ Work Station (Image Analysis)</li> <li>♦ Software Aplikasi (modul)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Nova Jet, Quick Jet printer</li> <li>♦ PC (Image Analysis)</li> <li>♦ Software Aplikasi (3 D)</li> <li>♦ Radar/Interfero- Metrydan Stereo.</li> <li>♦ Hyperspectral</li> </ul>

Berkaitan dengan tabel di atas, ada beberapa informasi penting yang perlu diperhatikan. Pertama, karena kegagalan penempatan Landsat-6 menuju orbitnya maka Landsat-5 (yang masa edarnya atau *life cycle* sudah belasan tahun) masih dapat beroperasi sampai diluncurkan satelit Landsat-7.

Landsat-5 ini terus dioperasikan dengan resiko sewaktu-waktu dapat berhenti beroperasi. Namun jika tidak terjadi bencana paling tidak satelit ini dapat dioperasikan sampai tahun 2000.

Landsat-7 akan dikembangkan ketelitian spasialnya dengan menambah sensor *panchromatik* dengan ketelitian 15 m. Kanal infra merah akan ditingkatkan ketelitiannya dari 120 m menjadi 60 m, sebagai konsekuensinya "Bit-Rate" *downlink* akan ditingkatkan dari 80 MB/s menjadi 150 MB/s yang tentu saja tidak dapat didukung oleh perlengkapan penerima dan perekam data pada stasiun bumi saat ini.

Kedua, pada bulan Oktober 1995, Radarsat yang merupakan konsorsium antara pemerintah dengan industri Kanada, meluncurkan satelit Radarsat-1. Satelit ini merupakan satelit radar yang tercanggih dimana pengguna dapat menentukan resolusi (10 - 500 m) kapan pun di segala cuaca. Artinya, dengan radar yang ada di satelit ini bisa menembus cuaca buruk sehingga bisa digunakan untuk berbagai aplikasi.

Namun untuk aplikasi data Radarsat yang operasional, khususnya yang berkaitan dengan tutupan lahan di daerah tropis masih dalam tanda tanya besar. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) bekerja sama dengan Radarsat akan mencoba kehandalan data tersebut untuk wilayah Indonesia guna keperluan *coastal management*.

SPOT-5 juga mengoperasikan sensor pankromatik dengan ketelitian 2,5 m dan sistem pengambilan gambar stereo dengan menempatkan sensor di depan dan di belakang satelit. SPOT-5 dilengkapi dengan *short wave infrared* (1,50 - 1,75  $\mu\text{m}$ ) yang sensitif untuk tutupan vegetasi yang juga sudah dioperasikan pada SPOT-4. Stasiun bumi Lapan saat ini masih dapat mengambil SPOT 1-4 tanpa melakukan modifikasi. Untuk SPOT-5 modifikasi perlu dilakukan guna memenuhi spesifikasi teknis SPOT 5.

Pemerintah Amerika Serikat memberikan lisensi untuk pembuatan 4 seri satelit beresolusi tinggi, yaitu Orb View yang dimiliki oleh Orbital Sciences dengan rekannya

EIRAD. PR 456 Applied Science, Fairchild Event System dan MDA, serta Early Bird dan Quik Bird yang dimiliki oleh Earth Watch dengan rekanannya Bell Corp, Hitachi, NUOVA Telespazio, CTA dan Datron, dan Space Imaging dari Space Imaging dan rekannya Lockheed, E-systems dan Mitsubishi.

- Orb View mempunyai resolusi multi spektral (XS) 8 m dan Pankromatik (pan) 1 dan 2 dengan luas area 8 x 8 km. Early Bird dengan resolusi XS 15 m dan Pan 3 M, dengan luas area 6 x 6 km untuk Pan dan 30 x 30 km untuk XS. Space Imaging mempunyai resolusi XS 4 m dan Pan 1 m dengan luas area untuk keduanya adalah 60 x 60 km.

Data dari satelit Earth Watch hanya akan dapat diambil oleh stasiun bumi milik perusahaan itu sendiri, sedangkan satelit lain dapat mengirim data ke stasiun bumi asing. Bit-Rate *downlink* dari satelit-satelit resolusi tinggi melebihi kemampuan bit rate *downlink* yang dapat diterima oleh perlengkapan penerima dan perekam data pada stasiun bumi saat ini. Oleh karena itu, jika akan menerima data satelit resolusi sangat tinggi ini perlu peningkatan kemampuan stasiun bumi.

Dari informasi tersebut di atas beberapa pertimbangan perlu memperoleh perhatian dalam menyusun strategi operasi penginderaan jauh Lapan. Untuk mengantisipasi perkembangan teknologi satelit penginderaan jauh di dunia harus dilakukan berdasarkan :

#### a. Kebutuhan dan Sifat Pengguna

Prioritas penyediaan data harus disesuaikan dengan kebutuhan pengguna dan sifat pengguna di Indonesia pada umumnya masih tergantung pada pembiayaan dana pemerintah dan belum berkembang. Kebanyakan pengguna masih berada pada taraf pengkajian atau penelitian, atau belum pada taraf operasional terutama yang berada di daerah.

#### b. Kondisi Alamiah Indonesia

Indonesia secara geografis terletak di daerah tropis dan pengaruh awan sangat dominan bahkan pada daerah-daerah tertentu sepanjang tahun tertutup awan. Jika ingin menerima langsung data satelit dengan resolusi sangat tinggi, awan akan menjadi kendala utama.

Dari pengalaman akuisisi data SPOT, sejak tahun 1993 sampai sekarang untuk mendapatkan image yang *clear* (bebas awan) sangat sulit, apalagi di kawasan

Indonesia timur. Dengan kata lain, diperlukan beberapa usaha akuisisi.

Jika kita ingin menerima data resolusi sangat tinggi yang cakupannya relatif kecil maka untuk mendapatkan citra yang bersih (bebas awan) jauh akan lebih sulit.

### c. Bebas dari Pengaruh Luar

Secara teknis Indonesia memang punya ketergantungan pada kemajuan teknologi dan pengaruh dari perkembangan ekonomi dan politik dunia. Akan tetapi dalam promosi pemanfaatan teknologi hendaknya Indonesia mempunyai satu komitmen, yaitu mengutamakan kepentingan nasional tidak hanya berdasarkan iming-iming yang ditawarkan oleh keunggulan teknologi tertentu saja.

Iming-iming tersebut biasanya dikaitkan dengan isu global yang menyudutkan negara berkembang sebagai penyebab iklim dunia yang tidak sehat seperti pemanasan global akibat kerusakan hutan, pencemaran lingkungan dan lain-lain. Pengalaman telah menunjukkan kepada kita, bagaimana usaha yang dilakukan untuk mempromosikan teknologi penginderaan jauh, khususnya pemanfaatan data resolusi tinggi secara "sporadis" tanpa koordinasi yang mantap dan tanpa melihat kebutuhan serta kemampuan pengguna memberikan hasil yang kurang mengembirakan.

Promosi pemanfaatan data penginderaan jauh (SPOT, SAR) melalui berbagai proyek besar di Indonesia (seperti LREP I, SAR, dan lain-lain) yang dibiayai dari *loan* tidak atau belum memberikan hasil yang mengembirakan. Jika hal ini terulang kembali tidaklah mustahil akan merugikan kita semua di masa mendatang dan dengan sendirinya kepercayaan pemerintah dan masyarakat akan hilang.

### d. Litbang dan Pengkajian Aplikasi Data Radar

Untuk mengatasi kendala liputan awan, sejak akhir tahun 1994 Stasiun Bumi Satelit Penginderaan Jauh Indonesia yang dioperasikan oleh Lapan telah dapat menerima, merekam, mengolah, dan mendistribusikan data nonoptis yaitu data SAR ERS-1. Tahun berikutnya dengan hibah pemerintah Jepang, stasiun bumi mampu menerima data SAR JERS-1.

Lapan sejak menerima data SAR ERS-1 telah secara bertahap mengalihkan penelitian pengembangan model dari pengkajian pemanfaatan lanjutan seperti interferometri dan sebagainya. Saat ini Lapan sedang

mengembangkan perangkat lunak pengolahan data SAR dengan basis PC (pengolahan reduksi *speckle noise*) dan juga untuk interferometri.

Sampai saat ini, operasi pemanfaatan data radar untuk aplikasi tutupan dan penggunaan lahan masih dalam taraf pengkajian dan litbang (penelitian dan pengembangan). Pengguna masih mengalami kesulitan dalam interpretasi.

Namun mengingat data tersebut adalah data produksi dalam negeri dan merupakan aset nasional maka sangat bijaksana apabila data SAR produksi dalam negeri tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal sebelum memanfaatkan data SAR dari satelit lainnya seperti Radarsat, walaupun data Radarsat mempunyai beragam resolusi (10 – 500 m) dan mempunyai peluang aplikasi yang lebih beragam.

Untuk mengatasi kendala (kesulitan) pemanfaatan data SAR ERS-1 dan JERS-1 tersebut perlu dilakukan kerja sama seluruh potensi nasional dengan lembaga-lembaga internasional yang telah mempunyai pengalaman misalnya dengan RESTEC dan lain-lain.

### e. Kontinuitas Akuisisi Data

Saat ini, produk Landsat-5 TM masih merupakan andalan pengguna Indonesia, karena kemampuan resolusi spektralnya yang lebih baik dibandingkan SPOT. Mengingat umur Landsat-5 lebih dari 10 tahun dan sewaktu-waktu tidak dapat dioperasikan maka diperlukan alternatif data misalnya data OPS dari JERS-1 yang relatif mempunyai panjang gelombang setara dengan Landsat TM.

Untuk itu Lapan perlu mengembangkan model-model aplikasi data OPS guna mengantisipasi tidak beroperasinya Landsat-5. Di samping itu data SPOT yang tersedia di Lapan dapat juga dipakai sebagai pengganti data Landsat-TM walaupun kualitas spektralnya tidak sebaik data TM tersebut.

Seperti telah disinggung di atas, peran pemerintah di negara-negara maju dalam mensubsidi program observasi bumi melalui peluncuran wahana satelit akan makin berkurang dan digantikan oleh pihak swasta, kecuali satelit seri IRS (India). Program satelit Landsat dan SPOT hanya akan disubsidi oleh pemerintah AS dan Perancis sampai pada Landsat-7 dan SPOT 5. Selebihnya merupakan murni dana swasta yang memberikan pengaruh terhadap komersialisasi.

Tentu saja ini kurang menguntungkan bagi Indonesia, namun berdasarkan rencana jangka panjangnya, Indonesia baru akan meluncurkan satelit penginderaan jauh pada akhir PJP II. Oleh sebab itu selama kurun waktu tersebut pada ruas antariksa teknologi penginderaan jauh kita masih tergantung dari teknologi satelit luar negeri.

Posisi ini mengisyaratkan kita untuk secara seksama mengkaji kebutuhan nasional untuk kemudian menetapkan kebijaksanaan dan program yang tepat dalam mengembangkan penginderaan jauh di Indonesia.

#### **f. Peningkatan Kemampuan Stasiun Bumi**

Biaya *downlink* Landsat -7 lebih murah daripada biaya untuk Landsat-5 yaitu \$ US 250.000/tahun dan pengguna dapat memperoleh data mentah yang diperlukan dengan memesan langsung ke USGS dengan biaya yang sangat murah (perhitungan saat ini sebesar US \$600).

Mengingat pengalaman operasi pelayanan dan pemanfaatan data inderaja di berbagai sektor pembangunan nasional maka Lapan harus tetap "*commit*" terhadap kebutuhan pengguna. Caranya dengan memohon jaminan pemerintah untuk tetap mensubsidi dana bagi peningkatan kemampuan stasiun bumi satelit Parepare – Pekayon sehingga tetap mampu menyediakan data satelit penginderaan jauh khususnya Landsat -7 secara kontinyu.

Selain manfaat data Landsat-TM yang telah dirasakan oleh pengguna di Indonesia, biaya *downlink* tahunannya lebih murah dibandingkan dengan satelit-satelit lain seperti yang terlihat di bawah ini:

Space Imaging belum menentukan *annual reception fee*, namun tidak akan berbeda jauh dengan Orbview, sedangkan Earth Watch hanya akan mendistribusikan datanya melalui distributor yang ditunjuk.

Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Indonesia yang dioperasikan oleh Lapan saat ini telah selesai di *up grade* untuk menerima, merekam, mengolah dan mendistribusikan data satelit Landsat-7. Peningkatan kemampuan stasiun bumi tersebut untuk menerima dan mengolah Landsat-7 dilakukan dengan pembiayaan yang bersumber dari anggaran pembangunan melalui Proyek Pelayanan Jasa dan Produk Penginderaan Jauh TA 1999/2000 dan Proyek Rancang Bangun TA 2000.

### Koordinasi Nasional

Koordinasi adalah suatu proses yang mengatur tata hubungan dari usaha bersama untuk memperoleh kesatuan tindakan dalam usaha pencapaian tujuan secara efektif dan efisien. Dalam hal mengantisipasi perkembangan teknologi penginderaan jauh saat ini dan teknologi satelit di masa datang, khususnya yang berkaitan dengan pengkajian aplikasi terhadap data baru perlu mekanisme koordinasi nasional yang mantap yang dapat dipakai sebagai alat manajemen.

Fungsinya sebagai sarana pengendalian program pengkajian dan pemanfaatan data penginderaan jauh dan pendorong kerja sama antar instansi dan disiplin dalam integrasi program. Dengan potensi nasional yang ada, termasuk pengguna, sehingga hal-hal yang dapat merugikan Indonesia dapat diantisipasi atau diperkecil.

Selain itu koordinasi nasional merupakan sarana untuk menciptakan kesadaran urgensi antara pemanfaatan teknologi dan pembangunan nasional dan dengan

koordinasi sumber daya dapat dimanfaatkan secara tepat pada saat yang tepat pula.

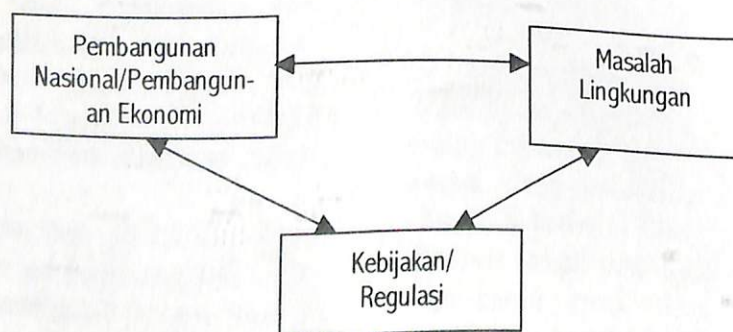
Sedangkan untuk operasional penyediaan data penginderaan jauh secara langsung perlu melalui "satu pintu", yaitu stasiun bumi satelit penginderaan jauh yang telah ada, karena jika dilakukan pembangunan stasiun bumi yang baru maka biaya operasi makin bertambah.

Berdasarkan pengalaman dan penelitian yang pernah dilakukan di beberapa stasiun bumi di negara lain, *reception fee* tidak dapat terbayar dari operasi distribusi data. Kebijakan satu pintu sangat relevan apabila dikaitkan dengan keberadaan data satelit resolusi sangat tinggi di masa datang dari visi komersialisasi. Untuk itu diperlukan usaha guna melahirkan produk hukum yang mengatur pemanfaatan data penginderaan jauh.

### Peningkatan Operasi Pemanfaatan dan Pengkajian Lingkungan

Pembangunan nasional yang sedang dan akan terus dilakukan secara berkesinambungan merupakan pembangunan yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat baik material maupun spiritual.

Namun dalam praktek pelaksanaannya sering timbul eksek terhadap kelestarian lingkungan hidup dan berdampak global. Pembangunan ekonomi, masalah lingkungan, dan kebijakan serta peraturan mempunyai keterkaitan yang erat seperti dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Pembangunan ekonomi cenderung mempertinggi investasi dan mengkonsumsi sumber alam secara besar-besaran. Hasil dari pembangunan ekonomi dapat mempertinggi pendapatan dan memperkuat daya beli masyarakat sehingga produksi yang dikonsumsi masyarakat pun makin beraneka ragam.

Konsumsi masyarakat tersebut memberikan buangan (residu) yang beraneka ragam pula dimana semuanya di buang ke lingkungan. Akibatnya alam rusak. Kerusakan lingkungan tersebut akan menurunkan tidak hanya kualitas lingkungan atau merusak daya dukung bagi pembangunan, tapi juga merusak kehidupan masyarakat dan daya dukung pembangunan.

Lebih dari itu kerusakan tersebut tidak terbatas pada suatu daerah (kawasan) tertentu tapi dapat berdampak global. Dampak lingkungan berupa penurunan kualitas lingkungan global seperti penipisan lapisan ozon, pemanasan global, banjir, dan lain-lain yang disebabkan oleh pencemaran udara, laut dan darat, eksploitasi hutan dan sebagainya.

Untuk itu perlu dilakukan upaya penanganan lingkungan secara intensif seperti pemanfaatan dan litigasi agar dampak negatif yang timbul terhadap kehidupan manusia bisa diantisipasi. Lebih jauh penanganan lingkungan sebenarnya adalah usaha memelihara dan mempertahankan keberlangsungan ekologi yang merupakan prasyarat mempertahankan keberlanjutan pembangunan nasional dan kehidupan masyarakat.

Penanganan lingkungan memerlukan tidak hanya perangkat kebijaksanaan dan *regulation* tapi juga pemantauan lingkungan secara terus-menerus. Dengan dukungan teknologi yang dapat memberikan (menyajikan) informasi spasial dan nonspasial dari kondisi lingkungan hidup sehingga usaha pelestarian dapat dicapai sesuai dengan saran yang diharapkan. Usaha terus-menerus untuk memantau lingkungan hidup dan kondisi sumber alam akan lebih berdaya dan berhasil guna jika dilakukan dengan dasar struktur kegiatan yang jelas, misalnya dengan membentuk pusat pemantauan bumi (PPB) di bawah naungan Lapan yang mempunyai tugas rutin untuk memantau secara *real time* kondisi berupa:

a. lingkungan darat seperti pemantauan kekeringan, pemantauan kebakaran hutan/lahan, pemantauan perubahan penutup lahan, pemantauan banjir, indikasi sedimentasi, lahan kritis longsor, dan erosi.

b. lingkungan laut seperti operasi pemantauan *sea surface temperature* (SST) dan hubungannya dengan pemanasan global, pemantauan tumpahan minyak di laut, pemantauan konsentrasi es di laut (hubungannya dengan perubahan garis pantai di daerah tropis).

c. pemantauan lingkungan udara seperti pemantauan *intertropical convergence zone* (ITCZ) hubungan dengan perubahan iklim, pemantauan distribusi ozon dan CO<sub>2</sub>, dan penyebaran debu vulkanis kaitannya dengan pencemaran lintas batas. Kondisi penyampaian informasi lingkungan secara (hampir) *real time* adalah wajar karena Lapan mengoperasikan Stasiun Bumi Inderaja serta berkemampuan teknis untuk menjamin kehandalan operasionalnya dan telah menguasai metodologi untuk menghasilkan informasi lingkungan.

Keberadaan PPB ini dapat mendukung pembangunan di Daerah Tingkat II yang umumnya tidak mempunyai data akurat tentang kondisi lingkungan dan sumber alam di daerahnya. Kalau pun ada kemungkinan data tersebut sudah kadaluarsa, namun dapat dijadikan sebagai acuan. PPB juga dapat dipakai oleh para perencana di wilayah untuk membuat penataan ruang.

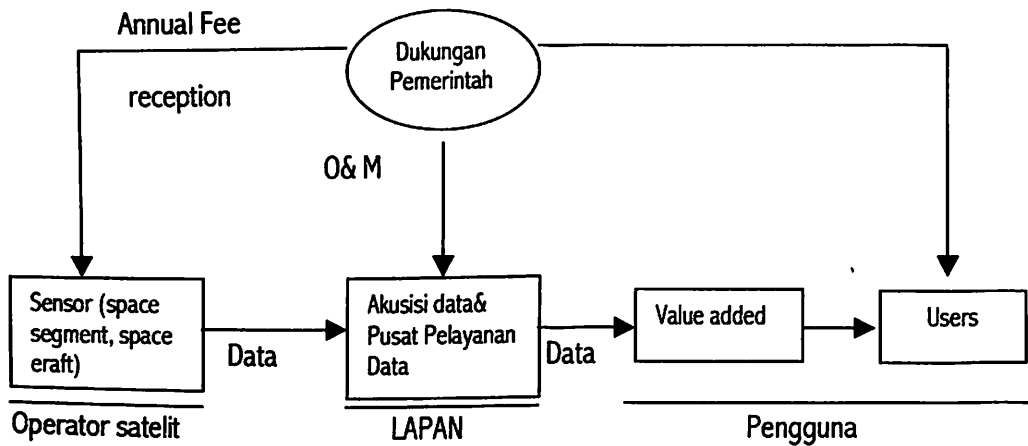
Selain kegiatan operasi pemantauan lingkungan seperti disebutkan di atas, Lapan juga akan tetap melaksanakan kegiatan pengkajian metode dan model lain untuk aplikasi lingkungan, khususnya berkaitan dengan masalah kelautan. Dengan berhasilnya satelit ADEOS (*advanced earth observation satellite*) ditempatkan pada orbitnya pada 17 Agustus 1996 yang lalu maka peluang untuk melakukan pengkajian masalah kelautan makin lebar karena satelit ini membawa sensor OCTS (*ocean color and temperature scanner*).

Dengan sensor ini kita bisa mendekteksi warna air laut, temperatur permukaan, konsentrasi klorofil dan sebagainya. Informasi itu tentunya lebih dari sekedar penentuan suhu permukaan laut seperti yang dapat diturunkan dari data NOAA AVHRR.

Dengan sensor ini pula terbuka peluang untuk membuat *fish finding map* dengan basis harian. Selain itu, satelit ADEOS membuka peluang untuk aplikasi lingkungan seperti pemantauan dan pengukuran perubahan stratosfir yang terjadi oleh pengaruh emisi CFC, dan profil vertikal ozon. Namun sayangnya satelit ADEOS-1 ini sudah tidak beroperasi lagi. ADEOS-2 dalam waktu dekat (tahun 2002) direncanakan akan diluncurkan.



## Pengembangan Pasar



Model distribusi data/informasi penginderaan jauh di Indonesia saat ini adalah seperti pada gambar di atas. Dalam mengembangkan teknologi penginderaan jauh pemerintah telah memberikan dukungan untuk operasi akuisisi dan perawatan sistem stasiun bumi penginderaan jauh dan pembayaran *annual fee reception* untuk Landsat TM.

SPOT dan ERS-1 juga memberikan dukungan keuangan bagi perolehan data lain misalnya dari airborne sensor dan sebagainya. Dari dukungan keuangan untuk perolehan data melalui operasi SBPJ sejak diresmikan tahun 1994 sampai dengan Desember 1996 telah merekam sebanyak 13.260 *scene* data Landsat-TM, 46.505 *scene* data SPOT dan 3.500 *scene* data SAR ERS-1, 1100 *scene* OPS dan SAR JERS-1. Operasi SBSLC telah merekam data NOAA paling tidak satu kali tiap hari dan dua kali untuk data GMS.

Data tersebut di atas merupakan produksi dalam negeri dan merupakan aset nasional untuk mewujudkan wawasan Nusantara. Karena itu data tersebut harus dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk kepentingan pembangunan nasional.

Dari model itu dukungan keuangan untuk ekstraksi informasi yang dibutuhkan oleh pengguna khususnya instansi pemerintah belum memadai baik untuk mendukung kebutuhan informasi sektor-sektor ekonomi pembangunan atau pun sektor pendidikan dan litbang, sehingga informasi yang mampu diekstraksi untuk kebutuhan pengguna masih belum banyak dan tentu saja arus distribusi data menjadi kurang.

Namun demikian distribusi data tahun 1995 khusus produk dalam bentuk *hard copy* (citra) meningkat dibandingkan dengan distribusi data pada tahun 1994. Distribusi tersebut belum berimbang.

Data Landsat TM lebih banyak didistribusikan daripada data SPOT dan ERS-1 dan data TM yang didistribusikan pun pemanfaatan dan penggunaan belum optimal, lebih banyak ( $\pm 70\%$ ) dimanfaatkan untuk sektor kehutanan, pertanian, dan pendidikan (untuk tugas akhir) dan sisanya untuk sektor lain seperti geologi, *coastal management* dan lain-lain. Untuk tahun 1996 pemanfaatan tidak berbeda jauh walau dengan distribusi tetap dalam trend naik.

Bila dilihat dari kecenderungan hasil penjualan global data Landsat pada tahun 1995 turun sebesar 9% kecuali Australia dan penurunan terbesar terjadi di pasar Amerika dan Eropa, maka hasil pendistribusian data oleh Lapan sebenarnya tidaklah buruk. Kenaikan distribusi data pada tahun 1995 dan 1996 diakibatkan oleh telah berkembangnya pengguna yang memanfaatkan data penginderaan jauh khususnya pengguna di instansi pemerintah pusat.

Belum optimalnya pengguna data satelit penginderaan jauh disebabkan oleh beberapa faktor, baik faktor internal ataupun eksternal. Faktor eksternal yang dimaksud adalah faktor yang berasal dari luar Lapan seperti keterbatasan sarana/prasarana di instansi pengguna, kemampuan pendanaan dan sumber daya manusia di instansi pengguna terutama di Daerah Tingkat I dan II di luar Jawa dan *declining price policy* berdasarkan

aspek *time value of information* dan *utility* yang dijalankan oleh para operator stasiun bumi tetangga seperti Thailand, dan Australia.

*Declining policy* ini memberikan peluang kepada pengguna untuk memperoleh data wilayah Indonesia relatif murah dan umur data pun makin membuat data tersebut makin murah lagi.

Sedangkan faktor internal penyebab belum optimalnya pendistribusian data terutama disebabkan oleh belum mantapnya aspek legal pelayanan dan distribusi data yaitu belum mendapat ijin untuk menjadi lembaga swadana.

Kemungkinan lain dari masalah intern yang di waspadai Lapan adalah kualitas data. Saat ini, khusus untuk data Landsat, Lapan tengah mengkaji kemungkinan terjadi penurunan mutu akibat umur satelit yang telah lewat. Pengkajian *quality assurance* untuk tetap menjaga mutu produk dan bekerja sama dengan ACRES untuk hal tersebut.

Data yang didistribusikan dan karakteristik pengguna dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini.

Dari pengalaman operasi pelayanan data maka pengguna data satelit penginderaan jauh dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Pengguna operasional yaitu pengguna yang telah memanfaatkan data satelit penginderaan jauh dan mengekstraksi informasi yang dibutuhkannya secara rutin untuk kepentingan manajemen sumber alam, pemantauan lingkungan, pemetaan, dan lain-lain. Pengguna yang termasuk dalam kategori ini antara lain perusahaan pemegang HPH, Bakosurtanal, Departemen Transmigrasi, Departemen Kehutanan, dan BPN. Pengguna pada kategori ini biasanya telah mempunyai kemampuan dana SDM dan peralatan.
- Masyarakat ilmiah adalah individu atau instansi yang memanfaatkan data penginderaan jauh mengekstraksi informasi untuk mengkaji kemanfaatan data untuk mendapatkan pemahaman dari pengetahuan dan teknologi pengamatan bumi. Pengguna yang termasuk dalam kategori ini antara lain peneliti, perguruan tinggi, BPPT, Lapan, dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Kecuali BPPT, pengguna pada kategori ini mempunyai dana terbatas. Sedangkan

peralatan untuk penurunan informasi banyak yang sudah memadai.

- Potensi *user* adalah pengguna yang lingkup tugas dan fungsinya mempunyai potensi untuk menjadi pengguna data penginderaan jauh. Umumnya pengguna pada kategori ini telah mengenal dasar-dasar penginderaan jauh. Hanya karena keterbatasan dana, peralatan, SDM, dan *awareness* dari pimpinannya sehingga teknologi penginderaan jauh belum dimanfaatkan pengguna. Yang termasuk dalam kategori ini adalah Departemen Pertanian, Pemda, dan Bappeda. Selain itu yang termasuk dalam kategori ini adalah pengguna yang tidak atau belum mengenal kemampuan penginderaan jauh nasional seperti pengguna asosiasi pertambangan Indonesia. Asosiasi ini lebih mengenal para surveyor atau distributor data luar negeri.

Pengguna, khususnya pengguna operasional dan pengguna potensial, memerlukan data atau informasi yang dapat membantu pekerjaan mereka dengan karakteristik seperti informasi atau data mudah didapat, bisa dimanfaatkan secara langsung, akurat, dan berhasil guna. Untuk pengguna operasional yang memiliki fasilitas pengolahan biasanya membutuhkan data digital. Sedangkan untuk mereka yang tidak mempunyai fasilitas pengolahan digital biasanya membutuhkan *hard copy* dan interpretasinya dikerjakan oleh mereka sendiri atau melalui *private company (consultant)*.

Bagi pengguna potensial biasanya mereka membutuhkan informasi untuk memenuhi kebutuhan informasi mereka. Sebagai implikasi dari kebutuhannya dan sesuai dengan kemampuan (terutama dana) sehingga akan terjadi persaingan yang ketat. Oleh karena itu keberhasilan operasi pendistribusian data tergantung dari kesiapan data dan *information providers* untuk melayani kebutuhan pengguna akan mempengaruhi kebijakan dalam operasi akuisisi data.

Melihat model di atas dan distribusi yang telah dicapai, maka untuk meningkatkan *revenue* ada dua pendekatan yang akan ditempuh yaitu berkonsentrasi pada pengguna yang memanfaatkan data satelit penginderaan jauh (seperti pengguna di sektor pertanian, pertambangan, dan lain-lain). Atau membiarkan pasar data

Landsat yang sudah cukup mapan dan cenderung menurun tapi menggalang pengguna untuk memanfaatkan data SPOT.

Untuk kedua kasus ini perlu dilakukan kegiatan pemasaran yang proaktif (*direct marketing*). *Sales promotion* secara *direct marketing* ini tentunya perlu pula didukung oleh kegiatan lain seperti pengadaan infrastruktur untuk mendukung kemudahan akses data melalui jaringan internet, mengadakan seminar, kerja sama penelitian dan ditampilkan kepada pengguna hasil kegiatan penelitian yang dilakukan oleh Lapan.

Melalui kerja sama riset maka akan terjadi transfer pengetahuan dan kemampuan sehingga pada saatnya setelah pengguna mempunyai kemampuan untuk memanfaatkan teknologi penginderaan jauh diharapkan akan memerlukan data yang diproduksi Lapan.

Pendekatan yang lain adalah membuat distribusi data atau informasi satelit penginderaan jauh melalui anggaran pemerintah secara terpadu atau melalui komersialisasi. Artinya, pemerintah menyediakan dana untuk keperluan akuisisi, pengolahan, ekstraksi informasi pengadaan peralatan, biaya operasi dan perawatan kepada stasiun bumi. Stasiun bumi mempunyai kewajiban sepenuhnya untuk menyuplai data atau informasi kepada pengguna instansi pemerintah yang membutuhkannya. Dan dana anggaran kebutuhan data pengguna dilimpahkan ke stasiun bumi untuk keperluan tersebut.

Sedangkan skenario komersial memberikan dana kepada pengguna untuk mendapatkan data atau informasi sesuai kebutuhannya dari siapa saja yang dapat menyuplai kebutuhan tersebut.

## Kelembagaan dan Kebijakan

Ada tiga hal yang mendasar berkaitan dengan kelembagaan dan kebijakan yang perlu diperhatikan yaitu legal aspek pelayanan dan distribusi data, penyesuaian dan pengaturan tugas dan fungsi bidang karena beban kegiatan operasional yang makin tinggi, serta kebijaksanaan harga.

Status pelayanan dan distribusi data adalah saatnya dipikirkan kembali untuk direalisasikan mempunyai status sebagai unit pelaksana teknis (lembaga swadana) agar dapat mendukung pendistribusian yang optimal. Untuk itu perlu segera dibentuk tim untuk kembali mengkaji

kemungkinan pembentukan lembaga swadana dan sekaligus mengkaji peluang pemasaran data atau penginderaan jauh.

Operasi penyajian data dan informasi untuk pemantauan lingkungan merupakan kegiatan yang berlangsung terus-menerus (rutin). Untuk menyajikan informasi tentang lingkungan tersebut membutuhkan sumberdaya yang tidak sedikit baik peralatan, SDM, ataupun waktu.

Sementara tugas dan fungsi bidang, khususnya bidang-bidang aplikasi, adalah melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan model, metode dan prosedur pemanfaatan data dalam bidang pertanian, kelautan, geologi, lingkungan, dan lain-lain. Agar tidak mengganggu pelaksanaan tugas dan fungsi yang diemban oleh bidang-bidang tersebut maka diperlukan pengaturan-pengaturan lebih lanjut khususnya yang berkaitan dengan uraian tugas.

Selain itu, karena pemantauan lingkungan merupakan kegiatan yang menyangkut multi disiplin dan membutuhkan sumber daya dari berbagai unit kerja maka diperlukan prosedur tata hubungan kerja dan koordinasi yang mantap.

Di atas disinggung bahwa stasiun bumi negara tetangga melakukan kebijaksanaan *declining price* dengan dasar *time value of information* dan aspek utilitas (kemanfaatan). Sebagai contoh, harga data tahun 1994 akan lebih murah dibandingkan dengan data tahun 1996. Apalagi ditambah bahwa data Indonesia mempunyai efek utilitas yang kecil bagi stasiun bumi negara tetangga. Sehingga harga data wilayah Indonesia didistribusikan ke pengguna Indonesia dengan harga jauh lebih murah dibandingkan dengan harga yang ditawarkan oleh Lapan.

Untuk meningkatkan kemampuan bersaing dengan penyedia data lainnya maka harga data produk Lapan saat ini perlu dikaji kembali. Jika memungkinkan maka perlu dicarikan alternatif lain dengan menghimbau pemerintah agar mengeluarkan peraturan pemakaian data dalam negeri dan pengaturan perolehan data penginderaan jauh dari luar negeri. Namun pada saat ini harga data produk Lapan, berdasarkan PP No.67 Tahun 2000 tentang Tarif atas jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) Lapan relatif murah. Dan harga yang dicantumkan pada tarif tersebut dalam mata uang nasional (rupiah).

## Sumber Daya Manusia

Pengembangan kemampuan baik untuk meningkatkan kemampuan teknologi (*hardware* dan *software*) untuk akuisisi, pengolahan, dan pelayanan data seperti yang telah dicapai saat ini perlu ditingkatkan. Namun yang lebih penting dari itu semua adalah sikap konsistensi dan terencana dalam pembinaan dan pengembangan sumber daya manusia (*human ware*) karena sumber daya manusia merupakan aset terbesar dan terpenting bagi suatu organisasi. Apalagi didorong oleh kebijaksanaan *zero growth* yang diterapkan pemerintah dalam penerimaan pegawai negeri sipil.

Pembinaan dan pengembangan sumber daya manusia (SDM) dapat dilakukan melalui berbagai bentuk sesuai dengan kebutuhan dan fungsi dan program atau sasaran organisasi. Bentuk-bentuk pembinaan dapat berupa pem-binaan profesionalisme (fungsional) melalui pembinaan, rekayasa, dan rancang bangun teknologi penginderaan jauh dan teknologi satelit dan hal-hal lain yang relevan melalui jalur pendidikan formal, pelatihan ataupun seminar dan pembinaan kemandirian dan disiplin.

Selain itu, mengingat kegiatan operasional pemanfaatan penginderaan jauh semakin banyak seperti kegiatan pemantauan lingkungan global melalui pemantauan lingkungan darat, laut dan udara, maka perlu pe-ngaturan sumber daya manusia secara efisien. Metodologi pemantauan merupakan metodologi yang sudah operasional, sehingga kegiatan pemantauan tentu saja sudah berkurang tingkat pengembangan ilmiahnya.

Oleh karena itu, agar para peneliti dapat berkonsentrasi untuk mencari metode atau model yang akan memberikan nilai tambah dalam pengembangan pengetahuan maka para peneliti harus lebih diarahkan kepada penelitian untuk pengembangan model dan metode, dan kegiatan pemantauan diserahkan kepada pejabat fungsional litkayasa.

## Penutup

1. Peningkatan kemampuan stasiun bumi sebaiknya ditunjukkan untuk memenuhi kebutuhan pengguna, khususnya untuk menerima data dimana pengguna telah mampu memanfaatkannya dan telah teruji kemanfaatannya dalam mendukung operasi rutin para pengguna. Untuk itu peningkatan sistem stasiun bumi penginderaan jauh LAPAN di Parepare dan Pekayon

dilakukan untuk menerima, mengolah, dan mendistribusikan data Landsat 7, NOAA generasi baru, dan GMS-5.

2. Untuk pengajian penerimaan data dan satelit baru lainnya sebaiknya dilakukan melalui mekanisme koordinasi nasional berdasarkan antara lain kebutuhan dan karakteristik pengguna Indonesia serta dilakukan dengan cara sejauh mungkin bebas dari pengaruh kepentingan luar negeri yang merugikan operasional akuisisi data agar dilakukan dengan kebijaksanaan satu pintu yaitu melalui Lapan, baik pemesanan langsung atau tidak langsung.

3. Pemantauan lingkungan yang hampir *real time* menggunakan data satelit Inderaja perlu terus ditingkatkan melalui suatu kegiatan yang berkesinambungan dan terencana bukan hanya melalui kegiatan proyek. Oleh karena itu diperlukan struktur kegiatan yang kongkrit misalnya melalui pembentukan Pusat Pemantauan Bumi (PPB) di bawah naungan Lapan.

4. Pengembangan pasar data Inderaja perlu ditingkatkan, khususnya bagi pengguna seperti sektor pertanian dan pertambangan. Bagi pengguna yang operasional maka perlu dikampanyekan pemanfaatan data radar dan SPOT. Peningkatan pemasaran dapat pula dilakukan dengan melalui skenario komersial dan anggaran pemerintah terpadu. Selain itu, sudah saatnya Lapan mempromosikan arsip datanya lewat internet.

5. Litbang diarahkan untuk pemanfaatan data radar atau SAR baik secara komplementer dengan data optik maupun data radar berdiri sendiri. Selain itu perlu mulai melakukan pengkajian pemanfaatan data ADEOS untuk keperluan pemantauan lingkungan laut dan untuk mendukung produksi perikanan nasional.

6. Usaha pembentukan lembaga swadana perlu kembali dirintis, agar dapat memberikan keleluasaan bagi LAPAN dalam melayani pengguna secara langsung. Demikian pula dengan harga produk perlu dikaji kembali agar dapat bersaing dengan para operator stasiun bumi negara tetangga lainnya yang melaksanakan kebijaksanaan *declining price*.

pemanfaatan penginderaan jauh dilakukan dengan memperhatikan kebutuhan pengguna.

Berikut adalah sebagian kegiatan penginderaan jauh di Lapan.

- Pengembangan prototipe pengolahan data berbasis PC (32 bit, *single user*, dan 64 bit *multi user*)
- Pengembangan sistem penerima transmisi data satelit dengan laju transmisi rendah (*low bit user*)
- Pengembangan metode pengolahan dan aplikasi radar (pengolahan produk standar ERS-2, interferometri, komplementari data SAR dengan data Optis dan lain-lain).
- Pengembangan model penentuan parameter standar untuk peningkatan klasifikasi berbagai aplikasi seperti pertanian, perkebunan, urban, dan sebagainya.
- Program pemantauan bumi melalui pengembangan model operasional untuk antara lain pemantauan kebakaran, pemantauan kekeringan, pemantauan kerusakan terumbu karang, pemantauan perubahan iklim dengan ITCZ, pemantauan degradasi daya serap air, pemantauan kondisi hutan mangrove, pemantauan suhu permukaan laut, dan lain-lain. Beberapa program di atas seperti pemantauan kekeringan, kebakaran hutan, pemantauan iklim global (ITCZ) secara rutin (bulanan) dilaporkan kepada pemerintah.
- Diversifikasi produk (*hard copy*, CCT, CD ROM, *exabyte*, Digital Audio Tape/DAT).
- Operasi pelayanan pengguna.
- Studi sistem *Direct Data Capture* untukantisipasi akuisisi data satelit masa depan dan persiapan "*upgrading*" stasiun bumi penginderaan jauh Lapan di Parepare dan stasiun satelit lingkungan dan cuaca di Jakarta.

### c. Data, Distribusi, dan Biaya

#### • Data yang Tersedia

Operasi stasiun bumi penginderaan jauh di Parepare telah menerima dan merekam data TM lebih kurang sebanyak 11.282 *scenes*, SPOT 28.315 *scenes*, dan ERS 1 & 2 3.173 *scenes*. Operasi dari akuisisi data tidak selalu sukses, karena anomali pada satelit, konflik waktu transmisi satelit, peralatan yang rusak, kesalahan dalam pemrograman satelit, dan data yang di-*request* ditolak oleh operator satelit.

Data mentah yang dikirim dari Parepare, dibuatkan katalog, diolah menjadi data master sesuai dengan permintaan pengguna. Pengolahan data tidak dapat mencapai 100% karena kendala liputan awan atau pun karena signal yang ditransmisi satelit yang direkam kurang baik (lemah). Kendala liputan awan, khususnya untuk daerah Indonesia Timur sangat besar sekali, hanya kira-kira 40% dari data yang direkam mempunyai kualitas yang baik, bebas awan.

Data satelit penginderaan jauh ini telah dimanfaatkan oleh berbagai instansi pemerintah seperti BPPT, Bakosurtanal, BPN, Departemen Kehutan, Transmigrasi, Pekerjaan Umum, Dalam Negeri, Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, Bappeda, Bapedal, dan lain-lain.

Instansi swasta yang telah memanfaatkan produk Lapan antara lain adalah para surveyor atau konsultan yang berkecimpung dalam usaha jasa informasi kebumiharian, pengusaha pertambangan atau eksplorasi, dan lain-lain. Pengguna luar negeri antara lain datang dari negara Malaysia (MACRES), Filipina, EOSAT-USA, ACRES (Australia), Jepang, dan lain-lain. Umumnya pengguna memberi respon yang positif terhadap produk yang dihasilkan.

Untuk produk *hard copy* tidak pernah dikeluhkan oleh pengguna. Keluhan terjadi pada produk digital karena terdapat masalah pada *software* yang dimiliki pengguna "yang tidak dapat membaca" dengan benar. Namun setelah diberikan petunjuk untuk mengoperasikan *software* tersebut, pengguna dapat membacanya dan melanjutkan pengolahan data. Masalah pada *software* sebenarnya merupakan masalah biasa yang selalu dan akan terus dihadapi oleh para penyedia data penginderaan jauh.

#### • Jenis Produk

Jenis produk data yang dihasilkan LAPAN antara lain dalam bentuk *hard copy* dan digital dalam media CCT (*Computer Compatible Tape*), CD ROM, *Exa Byte*, dan *Digital Audio Tape* (DAT). Selain jenis produk yang dibedakan atas media penyimpanan, terhadap pula jenis sebagai berikut:

- ♦ Produk standar dengan tingkatan-tingkatan yang berbeda tergantung kebutuhan yang terdiri dari produk *bulk*, produk *georeference*, dan produk *geocoded*. Produk *bulk* adalah produk yang sudah terkoreksi secara radiometrik dan geometrik. Produk *georeference* adalah produk yang terkoreksi secara sistematis dan presisi. Produk *geocoded* adalah

produk yang terkoreksi penajaran dengan proyeksi peta standar.

- ◆ Produk informasi (*value added product*).
- Distribusi Data dan Usaha Lapan

Salah satu fungsi Lapan dalam bidang penginderaan jauh adalah sebagai bank data penginderaan jauh nasional sesuai Keppres No. 33/1988 dan Keppres No. 24/1994. Tugas Lapan lainnya adalah mendistribusikan data satelit penginderaan jauh untuk kepentingan pembangunan nasional dan melayani kebutuhan pengguna terhadap data satelit penginderaan jauh.

Distribusi data sejak operasional pada 1994 terus mengalami trend yang meningkat. Data satelit penginderaan jauh yang telah didistribusikan pada tahun 1996 kurang lebih 700 *scene* dari berbagai jenis satelit (terutama Landsat TM), produk, dan media. Jumlah ini kira-kira empat kali luas cakupan satelit untuk wilayah Indonesia.

Selain itu, Lapan juga telah melayani kebutuhan pengguna tanpa memungut biaya. Misalnya untuk keperluan penelitian mahasiswa, dan membantu Pemda.

Dalam mendistribusikan data penginderaan jauh dan memenuhi kebutuhan Lapan telah melakukan berbagai usaha antara lain adalah:

- ◆ Pengembangan sistem *browse catalog* yang dapat membantu dan memudahkan pengguna untuk mengetahui secara cepat tentang kualitas data dari daerah *interest* pengguna.
- ◆ Untuk meningkatkan kualitas produk, LAPAN melakukan kerja sama dengan ACRES (Australia), DLR (Germany), NASDA (Jepang), ISRO (India).
- ◆ Mempercepat *delivery time*. *Delivery time* yang dipersyaratkan oleh EOSAT bagi para operator stasiun bumi adalah sepuluh hari kerja sejak dilakukan pemesanan data. Lapan menetapkan *delivery time* selama tujuh hari kerja. Khusus untuk data *digital delivery time* dapat dilaksanakan sampai tiga hari kerja.
- ◆ Penunjukan distributor. Kini terdaftar 15 perusahaan swasta sebagai distributor.
- ◆ Memberikan pelatihan dan konsultasi kepada pengguna.
- Biaya

Biaya data satelit penginderaan jauh bervariasi tergantung jenis data dan media penyimpanannya. Biaya produk *bulk*, *georeference*, dan *geocoded* untuk produk standar masing-masing berbeda karena ada perbedaan

komponen waktu, ketelitian, dan kebutuhan data penunjang seperti GCP (*ground control point*) yang diperoleh dari pengukur di Lapangan.

Biaya untuk produk standar umumnya mengikuti standar internasional berdasarkan acuan operator satelit dan umumnya biaya produksi Lapan relatif lebih murah, karena komponen tenaga kerja dan bahan lebih murah. Sedangkan biaya untuk *value added product* masih ditambah dengan komponen analisa, biaya *expertise* yang disari dari seminar dan pembuatan laporan akhir.

Sedangkan komponen pembiayaan dari biaya produksi adalah berupa komponen biaya akuisisi, komponen biaya pengolahan data dan pelayanan, komponen pembiayaan untuk penentuan biaya dasar yang lebih rinci dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Jenis Biaya	Komponen Biaya
Biaya akuisisi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Direct material</li> <li>2. Direct labor cost</li> <li>3. Sparepart</li> <li>4. Maintenance</li> <li>5. Operation and maintenance</li> <li>6. Proporsi biaya perekaman data</li> </ol>
Biaya pengolahan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1— 5 sama dengan di atas</li> <li>6. Proporsi biaya pengolahan data</li> </ol>
Biaya pelayanan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bahan</li> <li>2. Labor cost</li> <li>3. (service khusus)</li> </ol>

## Penutup

Data penginderaan jauh Lapan telah didistribusikan untuk melayani kebutuhan berbagai pengguna, baik instansi pemerintah maupun swasta. Lapan telah melaksanakan berbagai usaha atau kegiatan dalam rangka melayani kebutuhan pengguna antara lain adalah diversifikasi produk, pengembangan model operasional pemanfaatan penginderaan jauh, penelitian pengolahan data *Synthetic Aperture Radar*, peningkatan kualitas produk dengan menjalin kerja sama bersama operator stasiun bumi ( seperti ACRES, ISRO, DLR) dan melaksanakan pelatihan bagi pengguna.

## 1.3. Pengamatan Bumi Indonesia

Sejak tahun 1993, Indonesia telah menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh dalam basis operasionalnya. Periode operasional telah dimulai dengan pendirian berbagai stasiun bumi multi fungsi di Pare-Pare, Sulawesi Selatan, dan Pekayon, Jakarta.

Penerapan penginderaan jauh di Indonesia kian berkembang. Keadaan ini dapat dilihat dengan bertambahnya lembaga-lembaga yang menerima dalam bidang riset dan aktivitas peralatan penginderaan jarak jauh.

Seperti dikatakan Hidayat dan Dijardjana (1994), kronologi dari penginderaan jarak jauh di Indonesia dapat dibagi dalam tiga fase (periode).

- Tahun 1972-1982:

Periode belajar dan penjajakan. Dalam periode ini lingkungan dan stasiun pengendali satelit cuaca telah didirikan. Penelitian dan pengembangan dalam penggunaan hasil data dari stasiun pengendali telah dimulai.

- Tahun 1982-1993:

Periode percobaan. Sejak periode ini stasiun pengendali Landsat-MSS telah didirikan. Dalam hal ini pelayanan untuk pengguna jasa juga dibangun dalam tahap percobaan. Penelitian dan pengembangan penginderaan jarak jauh dilanjutkan.

- Tahun 1993-sekarang:

Periode operasional. Periode ini dimulai dengan kelengkapan stasiun pengendali darat di Parepare dan Pekayon. Stasiun pengendali darat di Parepare dapat menangkap data Landsat-TM, SPOT, dan ERS. Pada tahun 1995, data JERS-1 diterima dan kelengkapan prosesnya didirikan. Penelitian dan pengembangan dalam penggunaan data multi resolusi mulai berkembang.

Dalam lima tahun terakhir ini pemerintah Indonesia telah banyak mengeluarkan dana untuk teknologi ini, dengan harapan teknologi ini dapat membantu

memecahkan masalah-masalah pemerintah Indonesia. Yang menarik pada masalah ini, beberapa kegiatan dimana penerimaan penginderaan jarak jauh telah bertambah penting.

Sebagai contoh Departemen Kehutanan mewajibkan seluruh pemegang Hak Pengusahaan Hutan (HPH) untuk menggunakan data dari Landsat-TM guna pemberian daerah (lahan) untuk dievaluasi. Data penginderaan jarak jauh dari NOAA-AVHRR telah digunakan untuk melihat, mendeteksi, dan mengawasi kebakaran hutan. Dengan demikian data ini merupakan bagian dari sistem nasional untuk mencegah kebakaran hutan.

## Perangkat Inderaja di Indonesia

Sejalan dengan pengembangan program dan sesuai hasil penelitian dan pengembangan penginderaan jarak jauh, Indonesia telah menggunakan data dari penginderaan jarak jauh untuk berbagai kegiatan. Aktivitas ini meliputi pengawasan lingkungan, pengelolaan sumber daya alam, penggunaan lahan/pengawasan dan perlindungan lahan, pengelolaan pantai dan pesisir, nelayan dan lain sebagainya.

## Pemantauan Lingkungan

Pada dasarnya, aplikasi dari data penginderaan jarak jauh untuk pemantauan lingkungan di Indonesia dapat dibagi menjadi dua kategori. Pertama, untuk mengamati perubahan atau kejadian alam seperti kebakaran hutan, kekeringan dan iklim tropis.

Lapan menggunakan data dengan resolusi rendah seperti NOAA-AVHRR dan data GMS-VISSR. Keuntungan data ini sangat berguna untuk mendeteksi dan mengamati kejadian yang sangat cepat terjadi seperti kebakaran hutan.

Kedua, untuk kejadian alam seperti banjir, penerunan permukaan tanah dan lain sebagainya, maka LAPAN selalu menggunakan data resolusi tinggi (SPOT, Landsat-TM, ERS-SAR, dan lain-lain).

## Mendeteksi Kebakaran Hutan

Mendeteksi dan mengamati kebakaran hutan dapat dilakukan melalui adanya bintik panas (api). Bintik panas (api) dapat diperoleh dari kanal 3 (termal infra merah,  $\lambda$

dan kanal 4 (jendela infra merah,  $\lambda = 11 \mu\text{m}$ ) pada NOAA-AVHRR.

Dengan menggunakan kedua saluran secara serempak, Matson dan Dozier (1981) memperlihatkan kemampuan seri NOAA satelit untuk mendeteksi sumber temperatur tinggi di atas tanah.

Dalam keadaan normal, maksimum radiasi sinar hitam (*black body*) mendapat tanggapan pada kanal 3 selalu lebih kecil daripada kanal 4. Namun bagaimanapun juga, untuk sasaran temperatur tinggi, maksimum radiasi sinar hitam (*black body*) terespon secara bergantian dari kanal 4 sampai 3.

Dengan menggunakan prinsip dasar ini, pen-deteksiannya bintang panas (*hot spot*) dan pengawasan aktivitasnya telah menjadi bagian dari aktivitas nasional dalam pengawasan dan pencegahan kebakaran hutan.

Melalui Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tahun 1995, pemerintah Indonesia telah menetapkan Tim Koordinasi Nasional untuk pencegahan kebakaran hutan (NCTFFP). Beberapa lembaga nasional telah terjun aktif dalam NCTFFP, termasuk LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional), BAPEDAL (Badan Analisa Pengawasan Dampak Lingkungan) dari kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, Departemen Kehutanan, BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika), BAKORNAS PB (Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana), Pemerintah Daerah (Provinsi), dan lain-lain.

## Pemantauan Kekeringan Lahan

Deteksi kekeringan lahan dapat dilakukan dengan parameter NDVI (indeks vegetasi tanaman) yang diperoleh dari NOAA-AVHRR. NDVI merupakan alat yang paling penting efektif untuk memantau kondisi tumbuhan (D'Iorio et al., 1989).

Secara kuantitatif pengukuran yang digambarkan kekuatan biomas maupun tumbuhan, menambah nilai NDVI terlihat meningkat, (biomass hijau). NDVI dihitung dengan membagi perbedaan antara kanal 2 (dengan infra merah :  $\lambda = 0,91 \mu\text{m}$ ) dan kanal 1 (visible,  $\lambda = 0,63 \mu\text{m}$ ) dari data NOAA-AVHRR dengan rumus:

$$\text{NDVI} = (\text{CH2} - \text{CH1}) / (\text{CH1} + \text{CH2})$$

Sejak tahun 1994 indeks vegetasi telah digunakan untuk menentukan daerah kering di tiga pulau besar yaitu Jawa, Sumatera, dan Kalimantan. Informasi ini telah dilaporkan kepada pemerintah sampai lembaga-lembaga terkait seperti: Departemen Pertanian, Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi, dan sebagainya. Informasi ini juga sangat berguna sebagai tolok ukur, seperti kebakaran hutan dan kemungkinan kesalahan penafsiran musim panen.

## Pemetaan Lapisan Awan

Sebagai negara Kepulauan, Indonesia mempunyai kondisi iklim yang unik, yakni dengan adanya efek dari ketinggian dan aliran sirkulasi masa udara. Lokasi ini berada dalam pusat zona tropis *Inter-Tropical Convergence Zone* atau ITCZ (Adiningsih, et al., 1998). ITCZ atau ikatan awan tropis menghasilkan curah hujan yang bergerak ke utara dan selatan secara bergantian.

Dengan menggunakan data sinar infra merah GMS (Satellite Geostationer dan Meteorologi), awan pada dasarnya dibagi tiga kategori yang dinamai dengan awan rendah, awan sedang, dan awan tinggi. Persentase ketiga tipe tersebut dihitung dan dianalisa tiap satu jam.

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa awan sedang (*middle cloud*) menghasilkan lebih banyak hujan daripada kedua tipe yang lain. Posisi ITCZ ini menentukan penarikan garis lurus ( $Y = aX + b$ ), dengan  $X$ ,  $Y$  adalah posisi awan sedang dan awan tinggi (*convective cloud*) di atas area antara  $20^\circ$  Lintang Utara (LU) ke  $20^\circ$  Lintang Selatan (LS) dan  $80^\circ$  Bujur Timur (BT) dan  $160^\circ$  BT.

Informasi ini diperoleh dari aktivitas yang telah dilaporkan kepada pemerintah Indonesia melalui lembaga terkait seperti BMG, BAPEDAL, Menteri Negara Lingkungan Hidup, Departemen Pertanian, Departemen Kehutanan, dan sebagainya.

## Pemantauan OLR

Bersamaan dengan pemantauan dan pemetaan lapisan awan ITCZ (*Inter-Tropical Convergence Zone*), OLR (*Outgoing Longwave Radiation*) menghitung dan memetakan dengan menggunakan data GMS. Kelainan yang mendasar pada OLR terletak pada nilai bulannya (berdasarkan pada data klimatologi), yang kemudian digunakan untuk menghitung prediksi bulanan OLR.



Data bulanan OLR kemudian digunakan untuk menghitung curah hujan bulanan dengan menggunakan teknik regresi. Hasil akhir dari aktivitas ini adalah peta yang menunjukkan tempat distribusi OLR dan curah hujan. Informasi ini dikirimkan ke pemerintah Indonesia bersama dengan ITCZ dan laporan lapisan awan.

## Prakiraan Daerah Rawan Banjir

Landsat-TM dan data SPOT telah dipakai untuk mengidentifikasi bentuk dan penggunaan tanah. Informasi ini kemudian digunakan untuk menentukan dataran banjir. Di samping itu ERS/SAR telah menggunakan data tersebut untuk mengidentifikasi genangan banjir di beberapa wilayah di Indonesia.

Analisa daerah rawan banjir telah dilakukan dengan menggunakan data dari JERS-1 dalam bentuk lahan dan klasifikasi penggunaan/perlindungan lahan tersebut.

## Pemetaan Ozon

Keberadaan lapisan ozon ( $O_3$ ) dalam atmosfer sangatlah penting untuk melindungi radiasi sinar ultraviolet matahari. Radiasi langsung sinar ultraviolet matahari dapat berakibat pada kesehatan manusia dan ekosistem di bumi.

Penipisan lapisan ozon mengakibatkan perubahan aktivitas pada semua yang ada, seperti matahari, letusan gunung berapi, sirkulasi udara, dan lain sebagainya. Tak mengherankan kalau dunia pun dikagetkan dengan adanya lubang ozon. Situasi ini merupakan bencana besar bagi kehidupan manusia juga kehidupan organisme lain di bumi.

Untuk itu LAPAN perlu mengamati (memonitor) pemusatan ozon dari waktu ke waktu. Pemantauan (monitoring) dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi satelit.

Dengan penggunaan sensor seperti TOMS (*Total Ozone Mapping System*) yang berada di satelit Nimbus dan Adeos, kita dapat mengawasi seluruh pemusatan ozon di kepulauan Indonesia setiap minggu. Usaha ini dalam rangka program perlindungan ozon yang dibentuk di Indonesia di bawah koordinasi Menteri Negara Lingkungan Hidup.

## Pemantauan Penggunaan Tanah

Pada dasarnya, aplikasi penginderaan jarak jauh untuk tata guna tanah bisa dilakukan dengan menggunakan data resolusi tinggi seperti Landsat-TM, SPOT, dan data JERS-1. Sebagai contoh perangkat dari data penginderaan jauh untuk penggunaan/perlindungan tanah termasuk:

### a. Inventarisasi Irigasi Lahan Padi

Inventarisasi irigasi pada lahan padi perlu dilakukan agar mendapatkan informasi ruang angkasa berkenaan dengan distribusi dan areal dari irigasi lahan padi. Aktifitas ini dilakukan dengan melakukan pengamatan pertumbuhan tanaman padi selama periode tertentu.

Untuk garapan padi dengan sawah tadah hujan, panen dilakukan setahun sekali, pengamatan dimulai saat musim hujan. Mengingat pengolahan padi dengan lahan irigasi panen dua kali setahun, pengamatan dilakukan mulai musim tanam.

Citra klasifikasi aktivitas dari data Landsat-TM dan dibantu dengan peta penggunaan tanah saat ini, bisa memberikan gambaran yang terjadi di Lapangan. Hasil akhir dari aktivitas ini adalah adanya kalkulasi daerah areal penghasil panen beras. Informasi ini kemudian digunakan untuk membantu Departemen Pertanian dan Biro Pusat Statistik untuk mengkalkulasi daerah penghasil beras.

### b. Pengelolaan Daerah Pesisir

Aplikasi data penginderaan jauh untuk pengelolaan pantai/daerah pesisir dan ilmu kelautan sangat penting untuk negara kepulauan seperti Indonesia. Beberapa aktivitas yang berhubungan dengan pengelolaan pantai/daerah pesisir dan ilmu kelautan akan saling terkait antara pelestarian hutan bakau, proyek pengelolaan rehabilitasi terumbu karang (COREMAP), dan pemetaan suhu permukaan laut.

### c. Pelestarian Hutan Mangrove

Tujuan pelestarian hutan mangrove adalah untuk memperoleh pusat informasi dan distribusi yang akurat mengenai kerapatan dan areal hutan mangrove di berbagai tempat di Indonesia. Informasi ini sangat berguna untuk digunakan sebagai masukan bagi institusi lain pada saat melakukan transaksi atau perjanjian. Misalnya untuk

prakiraan persediaan ikan. Seluruh data yang digunakan dalam aktivitas ini berasal dari Landsat-TM.

#### d. COREMAP (Coral Reef Rehabilitation and Management Program)

COREMAP adalah pusat Proyek Pengelolaan Rehabilitasi Terumbu Karang. Proyek ini berjangka panjang dengan melibatkan berbagai lembaga seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), LAPAN, Departemen Dalam Negeri, Dirjen Perhubungan Laut, TNI-AL, dan BAPEDAL. Salah satu aktifitas utama COREMAP adalah pemetaan terumbu karang dengan menggunakan penginderaan jarak jauh.

#### e. Pemetaan Temperatur Permukaan Laut

Tidak seperti pelestarian hutan mangrove dan COREMAP yang menggunakan data resolusi tinggi (Landsat-TM), pemetaan temperatur permukaan laut (SST) dilakukan dengan menggunakan data NOAA-AVHRR. Informasi yang dihasilkan dari aktivitas ini kemudian digunakan untuk membantu memperkirakan cadangan air di Indonesia.

### Proyek Percontohan Inderaja

Lembaga Pengembangan Ruang Angkasa Jepang (NASDA) telah menyetujui proyek percontohan penginderaan jarak jauh di Indonesia. Pilihan utama proyek percontohan ini adalah aplikasi pertanian, terutama perkiraan modul penghasil beras.

Hasil proyek percontohan ini digunakan sebagai masukan (input) untuk proyek yang lebih besar di antaranya untuk mendeteksi daerah yang sering kekurangan pangan.

## Kesimpulan

Pada dasarnya beberapa contoh dalam aplikasi data penginderaan jarak jauh yang terjadi di Indonesia menunjukkan bahwa penggunaan penginderaan jauh sangat penting dilaksanakan untuk membantu program pengembangan secara nasional di Indonesia.

Khusus riset dan pengembangan, serta aplikasi dan teknologi penginderaan jauh, pemerintah Indonesia telah memberikan bantuan yang sangat berarti dalam hal pembiayaan, pengembangan sumber daya manusia, dan perlengkapannya.

Adapun upaya yang telah diambil berdasarkan pertimbangan:

- a. Pengembangan sumber daya manusia harus dilanjutkan melalui pelatihan dan pendidikan.
- b. Riset dan pengembangan aplikasi data radar perlu diperbaiki.
- c. Jaringan kerja antar lembaga harus diperbarui tidak hanya pada pertukaran informasi, tetapi juga pada pengembangan prosedur operasional untuk melakukan usaha bersama. Sebagai contoh, dengan data penginderaan jauh dan SIG kita dapat mengembangkan sistem tingkat bahaya kebakaran hutan.
- d. Dengan sistem ini memungkinkan kita melakukan pencegahan kebakaran hutan.
- e. Kerja sama regional dan internasional harus diperbarui.

Keterlibatan dari para pengusaha dalam bisnis ini harus dipromosikan.

Daftar harga data inderaja satelit produk Lapan

a. Photographic Print (Landsat)

Level Produksi	Ukuran Kertas	Harga (US \$)
Bulk (4)	Lebih kecil dari 10 inch	475
	10-20 inch	575
	Lebih besar dari 10 inch	665
Georeference Systematic (5)	Lebih kecil dari 10 inch	475
	10-20 inch	575
	Lebih besar dari 10 inch	665
Georefernce Precision (6)	Lebih kecil dari 10 inch	775
	10-20 inch	875
	Lebih besar dari 10 inch	1065
Geocoded Systematic (8)	Lebih besar dari 20 inch	605
Geocoded Precision (9)	Lebih besar dari 20 inch	905

Sumber: Bidang Bank Data Penginderaan Jauh Lapan (1996)

b. CCT (Landsat)

Level Produksi	Liputan	Bands	Harga (US \$)
Bulk (4)	Full Scenne	7	3500
	Quadrant	7	1815
Georeference Systematic (5)	Full Scenne	7	3515
	Quadrant	7	1835
Georefernce Precision (6)	Full Scenne	7	3900
	Quadrant	7	2525
Geocoded Systematic (8)	2000 pixel X 2000 pixel	7	1525
Geocoded Precision (9)	2000 pixel X 2000 pixel	7	1925

Sumber: Bidang Bank Data Penginderaan Jauh Lapan (1996)

Catatan :

- Berdasarkan PP Nomor 67 Tahun 2000 tentang Tarif atas jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) Lapan. Tarif baru data Landsat fotografi dan dijual lebih murah dari harga sebagaimana tertera pada tabel di atas dan harga dalam rupiah. Sumber : Bidang Bank Data Penginderaan Jauh Lapan Tahun 2000.
- Untuk memperoleh informasi lebih lanjut dapat menghubungi Bidang Penyajian Data Penginderaan Jauh, Pusat Data Penginderaan Jauh Lapan.

c. CCT (SPOT)

Level Produksi	Sensor	Liputan	Bands	Harga (US \$)
Bulk (4)	PLA	Full Scenne	1	2600
	MLA	Quadrant	3	1600
Georeference Systematic	PLA	Full Scenne	1	2040
	MLA	Quadrant	3	1640

d. Photographyc Print (SPOT)

Level Produksi	Sensor	Ukuran Kertas	Harga ( US \$ )
Bulk (4)	PLA	Lebih kecil dari 10 inch	520
		10-20 inch	760
		Lebih besar dari 10 inch	864
	MLA	Lebih kecil dari 10 inch	520
		10-20 inch	600
		Lebih besar dari 10 inch	704
Georeference (5)	PLA	Lebih kecil dari 10 inch	600
		10-20 inch	760
		Lebih besar dari 10 inch	864
	MLA	Lebih kecil dari 10 inch	520
		10-20 inch	600
		Lebih besar dari 10 inch	704
Georeference Precision (6)	PLA	Lebih kecil dari 10 inch	920
		10-20 inch	1080
		Lebih besar dari 10 inch	1184
	MLA	Lebih kecil dari 10 inch	840
		10-20 inch	920
		Lebih besar dari 10 inch	1024
Geocoded Systematic (8)	PLA	Lebih dari 20 inch	980
	MLA	Lebih dari 20 inch	734
Geocoded Precision (9)	PLA	Lebih dari 20 inch	1160
	MLA	Lebih dari 20 inch	1104

# Bab II.

## Aplikasi Pengamatan Bumi di Indonesia

### 2.1. Beberapa Proyek Pengamatan SDA

Perubahan dunia berjalan sangat cepat dan terasa semakin cepat terutama untuk negara yang sedang berkembang seperti Indonesia. Pertumbuhan pesat tersebut telah menghabiskan banyak sumber daya alam (SDA) dan masih memerlukan SDA seperti kayu, minyak bumi, mineral, tanah, air dan lain sebagainya. Sementara, cadangan SDA ini bukannya tak terbatas. Eksploitasi berlebihan salah satu jenis SDA akan mempengaruhi, merusak, bahkan menghancurkan yang lainnya. Untuk menjaga keseimbangan alam dan mencegah eksploitasi berlebihan salah satu SDA, keberadaan tiap jenis SDA dan lingkungannya harus diawasi secara rutin dalam waktu yang telah ditentukan.

Baru-baru ini pemerintah Republik Indonesia mulai mempertimbangkan untuk menggunakan salah satu teknologi angkasa yang perkembangannya di anggap paling cepat untuk mengamati SDA dan lingkungan sekitarnya. Teknologi yang dimaksud adalah penginderaan jarak jauh atau *remote sensing* (RS) dan Sistem Informasi Geografi (SIG). Pemerintah telah menanamkan biaya yang cukup besar untuk meningkatkan kemampuan nasional di bidang tersebut supaya dapat mendukung misi pembangunan nasional menuju masyarakat adil dan makmur melalui pembangunan yang berkelanjutan.

Pembangunan yang berkelanjutan ialah cara Indonesia memandang proses perkembangannya yang tidak hanya dititikberatkan pada peningkatan pendapatan negara secara cepat, ataupun menghabiskan SDA dan merusak lingkungan. Pembangunan nasional yang berkelanjutan difokuskan pada pembangunan jangka panjang dengan menjaga dan melestarikan lingkungan hidup dan SDA yang dimiliki. Untuk itu, program pengamatan bumi dilakukan secara meluas oleh berbagai instansi pemerintah yang dibedakan

berdasarkan fungsinya. Seperti telah disebutkan di atas, banyak lembaga berdasarkan fungsi dan misinya melakukan berbagai macam program pengamatan bumi. Meskipun demikian, untuk keberhasilan kegiatan ini, pemerintah telah membentuk jaringan kerja sama di antara lembaga-lembaga tersebut. Koordinasi yang baik di antara lembaga-lembaga tersebut dibangun dengan tujuan memperkuat peranan tiap lembaga, demi kemajuan program dan aplikasinya, juga untuk berbagi ide dan pengalaman satu sama lain.

### Pengantar

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, membentang dari barat ke timur sepanjang 5.000 km, meliputi lebih dari 17.508 pulau, 2 juta km<sup>2</sup> merupakan luas daratan dan 81.000 km garis pantai. Negara ini terletak di antara dua benua; Asia dan Australia, dua samudera; Hindia dan Pasifik, serta dua jalur gempa dan vulkanik. Dengan sifat-sifat khusus tersebut, Indonesia adalah daerah yang rawan bencana alam seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, banjir, kekeringan, dan lain sebagainya. Di pihak lain, karakteristik tersebut juga memperkaya Indonesia dengan berbagai jenis SDA, mulai dari hutan hujan tropis, ikan, minyak bumi dan gas alam, mineral, dan lain-lain.

Pemerintah Indonesia telah memperhitungkan karakteristik unik tersebut di atas. Pemerintah menyadari bahwa keberadaan SDA bukannya tak terbatas dan kelestarian lingkungan hidup sangat penting bagi kelangsungan hidup. Pemakaian SDA dan pemanfaatan lingkungan yang berlebihan, tidak hanya akan menjadi beban bagi kehidupan sekarang, melainkan juga bagi generasi mendatang. Oleh karena itu, pemerintah menyusun strategi untuk menerapkan misi pembangunan menuju masyarakat adil dan makmur. Strategi yang digunakan ialah pembangunan SDA yang berkelanjutan, perlindungan alam, keseriusan dalam perencanaan dan pengelolaan daerah perkotaan,

pengembangan infrastruktur dan industri, serta memperkecil kerugian ekonomi dan sosial akibat bencana alam/program penanggulangan bencana alam.

Dengan mempertimbangkan misi dan tujuan berbasis lingkungan melalui strategi-strategi tersebut, pemerintah telah mempertimbangkan untuk menggunakan salah satu teknologi angkasa yang mengalami perkembangan pesat. Teknologi yang digunakan untuk mengamati bumi Indonesia tersebut digunakan dengan menyediakan informasi yang tepat dan akurat dari udara mengenai keberadaan SDA dan potensi lingkungan. Teknologi tersebut ialah RS dan SIG.

RS dan SIG saat ini sedang diterapkan secara ekstensif di Indonesia. Pemerintah telah menanamkan biaya yang cukup besar untuk pengembangan sumber daya manusia untuk menguasai teknologi ini. Beberapa badan pemerintahan yang berkepentingan dalam penggunaan data RS untuk berbagai kegiatan antara lain ialah kehutanan, pertanian, kepemilikan dan penggunaan tanah, eksplorasi geologi, pengelolaan daerah pantai dan laut, penanggulangan bencana, dan lain sebagainya. Paragraf berikut menggambarkan fasilitas RS yang telah dimiliki oleh Indonesia dan fasilitas lain yang berhubungan dengan pengumpulan, pengolahan, dan penyediaan data dan informasi mengenai bumi, lingkungan dan udara, program pengamatan bumi, serta kunci utama koordinasi jaringan lembaga yang terlibat didalamnya.

## Fasilitas

Dalam penerapan program pengamatan bumi, saat ini pemerintah Indonesia telah mengaktifkan stasiun bumi RS di Parepare, Sulawesi dan stasiun bumi pengawas cuaca dan lingkungan di Jakarta dan Biak. Stasiun bumi di Parepare dapat menangkap transmisi data dari Landsat-5, SPOT 1,2 dan SPOT 4, ERS 1 dan 2, dan JERS 1 Stasiun bumi cuaca dan lingkungan di Jakarta dan Biak menerima data dan mengolah transmisi data dari NOAA dan GMS.

Stasiun-stasiun bumi ini menyediakan solusi data yang menyeluruh yang diperlukan oleh pemakai data RS. Saat ini, kemampuan stasiun-stasiun bumi ini sedang diusulkan agar dapat ditingkatkan supaya dapat disesuaikan dengan satelit-satelit RS mutakhir yang akan segera dioperasikan seperti, SPOT, Seawifs, Radarsat 2, Envisat, ADEOS II, dan Wedos serta satelit dengan resolusi hasil sangat tinggi seperti, Orbview,

Ikonos dan Early/Quick Birds.

Selain stasiun-stasiun bumi tersebut, Indonesia juga memiliki beberapa stasiun pengamat dirgantara yang terletak di Bukittinggi Sumatera Barat, Pontianak Kalimantan Barat, Manado Sulawesi Utara, Serpong Bogor, Pameungpeuk Garut Jawa Barat, Watukosek Jawa Timur, dan Biak Irian Jaya. Kegunaan stasiun-stasiun itu ialah untuk mengumpulkan data yang mendukung studi-studi mengenai iklim dan pencemaran udara atau penelitian mengenai keadaan atmosfer tengah sampai atas.



JERS-1 : Salah satu antena parabola yang terdapat di Stasiun Bumi Penginderaan Jauh LAPAN di Parepare Sulawesi Selatan yang dapat menerima data dari satelit JERS-1 milik Jepang

Sementara itu, stasiun pengamat matahari yang terletak di Tanjungsari Sumedang Jawa Barat, digunakan untuk memperoleh data aktivitas matahari, geomagnetic bumi dan benda-benda langit lainnya. Pemerintah juga memiliki fasilitas penerima data lain, seperti pengawas area (termasuk pesawat udara) dan pengawas laut (misalnya kapal penelitian Baruna Jaya). Peralatan yang digunakan dimiliki oleh berbagai badan seperti Pusat Penelitian dan Pengembangan

Pengetahuan atmosfer dan ionosfer-LAPAN, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Pertanahan Nasional (BPN), Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Direktorat Vulkanologi, Departemen



**LANDSAT** : Di Stasiun Bumi Inderaja Parepare juga terdapat fasilitas penerima data satelit Landsat. Latar depan adalah antena parabola untuk Landsat sementara dilatar belakang adalah antena JERS

Transmigrasi, Departemen Kehutanan, dan lain-lain. Pemakaian hasil data oleh banyak instansi ini masih memerlukan koordinasi lebih lanjut yang lebih terintegrasi. Selain fasilitas penerima data (DAF), pemerintah juga melengkapi diri dengan fasilitas pengolah data (DPF) yang keberadaannya tersebar di beberapa instansi tersebut di atas. Fasilitas DPF digunakan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam bentuk yang representatif.

## Ketersediaan Data/Informasi

Pengoperasian stasiun bumi untuk memperoleh data satelit bisa meningkatkan kemampuan Indonesia dalam menyediakan informasi yang mendukung program pengamatan bumi. Sampai saat ini ada sekitar 11.750 layar TM Landsat, lebih dari 28.500 layar SPOT, dan lebih dari 3.175 layar ERS 1 dan 2. Data satelit pengamat cuaca dan lingkungan yang ditransmisikan oleh NOAA dan GMS direkam 4 atau 8 kali per hari.

Informasi mengenai bencana kekeringan, sumber titik api, dan perubahan cuaca berasal dari hasil analisis satelit NOAA dan GMS. Informasi ini disampaikan kepada pemerintah setiap bulan untuk perencanaan tindakan yang perlu dilakukan. Informasi mengenai kekeringan disajikan berupa data statistik di beberapa daerah/provinsi beserta data infrastruktur untuk memperoleh informasi menyeluruh mengenai peta potensi bahaya. Peta semacam ini penting untuk membuat skala prioritas tindakan penanggulangan yang perlu dilakukan di tiap daerah sehingga memperkecil pengaruh negatif terhadap perkembangan ekonomi dan stabilitas nasional.

Sementara itu, resolusi data yang lebih tinggi seperti yang berasal dari TM Landsat, SPOT 1 dan 2, ERS 1 dan 2 dipakai untuk membuat rencana-rencana yang lebih terperinci seperti pemanfaatan hutan, eksplorasi pertambangan dan minyak bumi, penyediaan daerah transmigrasi dan permukiman penduduk, pengembangan potensi daerah dan lain-lain.

Data, selain informasi RS, umumnya disimpan secara terpisah oleh badan-badan yang berkepentingan. Yang perlu dicatat di sini ialah, pengumpulan data dan informasi seperti yang diterangkan di atas bukanlah tujuan akhir melainkan hanya salah satu tahap untuk mencapai tujuan. Karena itu, pengumpulan data dan informasi secara menyeluruh harus berada dalam suatu kerangka nasional yang terpadu, sehingga inventarisasi, pengawasan, dan kemudahan untuk mengaksesnya dapat dilakukan secara baik. Maka, analisis menyeluruh dan ketepatan data akan dapat disajikan dan digunakan oleh berbagai sektor dan instansi yang memerlukan.

## Program Pengamatan Bumi

Dari paragraf di atas diketahui Indonesia telah menggunakan fasilitas RS dalam berbagai tahap, dari

penelitian hingga operasional. Kegiatan-kegiatan tersebut dilakukan oleh berbagai instansi secara terpisah berdasarkan tugas dan fungsinya masing-masing. Meskipun demikian, untuk keberhasilan program pengawasan bumi Indonesia dan mendukung kemajuan pembangunan nasional dalam kapasitas penuh, pemerintah telah membuat rencana mekanisme pendanaan melalui Kementerian Riset dan Teknologi untuk penelitian dan pengembangan (litbang) serta teknologi, Kementerian urusan Lingkungan Hidup untuk

pengembangan khususnya penggunaan data SAR (JERS-1, ERS, dan Radarsat) dalam berbagai bidang seperti pengelolaan pantai, pengaturan penggunaan tanah, pengawasan daerah mangrove, pelacakan tumpahan minyak, pengawasan daerah urban, penanggulangan banjir, pengamatan kadar polusi udara, penelitian atmosfer tengah dan atas, penelitian mengenai matahari, medan magnetik, dan antariksa, deteksi kebakaran hutan, dan lain-lain. Apendiks 1



STASIUN BUMI : Seperti inilah fasilitas di Stasiun Bumi Penginderaan Jauh LAPAN di Parepare Sulawesi Selatan

menangani masalah-masalah yang berhubungan dengan lingkungan.

Mekanisme ini dapat menggabungkan semua program terkait yang diajukan oleh berbagai lembaga sejak tahap perencanaan. Dengan demikian, duplikasi program dan pengeluaran dana yang tak perlu akan dapat dihindarkan. Paragraf berikut menyajikan beberapa contoh aplikasi program pengamatan bumi.

Program pengamatan bumi dan aplikasinya ditampilkan secara intensif berdasarkan tujuan operasional. Aplikasi program ini antara lain berhubungan dengan perlindungan dan pengawasan terhadap lingkungan hidup, pendataan SDA, penelitian dan

memuat Tabel Aplikasi Pengamatan Bumi di Indonesia pada Tahun 1997/1998.

Selain program-program tersebut, masih banyak proyek-proyek percontohan berskala nasional yang melibatkan beberapa instansi terkait. Proyek pilot ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah metode dan model terlengkap untuk tujuan pengawasan terhadap SDA dan lingkungan hidup. Hasil dari proyek ini diharapkan dapat mendukung proses pengambilan keputusan di bidang lingkungan hidup dan pengolahan SDA. Proyek-proyek tersebut adalah :



- SATTIN (Satellite Application and Technology Transfer in Indonesia)

Proyek ini dikoordinasi oleh BPPT untuk memperkenalkan penggunaan data SPOT. Instansi-instansi yang termasuk dalam proyek ini ialah Bakosurtanal, LAPAN, Kementerian Pertambangan dan Energi (Direktorat Vulkanologi), Kementerian Pariwisata dan Telekomunikasi, Universitas Indonesia, Departemen Transmigrasi, dan BPPT sendiri. Cakupan kerja proyek ini ialah untuk mengembangkan prototipe distribusi data RS, produksi peta udara, pengembangan model pariwisata, transmigrasi, dan pengenalan gejala letusan gunung berapi. SATTIN mempelajari berbagai lembaga nasional sebagai pemakai untuk melengkapi dan meneliti data SPOT dalam proses pengambilan keputusan untuk pengelolaan SDA dan lingkungan hidup. Proyek ini awalnya ditujukan untuk meningkatkan kemampuan Indonesia dalam menerima dan menyebarkan data SPOT, untuk menghasilkan peta citra daerah timur Indonesia dan melakukan proyek percontohan aplikasi data RS di Indonesia seperti pengelolaan daerah pantai, pengawasan lingkungan laut dan penanggulangan bencana.

Pelatihan yang berhubungan dengan proyek ini juga termasuk di dalamnya. Proyek ini dimulai di tahun fiskal 1996/97 dan dijadwalkan akan selesai dalam jangka waktu empat tahun. Proyek ini dibagi dalam empat tahap: penerimaan data SPOT dan produksi peta citra; aplikasi data SPOT; pelatihan; dan transfer teknologi.

Di awal tahun 1990-an, dirasakan program RS yang dilakukan LAPAN telah berkembang sampai tahap diperlukan pengadaan fasilitas penerima dan pengolah data dari berbagai satelit di dalam negeri. Juga, karena tujuan operasional data RS tergantung pada ketersediaan data di waktu yang sebenarnya atau mendekati, maka LAPAN memutuskan untuk membangun Stasiun Bumi Nasional di Parepare pada tahun 1992.

Stasiun ini mencakup, selain seluruh wilayah Indonesia juga wilayah negara-negara tetangga, seluruhnya atau sebagian. Tujuan operasional data RS ialah untuk mengurangi ketergantungan teknologi dengan menguasai pengoperasian dan perawatan teknologi tinggi dan mutakhir ini, dengan mengembangkan kemampuan dan kapasitas operasional dan mengembangkan serta meningkatkan produktivitas untuk melayani pemakai dengan sistem distribusi data yang berkembang.

Saat ini, fasilitas milik LAPAN yang tersedia termasuk stasiun bumi multiguna di Parepare yang

terdiri dari dua subsistem utama antena dan sistem penerima/pencatat di satu lokasi. Subsistem penerima data terdiri dari antena piringan *scientific* dari Atlanta berdiameter 10 meter dengan X band untuk menerima data SPOT, ERS, dan Landsat serta antena X band lain, NEC untuk menerima data JERS-1.

Keduanya adalah sistem yang saling mendukung. Sistem pengolahan data terdiri dari sepenuhnya konfigurasi komputer, termasuk komputer pusat dan pengolah data acak, dapat melakukan lebih dari seratus juta kali operasi per detik. Ada banyak pengolah citra untuk pengolahan standar, interpretasi, dan penggambaran citra. Juga tersedia tiga pencetak laser film berwarna ketelitian tinggi untuk menghasilkan film berwarna atau hitam putih. Laboratorium foto memiliki pengembang foto, pencetak, dan alat perbesar horisontal dan vertikal, dan fasilitas lain untuk menghasilkan produk fotografi.

Sehubungan dengan tujuan dan kegiatan proyek SATTIN, LAPAN memiliki peranan penting sebagai penyedia data tidak hanya data SPOT, melainkan juga data dari satelit resolusi tinggi lainnya. Ketersediaan data akan dilayani oleh peralatan dengan kemampuan sbb :

- Stasiun dengan banyak peralatan yang dapat menerima dan mengolah data Landsat-TM, SPOT HRV XS/Pan, ERS-2/SAR, JERS-1, SAR/OPS, NOAA-AVHRR, dan GMS.
- Kadang-kadang data dari satelit RS masa depan (Adeos dan Radarsat) dapat diterima dan diolah dengan perubahan peralatan minimum.
- Produk data fotografi dan digital di DPF mencakup berbagai tingkat koreksi radiometri dan geometri (GICS dan SARPS) untuk memenuhi berbagai kebutuhan pemakai data.
- DPF memiliki kemampuan produksi yang tinggi. Dalam satu hari, misalnya, DPF dapat menghasilkan 18 gambar SPOT berkode, 2 gambar TM lengkap, selain melakukan fungsi lainnya seperti inventarisasi, katalog, konsultasi, menerima pesanan baru, meng hasilkan produk film, dan mengolah data ERS-1 dan JERS-1.
- Pengawasan peralatan DPF dilakukan dengan kontrol terpusat otomatis dari sumber dayanya dan dioperasikan dengan mesin yang mudah dipakai.

Keuntungan SATTIN dengan fasilitas LAPAN termasuk peningkatan fasilitas pengolahan data

dengan tujuan untuk memberi masukan kepada pembuat peta luar angkasa untuk digunakan oleh Bakosurtanal, badan perluasan pelayanan pemakai LAPAN di Jakarta dengan mengembangkan sistem distribusi data yang tersedia.

- **COREMAP (Coral Reef Rehabilitation and Management Program)**

Coremap dikoordinasikan oleh LIPI dan diikuti oleh berbagai instansi seperti LAPAN, Bakosurtanal, Perguruan Tinggi, Pemerintah Daerah Tingkat I, dan Departemen Dalam Negeri. Proyek ini terutama bertujuan untuk mencegah kegiatan pengrusakan koral akibat pengeboman dan aktivitas peracunan ikan yang mencemarinya. Proyek ini juga berusaha menemukan cara terbaik untuk menghasilkan penghasilan sampingan yang lebih ramah lingkungan bagi nelayan atau masyarakat yang penghidupannya tergantung pada ikan dan rumput laut.

- **Proyek SARI (System Assesment Rice in Indonesia)**

Proyek ini bertujuan menggunakan data ERS-SAR untuk sektor pertanian, terutama untuk pemantauan hasil dan musim panen. Proyek ini merangkul berbagai instansi nasional maupun internasional seperti BPPT sebagai koordinator proyek, LAPAN, Departemen Pertanian, dan lain sebagainya. Hasil yang diharapkan dari proyek ini ialah model yang sesuai untuk peramalan hasil dan musim panen di Indonesia.

- **MREP (Marine Resources Evaluation Program) Fase II**

Salah satu tujuan proyek ini ialah memperkuat kemampuan nasional dalam rangka pembangunan daerah pantai yang berkelanjutan melalui rencana pengelolaan yang terintegrasi. Tujuan yang hendak dicapai ini bersifat terbuka, dengan mempertimbangkan kebutuhan dan kepentingan daerah dan syarat-syarat yang ditetapkan oleh pemerintahan pusat sebagai penerapan program Pembangunan Lima Tahun (PELITA) ke-4. Instansi yang terlibat berasal dari beberapa unsur seperti Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), dinas-dinas di bawah pemerintahan daerah, serta badan-badan di tingkat pusat seperti BPPT, Bakosurtanal, LAPAN, Kementerian Perhubungan (Direktorat Perhubungan Laut), BAPPEDA, dan lain-lain.

## Jaringan Instansi dan Koordinasi

Aplikasi Pengamatan Bumi dapat berfungsi secara efektif jika pengaturannya dikoordinasi dengan baik secara terpusat dan terintegrasi. Koordinasi ini perlu untuk menghubungkan stasiun-stasiun pengamatan, satelit pengawas milik LAPAN, dan instansi-instansi pemakai yang terkait.

Berdasarkan Keputusan Presiden (Keppres) No 33/1989 yang diperbarui dengan Keppres No 24/1994, salah satu fungsi LAPAN ialah sebagai bank data RS yang bertugas menyediakan data RS dari satelit bagi instansi pemakai demi kepentingan pembangunan nasional. Untuk menjalankan fungsi ini, LAPAN telah membangun *Earth Observation System* (EOS).

EOS merupakan suatu sistem inti yang terintegrasi dalam program pengawasan bumi yang mengkoordinasikan kebutuhan atau permintaan berbagai badan pemakai data RS, lokal maupun asing, dengan menyediakan berbagai jenis data atau informasi mengenai bumi, konsultasi proyek, dan lain sebagainya. Seperti diungkapkan terdahulu, masing-masing instansi telah melakukan berbagai kegiatan yang berhubungan dengan program pengamatan bumi. Khusus untuk masalah-masalah yang berhubungan dengan lingkungan hidup, koordinasi berada di bawah Kementerian Urusan Lingkungan Hidup dan pelaksanaan kegiatannya dilakukan oleh Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal). Sedangkan untuk rencana tindakan darurat saat bencana, koordinasi dipegang oleh Kementerian Kesejahteraan Rakyat dan dilaksanakan oleh Bakornas Penanggulangan Bencana. Badan-badan yang terkait dalam masalah lingkungan mengadakan pertemuan-pertemuan rutin untuk berbagi pendapat, pengalaman dan menyusun format yang memudahkan proses pertukaran informasi.

Perkembangan dilakukan dalam rangka usaha alih teknologi, penggunaan pinjaman luar negeri, pertukaran informasi, pengakuan dunia internasional, dan peningkatan hubungan internasional. Usaha-usaha yang dibuat antara lain, kerja sama litbang, pelatihan, dan bantuan luar negeri. Negara-negara yang banyak membantu penerapan program pengamatan bumi Indonesia antara lain Amerika Serikat, Kanada, Inggris, Perancis, Jerman, dan Belanda.

## Kesimpulan

Teknologi RS dan aplikasinya sebagai usaha

untuk meningkatkan pengamatan dan pengawasan terhadap Teknologi selain RS dan GIS yang berhubungan dengan pengolahan dan pengumpulan data dan informasi juga dikembangkan dengan tujuan seperti yang telah diterangkan diatas. Lembaga-lembaga yang lingkungan berkepentingan, mengembangkan dan meningkatkan kemampuannya dalam hal pengolahan data dan pengumpulan informasi ini. Pengumpulan data dan informasi sendiri bukanlah tujuan akhir, melainkan hanya sebagai alat untuk mencapai tujuan dan misi pembangunan nasional. Karena itu proses pengumpulan data dan informasi, termasuk pengaturannya, harus berada dalam suatu struktur kerangka nasional. Sebab inventarisasi dan pengawasan lingkungan memerlukan analisis yang menyeluruh dan ketepatan data dapat disajikan untuk kepentingan para pemakainya.

Dengan tujuan memperoleh hasil yang maksimal, disarankan agar program pengamatan bumi yang dilakukan secara terpisah oleh masing-masing instansi diorganisasi dan dikoordinasi secara efektif dan terintegrasi. Pengaturan yang baik tersebut akan mengoptimalkan penggunaan data RS dan SIG di negara ini, termasuk dalam hal mendukung kemajuan ekonomi dengan menekan kerusakan dan kerugian negara. Kerja sama dengan pihak luar negeri sangat berguna untuk mempercepat transfer ilmu dan teknologi.

## 2.2. Litbang Inderaja di LAPAN

Penggunaan teknologi penginderaan jauh (inderaja) atau *remote sensing* (RS) dari udara untuk menarik informasi geospasial yang tepat dan akurat mengenai lingkungan dan sumber daya alam (SDA) sangat penting bagi negara seperti Indonesia. Aplikasi teknologi RS memegang peranan penting dalam usaha perlindungan alam, eksplorasi geologi untuk bahan bakar dan mineral, serta untuk mempelajari keberadaan SDA lainnya dan anomali kejadian-kejadian yang ada di alam.

RS di LAPAN telah mengalami perkembangan secara bertahap dari tahap percobaan hingga operasional, khususnya pelayanan terhadap pemakai data. Perkembangan penggunaan teknologi yang telah dikenal di dunia internasional yang pesat di LAPAN ini, bukan hanya karena mandat yang telah diserahkan

melalui Keputusan Presiden, melainkan lebih karena bertujuan untuk memungkinkan penggunaan teknologi RS sebanyak mungkin demi keberhasilan pembangunan nasional.

Oleh karena itu, LAPAN melakukan kegiatan penerimaan, pengolahan, dan penyusunan data dari Landsat TM, SPOT, ERS 1 dan 2, JERS 1, NOAA, dan GMS. LAPAN juga melakukan berbagai kegiatan penelitian dan pengembangan (litbang) dalam teknologi RS dan aplikasinya. Penelitian yang dilakukan terutama bertujuan untuk mempercepat proses alih teknologi di bidang kebumihutan dan wilayahnya.

Selain itu, penelitian di bidang aplikasi RS dilakukan untuk mengembangkan model atau metode operasional untuk memenuhi permintaan pemakai data manajemen pelayanan. LAPAN juga melakukan program-program yang menyediakan informasi dari data satelit RS (misalnya nilai tambah produk) kepada pemakai, pemerintah maupun pihak swasta. Makalah ini bertujuan untuk mempresentasikan fasilitas, program, dan ketersediaan data yang dimiliki oleh LAPAN ususnya yang mendukung sektor pertambangan dan eksplorasi di Indonesia.

## Fasilitas

Untuk melaksanakan fungsinya, Lapan dilengkapi dengan stasiun-stasiun bumi RS, cuaca, dan lingkungan. Stasiun-stasiun bumi ini menyediakan penyelesaian secara tuntas bagi permintaan pemakai data RS. Stasiun Bumi RS terdiri dari dua subsistem utama, yaitu *Data Acquisition Subsystem* (DAS) dan *Data Processing Subsystem* (DPS). DAS berlokasi di Parepare, Biak, dan Jakarta. DAS di Parepare digunakan untuk menerima data dari satelit resolusi tinggi Landsat-5, SPOT, ERS-2, dan JERS-1. Sedangkan kedua DAS yang lainnya menerima data dari NOAA dan GMS. DPS terletak di Jakarta, dengan tujuan untuk memudahkan hubungan dengan pemakai, baik dari pemerintah maupun swasta, yang kebanyakan berada di Jakarta.

### 1. DAS

- DAS di Parepare, Sulawesi Selatan

DAS ini terdiri dari fasilitas penerima dan pencatat data. Perangkat keras penerima data terdiri dari antena, kontrol penerima otomatis, penerima, dan modul penguji. Fasilitas pencatat terdiri dari sebuah

perangkat keras dan sejumlah perangkat lunak. Antena DAS Stasiun Bumi Pare-pare dapat meng-cover hampir 95% wilayah Indonesia dan data yang diterima itu direkam di atas HDDT (*high digital density tape*), untuk kemudian dikirim lewat udara ke Pekayon, Jakarta, lalu diolah lebih lanjut.

- DAS di Jakarta dan Biak

DAS di Jakarta dan Biak sama. Masing-masing terdiri dari dua subsistem yang berguna untuk menerima dan meneruskan data dari NOAA dan GMS. Bagian-bagian dari subsistem tersebut ialah fasilitas penerima dan pencatat. Perangkat keras penerima data tersusun oleh antena, kontrol penerima otomatis, penerima, dan modul penguji. Fasilitas pencatat terdiri dari sebuah perangkat keras dan beberapa perangkat lunak.

DAS Biak diperlukan untuk meng-cover wilayah Maluku dan Irian yang berada di luar jangkauan antena NOAA yang ditangkap oleh DAS Jakarta. Sebagai tambahan, kedua DAS ini membentuk seri waktu yang lengkap bagi wilayah-wilayah *overlap*, yang berguna untuk tujuan pengawasan.

## 2. DPS

Pengolahan data, biasanya berarti pengolahan secara digital, ialah sistem utama dari sebuah operasi RS. Pengolahan data RS milik LAPAN dibagi dalam dua tahap yang berbeda. Pertama, tahap sebelum pengolahan yang sangat penting bagi keseluruhan proses pengolahan data digital. Semua data yang diterima dari Stasiun Bumi Parepare diolah untuk menghasilkan data dasar yang disimpan dalam bentuk *hardcopy*, *computer compatible tape* (CCT), dan CD Rom. Kedua, pengolahan lanjutan (dikenal sebagai penggambaran citra dan penarikan informasi) dilakukan untuk berbagai macam aplikasi dan tujuan-tujuan tambahan lain.

DPS terdiri dari subsistem perekam dan pemutar (RPS), subsistem pemeriksa citra (ICS), subsistem pemutar interaktif (IQS), pengawas dan pengontrol, subsistem pengelolaan pelayanan pelanggan (CMS) dan laboratorium fotografi, serta subsistem analisis citra serta GIS (IAS-GIS).

Laboratorium fotografi berkemampuan menghasilkan cetakan foto di atas kertas berukuran besar, sekitar 120 x 120 cm<sup>2</sup>. Sementara itu, IAS-GIS terdiri dari beberapa perangkat lunak seperti Meridian, ERDAS, ER-Mapper, Micro Brian, Idrisi, dan Arc Info. DPS di Jakarta dan Biak terdiri dari fasilitas pengolah

data NOAA dan GMS, termasuk RPS dan ICS. Analisis citra dilakukan dengan memakai sistem Metdas.

## Program

LAPAN telah terlibat dalam penggunaan data RS resolusi tinggi di Indonesia sejak tahun 1993. LAPAN menyadari bahwa permintaan tiap pemakai data berbeda menurut kebutuhan, kepentingan, pengalaman, dan ketersediaan fasilitas. Untuk meningkatkan penggunaan data oleh pemakai, LAPAN telah melakukan berbagai kegiatan litbang untuk pengembangan teknologi RS dan modelnya, selain peningkatan pelayanan pemakai.

Kegiatan litbang yang dilakukan LAPAN di bidang teknologi RS diutamakan untuk menguasai sistem area seperti konsep dan rancangan stasiun bumi, sensor, pengolahan citra, dan sistem untuk mendukung pelayanan pemakai serta *marketing*. Di pihak lain, LAPAN, dalam pengembangan aplikasi RS, berusaha untuk menciptakan model yang praktis dan sesuai dengan permintaan tertentu dari pemakai data.

Pengembangan aplikasi data tersebut dilakukan bekerja sama dengan agen pemakai atau termasuk dalam program tahunan kegiatan di dalam lembaga. Untuk meningkatkan kemampuan penyediaan pelayanan terbaik bagi pemakai, LAPAN bekerja sama dengan institusi internasional seperti ACRES, NASDA, DLR, dan ISRO. n litbang LAPAN di bidang RS yang terbaru ialah:

- Merancang dan mengembangkan prototipe pengolahan citra alat pemakai fungsi tunggal 32 bit dan pemakai banyak fungsi banyak 64 bit.
- Membuat rancangan stasiun bumi kecil untuk menerima transmisi satelit cuaca GMS atau transmisi data area bit rendah.
- Mempelajari karakteristik satelit-satelit baru supaya LAPAN dapat mempersiapkan diri beradaptasi dengan teknologi mutakhir.
- Mempelajari kemungkinan pengembangan fasilitas penerima dan pengolah data. Sasaran utama yang sedang dikejar ialah sistem pengarsipan data otomatis.

Stasiun bumi Indonesia yang terdahulu menggunakan HDDT untuk merekam data, alat perekam yang besar dan mahal dengan kapasitas rendah. Sementara itu, pencatat HDDT (HDDTR)

memiliki banyak keterbatasan perekam dan pemutar berkecepatan rendah, harganya sangat mahal, dan memakan biaya operasional yang tinggi bahkan hanya untuk perawatannya.

Sebagai tambahan, sistem yang telah ketinggalan jaman ini memerlukan sistem pengolahan yang khusus untuk mengolah data mentah dari program satelit pembingkai yang hanya digunakan untuk membingkai data MSS saja serta menggunakan sistem pra pengolahan data tertentu, yang disebut *bulk processing system* (BPS). Keterbatasan ini dipertimbangkan saat LAPAN berencana untuk meningkatkan fungsi pelayanan stasiun-stasiun bumi yang dimilikinya.

Sistem HDDTR yang sebelum ini dipakai di stasiun bumi Parepare, sudah tidak digunakan lagi. Sistem tersebut telah digantikan dengan perekam DCRSi yang menggunakan kaset CDRSi. Kaset ini lebih kecil daripada HDDT tetapi memiliki kapasitas serta tingkat kecepatan perekam dan pemutar yang lebih besar. Sistem ini dapat menghemat waktu operasional untuk menghasilkan produk data maupun kegunaan lainnya.

Meskipun demikian, LAPAN menyadari bahwa sistem ini tidak akan digunakan lagi dalam beberapa waktu mendatang. Pada masa yang akan datang, pengendali stasiun bumi akan menerima data dari lebih banyak lagi satelit yang mengorbit bumi. Hal ini, tentu saja akan menimbulkan masalah dalam penerimaan dan penyimpanan data yang berhubungan dari satelit-satelit tersebut.

Kemampuan *modular multi satellite processor* (MMSP) yang sekarang dipakai untuk mengubah data yang digunakan dalam CCT, tidak akan dapat mengimbangi kecepatan bit satelit modern yang digunakan di masa mendatang dengan kecepatan bit transmisi lebih tinggi. Selain itu, MMSP hanya dibuat dalam jumlah terbatas. Jumlahnya yang sama dengan jumlah stasiun bumi yang ada di bumi menyebabkan MMSP menjadi alat yang sangat mahal.

Dengan memperhitungkan pengoperasian satelit mutakhir yang kebanyakan memiliki kecepatan bit tranmisi lebih tinggi, dan penyesuaian yang diperlukan untuk kepentingan penerimaan data satelit, LAPAN memandang perlu adanya peralatan yang lebih fleksibel dan tidak lagi tergantung pada fasilitas HDDTR dan MMSP, paling tidak dengan mengubah media perekam data dari HDDT atau DCRSi menjadi *Digital Linear Tape* (DLT).

Sistem pengarsipan langsung menjamin penyediaan data RS jangka menengah dan panjang

dengan biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang rendah. Dengan kemampuan pengarsipan langsung, kita tidak perlu lagi meragukan kemampuan sistem stasiun bumi kita. Tidak akan ada tekanan besar untuk merombak total stasiun bumi kita agar dapat menerima transmisi satelit mutakhir. Penangkapan data secara langsung akan memudahkan LAPAN menyesuaikan diri dengan cara tetap menerima dan mencatat transmisi data yang diterima tanpa harus meningkatkan kemampuan stasiun secara besar-besaran.

Kegiatan litbang RS lainnya adalah sebagai berikut:

- Mengembangkan sistem katalog citra dengan sistem komputer personal. Sistem ini menyediakan akses langsung ke arsip data. Sistem ini dirancang mudah digunakan bahkan untuk pemakai tanpa pengetahuan dasar komputer.
- Mempelajari pengembangan pengolahan SAR untuk menyediakan informasi interferometri dan aplikasinya.
- Mempelajari dan mengembangkan model pengolahan data yang sesuai untuk menarik informasi dengan berbagai jenis permintaan.
- Mempelajari berbagai metode pengolahan data untuk menarik sifat khusus sebuah target benda, misalnya sifat atau benda geologi.

Kebanyakan eksplorasi mineral dilakukan di wilayah-wilayah yang tak terjangkau. Penyelidikan geologi di daerah-daerah tropis seperti Indonesia biasanya terhalang oleh problem alam seperti kerapatan hutan, kelembaban yang tinggi, maupun faktor cuaca dan iklim. Sebab itu, perlu adanya informasi geologi yang menyeluruh dan meliputi daerah-daerah yang berpotensi untuk mendukung program eksplorasi.

## Pengembangan Model Penerapan RS

Data satelit RS tidak hanya digunakan sebagai alat yang efektif untuk kegiatan yang berhubungan dengan lingkungan hidup, melainkan juga untuk banyak tujuan lain seperti penggunaan tanah dan kepemilikan area. LAPAN menggolongkan program RS-nya dalam tiga kegiatan utama, yaitu, Proyek Penelitian, Pengolahan, dan Pemanfaatan Penginderaan Jauh (P4); Inventarisasi SDA (ISDA); dan Pemantauan Bumi (PB).

P4 terdiri dari penelitian mengenai kriteria standar, fungsi ganda RS, dan teknologi SAR serta penerapannya. Teknologi SAR dan aplikasinya terdiri dari teknologi lanjutan untuk mengatasi masalah penyebaran asap akibat kebakaran hutan. Penerapan teknologi SAR masih berada dalam tahap perkembangan dan memerlukan lebih banyak tenaga ahli yang terlibat.

Penelitian untuk menentukan kriteria standar merupakan program penelitian untuk menemukan kriteria yang sesuai dari model yang sudah berkembang dan dikenal pemakaiannya, misalnya untuk data MSS atau pengembangan model untuk keadaan khusus (subtropik). Hasil dari kegiatan ini ialah untuk menemukan kriteria standar dan parameter yang sesuai untuk permintaan tertentu khususnya di daerah tropik.

Penelitian untuk fungsi ganda RS dirancang untuk pengoptimalan penggunaan data satelit (GMS, NOAA, Landsat-TM, SPOT, JERS, dan ERS). Kegunaan ini berhubungan sangat erat dengan kriteria standar yang dihasilkan dari sebuah model yang dikembangkan atau aplikasinya. Lebih jauh lagi, penelitian untuk data SAR khususnya ditujukan untuk melengkapi data ERS dan JERS yang diterima oleh Stasiun Bumi Parepare dan untuk memenuhi permintaan pemakai data SAR untuk berbagai tujuan seperti pemukiman tanah dsb.

Di pihak lain, ISDA dan PB ditujukan untuk penggunaan model dan metode yang dikembangkan dalam P4, khususnya kriteria standar dari model yang dikembangkan untuk menarik informasi nilai tambah sebuah data yang dipakai. Aktivitas penelitian yang dilakukan oleh program P4 ialah:

- Penetapan pemakaian area dengan penggunaan data RS multi fungsi.
- Penggunaan data SAR untuk pengawasan daerah pantai, tumpahan minyak, pengawasan banjir dan polusi.
- Mempelajari parameter khusus untuk klasifikasi daerah urban.
- Mengembangkan metode operasional untuk pengelolaan masalah kelautan seperti mangrove, polusi terhadap air laut, pengawasan terumbu karang, dan sebagainya.
- Mengembangkan metode untuk penentuan musim panen.
- Mengembangkan metode operasional untuk mendeteksi rembesan minyak dengan citra satelit.

- Mengembangkan metode lanjutan untuk diterapkan dalam masalah penggunaan dan kepemilikan tanah.

Sementara itu, kegiatan yang dilakukan dalam program ISDA dan PB, antara lain:

- Lingkungan Hidup
  - o Deteksi kebakaran hutan (titik api)
  - o Pengendalian kekeringan
  - o Pengawasan perubahan iklim global (ITCZ & SPCZ)
  - o Pengawasan polusi air
  - o Pengendalian banjir
  - o Pengawasan ozon
  - o Pendeteksi suhu air laut dan pengaruhnya pada musim kering di Indonesia.
- Inventarisasi
  - o Inventarisasi area sehubungan dengan perluasan daerah pertanian di Pulau Sumatera
  - o Inventarisasi daerah yang terinfiltrasi di Jabotabek
  - o Inventarisasi daerah irigasi tanaman padi di Jawa
  - o Pengawasan dan inventarisasi terumbu karang
  - o Inventarisasi luas daerah mangrove dan zonanya

## Ketersediaan dan Penyebaran Data

Pengoperasian stasiun bumi Parepare untuk menangkap data satelit mencatat lebih dari 11.282 gambar Landsat-TM, lebih dari 28.315 gambar SPOT, dan lebih dari 3.173 gambar dari ERS 1 dan ERS 2. Proses penerimaan sebuah data tidaklah selalu berhasil. Di tahun fiskal 1996/97, persentase penerimaan data mencapai 83,10%. Kegagalan pencatatan data disebabkan karena adanya kelainan pada satelit, kerusakan alat, konflik antarsatelit, kesalahan operator SOSS, dan penolakan data yang masuk.

Data mentah dikirim ke Pekayon (Pusat Pengolahan dan Pelayanan Pemakai) untuk diolah menjadi data master, katalog, dan lain sebagainya. Proses pengolahan data-data ini tidak mungkin berhasil

100%, tergantung kondisi data yang diterima dari transmisi sinyal satelit atau liputan awan. Dari data mentah yang dicatat, diolah lebih dari 8.460 gambar Landsat-TM, 25.470 Gambar SPOT, dan 2.649 gambar ERS 1 dan ERS 2. Karena kondisi iklim, ketersediaan data gambar yang bebas dari liputan awan hanya 40%. Data ini dipakai oleh banyak pemakai, badan

Tabel 1. Distribusi data satelit resolusi tinggi berdasarkan permintaan tiga tahun terakhir.

TAHUN	DIGITAL			HARDCOPY			JUMLAH (scene)
	TM	SPOT	ERS-1	TM	SPOT	ERS-1	
1994	49	2	27	124	3	16	221
1995	153	3	10	460	10	19	655
1996	213	7	-	454	3	3	680
Jumlah (scene)	415	12	37	1038	16	38	1556

Berdasarkan hal ini, pemakai dapat dibedakan dalam tiga jenis, yaitu:

a. Pemakai operasional

Pemakai data yang dimasukkan dalam kategori ini ialah pemakai yang secara rutin dan operasional memakai dan menarik data RS yang dibutuhkan untuk mendukung tugas-tugas organisasi yang berhubungan dengan pengelolaan SDA, pengawasan lingkungan hidup, dan lain-lain. Di antara para pemakai, yang termasuk jenis ini ialah perusahaan pemegang hak konsesi hutan, Bakosurtanal, Kementerian Transmigrasi, Kementerian Kehutanan, dan BPN. Dalam kategori ini, pemakai biasanya memiliki cukup dana, SDM, maupun peralatan.

b. Pemakai Ilmiah

Pemakai yang termasuk dalam kategori ini ialah lembaga atau perorangan yang terlibat dalam pemakaian RS untuk memperoleh data yang berguna bagi ilmu pengetahuan dan untuk mengenal salah satu teknologi terapan ilmu pengamatan bumi yang berkembang secara pesat. Pemakai terdiri dari perorangan, perguruan tinggi, BPPT, LAPAN, dan lain sebagainya. Kecuali BPPT, semua pemakai memiliki dana yang terbatas. Kebanyakan perlengkapan yang dimiliki pemakai tidak terlalu ketinggalan jaman.

c. Pemakai potensial

Pemakai yang termasuk dalam kategori ini ialah organisasi yang memakai data RS sehubungan dengan bidang kegiatan dan fungsi organisasi mereka.

pemerintah, perusahaan swasta khususnya pemegang hak konsesi hutan, dan perguruan tinggi.

Dari pengelolaan pelayanan pelanggan, LAPAN dapat memperoleh informasi mengenai keberadaan pemakai dengan mengenali jenis pemakai dan kebutuhan mereka.

Biasanya, mereka memiliki pengetahuan dasar mengenai RS di antara mereka, meskipun SDM, dana, dan perlengkapan yang dimiliki jumlahnya tidak mencukupi, demikian pula dengan kurangnya kepedulian pemerintah. Hal ini menyebabkan perkembangan teknologi RS di antara pemakai jenis ini sangat lambat. Pemakai yang termasuk dalam kategori ini ialah Kementerian Pertanian, Pemerintah Daerah, dan Bappeda. Selain itu, pemakai yang tidak mengetahui mengenai kemampuan teknologi RS nasional seperti Asosiasi Pertambangan Indonesia, juga termasuk dalam kategori ini. Mereka lebih mengenal surveyor internasional atau distributor data satelit dari luar negeri.

Tiap kategori pemakai memiliki permintaan terhadap jenis data yang berbeda. Pemakai potensial dan operasional memerlukan data yang dapat membantu mengerjakan tugas-tugas dan menyelesaikan masalah yang dihadapi. Mereka membutuhkan informasi yang memiliki karakteristik penting seperti mudah didapat, dapat langsung digunakan, akurat, menyeluruh dan efektif.

Pemakai operasional yang memiliki fasilitas pengolah data sendiri biasanya meminta data digital, atau *hardcopy* untuk dikerjakan sendiri interpretasinya. Pemakai potensial memerlukan informasi untuk memenuhi kebutuhan mereka. Pemakai potensial biasanya mencari data yang paling memenuhi kebutuhan mereka dan harganya cocok dengan dana yang dimiliki. Akibatnya, persaingan keras terjadi.

TUJUAN	PEMERINTAH			PT			SWASTA			LEMB.INT		
	94	95	96	94	95	96	94	95	96	94	95	96
KEHUTANAN	11	86	62	1	-	2	135	372	338	4	-	3
PERKEBUNAN, PERTANIAN	2	34	49	-	-	-	7	36	109	12	-	2
GEOLOGI	1	6	16	-	-	-	1	10	26	-	-	-
PENELITIAN	5	14	11	1	7	4	-	2	-	34	30	5
TRANSMIGRASI	-	26	4	-	-	-	-	1	4	-	-	-
COSTAL MANAGEMENT	3	10	7	1	9	4	-	4	5	-	-	-
LAIN-LAIN	1	1	26	1	-	-	1	5	1	0	2	2
JUMLAH	23	177	175	4	16	10	144	430	483	50	32	12

Tabel 2. Distribusi Data Berdasarkan Aplikasi Tahun 1994 – Oktober 1996

Para penyedia data harus menyadari bahwa permintaan pelanggan akan mempengaruhi kebijakan penerimaan dan pendistribusian data. Oleh karena itu, keberhasilan operasional penyebaran data akan tergantung pada kesiapan penyedia data atau informasi untuk melihat peluang dan tantangan menyediakan pelayanan terbaik bagi pemakai. melalui perjanjian dengan perusahaan sebagai distributor. Saat ini, ada 15 distributor yang berlokasi di Jakarta dan Bandung.

Untuk meningkatkan pasar pemakai data, Lapan telah melakukan berbagai usaha seperti memperkenalkan pemakaian data satelit di luar Pulau Jawa, pelatihan RS (pengetahuan dasar dan lanjutan termasuk di antara para pembuat kebijakan), penelitian bersama, pameran, dan penyebaran menyeluruh

Para distributor tersebut meningkatkan angka penjualan data RS. Lebih jauh lagi, untuk meningkatkan kualitas pelayanan, LAPAN memberikan jaminan pemeriksaan produk. Dalam kegiatan ini, Lapan bekerja sama dengan ACRES. Kerja sama ini sangat penting bagi LAPAN karena ACRES memiliki pengalaman sebagai badan asuransi pemegang kualitas produk. potensi ACRES sebagai sebuah pasar potensial bagi data satelit dari stasiun-stasiun bumi di seluruh dunia.

Penyebaran data didominasi oleh perusahaan-perusahaan pemilik hak konsesi hutan untuk berbagai macam kegiatan. Tabel berikut ini menggambarkan distri/busi data sateli resolusi tinggi (Landsat-TM, ERS-SAR, dan SPOT) berdasarkan permintaan dalam 3 tahun terakhir. Dari tabel tersebut dapat dilihat penggunaan data satelit untuk sektor pertambangan dan eksplorasi sangat rendah, meskipun jumlahnya meningkat dari tahun ke tahun.

## Kesimpulan

Data satelit RS di Indonesia diterima, diolah dan disebarkan oleh Lapan secara operasional dan berkelanjutan. Kegiatan litbang dalam teknologi RS telah menghasilkan prototipe Sistem Pengolah Citra untuk fungsi dan pemakai tunggal atau banyak (32 atau 64 bit) dengan komputer personal, mengembangkan kemampuan mengolah data ERS-2, rencana desain menyeluruh untuk sistem stasiun bumi yang dimiliki Lapan untuk masa depan dalam hubungannya dengan pengoperasian satelit mutakhir.

Sebagai bank data RS, Lapan telah melakukan berbagai usaha untuk memenuhi permintaan pemakai data. Hal ini berhubungan dengan program pelayanan pemakai dan kegiatan litbang dan kegiatan litbang dalam pemakaian data RS untuk mendapatkan metode operasional yang sesuai.



## 2.3. Satelit Memantau Kerawanan Terbakarnya Hutan

### Latar Belakang

Catatan mengenai Kehutanan di Indonesia telah mencatatkan terjadinya kebakaran hutan sejak tahun 1978. Meskipun kebakaran besar pertama yang mendapat perhatian besar dari publik ialah pada tahun 1982/83. Selama masa tersebut, kekeringan dan kebakaran hutan telah merusak sekitar 3,6 juta hektar hutan di propinsi Kalimantan Timur. Kebakaran-kebakaran hutan besar juga terjadi dalam jangka waktu tahun 1987/1988.

Kebakaran pada tahun 1997 adalah bencana paling serius dalam 15 tahun terakhir. Kebakaran hutan terjadi di tiap provinsi kecuali Jakarta, Yogyakarta, Bali dan Timor Timur. Kebakaran lahan terjadi di 18 provinsi selain lima provinsi di Jawa, Bali dan Timor Timur. Angka resmi dari pemerintah menyebutkan kebakaran tahun 1997 mencakup wilayah hutan sebesar 263.991,21 hektar dan 119.878 hektar tanah.

Di Indonesia kebakaran hutan tampaknya merupakan fenomena yang dapat terjadi tiap tahun, khususnya selama musim kemarau. Dengan situasi ini, perlu diambil langkah pencegahan awal yang memadai. Salah satu aspek penting dalam pencegahan kebakaran hutan ialah mengenal dan memprediksikan areal rawan kebakaran hutan. Pemakaian satelit untuk memonitor kebakaran hutan telah dilakukan selama lebih dari dua puluh tahun terakhir. Setiap hari bumi dikelilingi oleh satelit-satelit yang jumlahnya terus bertambah, tetapi hanya sebagian kecil pengamatan satelit tersebut yang ditujukan untuk pengawasan kebakaran hutan.

Contohnya Landsat dengan *thematic mapper* (dengan spasi resolusi 30 m) akan sangat ideal untuk pengawasan kebakaran hutan jika bukan karena adanya beda waktu 16 hari untuk suatu daerah. Data Landsat telah digunakan untuk menghitung luas hutan yang terbakar di Alaska setelah apinya berhasil dipadamkan (Hall dkk., 1979, dalam Flannigan and Haar, 1986). Tidak seperti seri Landsat yang memiliki resolusi waktu rendah (16 hari), *advanced very high resolution radiometer* (AVHRR) yang berada di atas satelit orbit kutub NOAA memiliki resolusi waktu yang

lebih tinggi (4 kali sehari) tetapi dengan resolusi area yang lebih rendah (1,1 km pada titik nadir).

Data dan citra suatu wilayah dari AVHRR dapat diterima berulang kali dalam waktu harian. Dengan demikian dimungkinkan pengawasan kebakaran hutan pada sebuah daerah paling sedikit satu kali sehari. Sebagai tambahan, pemakaian data AVHRR juga memungkinkan dilakukannya pengambilan contoh multispektral (dua saluran inframerah) untuk mengenal kebakaran kecil.

Sistem peringatan dini dapat dilaksanakan untuk mengetahui dan mengawasi penyebaran dan perluasan kebakaran hutan. Sistem semacam ini menguntungkan pemerintah daerah dan penduduk lokal untuk melakukan tindakan-tindakan yang perlu untuk penanggulangan bencana dalam waktu yang dekat. Dalam pemakaian lanjutan data RS, sistem peringatan dini dapat juga digunakan untuk mengawasi terjadinya kekeringan dan keberadaan titik api.

### Pengawasan Bencana Kekeringan

Pantulan sinar pigmen klorofil dalam sinar tampak dan infra merah dekat (kanal 1 dan 2 AVHRR) dapat menggambarkan kelembatan dan kerapatan hutan. Dedaunan hijau memiliki pantulan kurang dari 20% dalam interval spektrum sinar tampak (0,5-0,7  $\mu\text{m}$ ), tetapi sekitar 60% dalam jangkauan sinar infra merah jarak dekat (0,7-1,3  $\mu\text{m}$ ) (Kidwell, 1990).

Indikator vegetasi ialah ukuran kuantitatif, harganya ditunjukkan dengan angka yang mewakili kepadatan massa hayati atau kerapatan tumbuhan. Biasanya, indeks kerapatan tumbuhan didapatkan dari kombinasi berbagai harga spektrum sinar yang ditambahkan, diselisihkan, atau dikalikan dengan tujuan untuk menghasilkan harga tunggal yang menggambarkan tingkat kerapatan tumbuhan dalam sebuah unsur gambar (pixel). Jika indeks kerapatannya tinggi, maka pixel adalah area yang ditumbuhi oleh pepohonan substansial yang rimbun (Campbell, 1987).

Salah satu indeks tumbuhan yang digunakan secara luas di dunia internasional ialah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). D'Iorio dkk., 1989 menjabarkan bahwa NDVI yang berasal dari citra NOAA-AVHRR terbukti merupakan alat yang efektif untuk mengawasi kondisi tumbuhan di suatu daerah. Satelit NOAA mencatat angka jumlah cahaya yang dipantulkan dalam area panjang gelombang tertentu. Sensor dua jalur AVHRR, sinar tampak (CH1) dan infra merah (CH2), digunakan untuk menghitung NVDI dengan

rumus sbb:

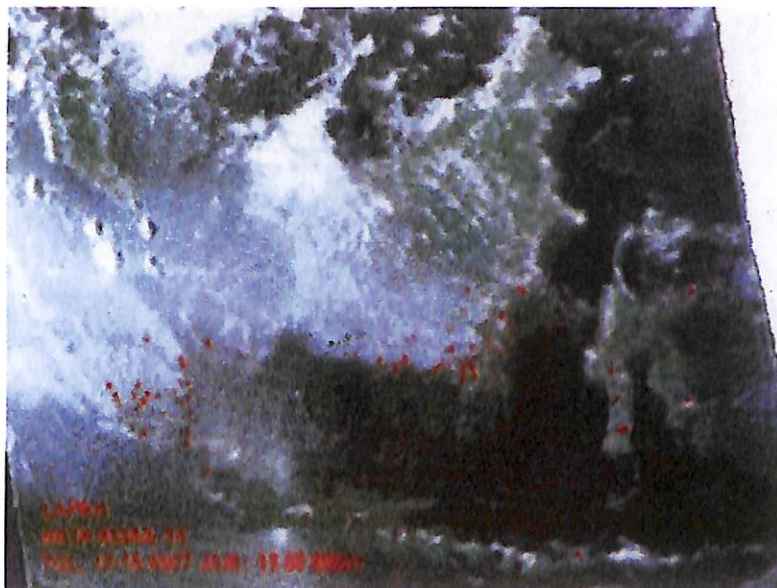
$$NDVI = \frac{(CH2 - CH1)}{(CH1 + CH2)}$$

Selisih CH2 dan CH1 menghasilkan ukuran massa yang aktif berfotosintesa (dedaunan hijau). Kenaikan harga NDVI berarti bertambahnya jumlah daun hijau yang berfotosintesa. Harga NDVI tidak dapat ditingkatkan kecuali dengan penambahan tumbuhan hijau. Namun, banyak faktor yang dapat menyebabkan turunnya harga NDVI. Salah satunya ialah banyak atmosfer yang berada di antara satelit dan daerah yang dicitrakanya. Pengamatan bertambah sehingga mengu- angin sinar pantul. Pengurangan jumlah sinar pantul ini juga dapat disebabkan oleh uap air, asap, dan awan yang mengotori atmosfer. Penjumlahan CH1 dan CH2 menormalkan harga NDVI dan mengurangi pengaruh

masalah-masalah diatas. Dengan menghitung harga NDVI secara periodik, dapat ditentukan lokasi daerah kering utama hasil dan keluaran analisisnya dapat diinformasikan kepada kekeringan maupun pencegahan kebakaran hutan.

## Pendeteksian Titik Api

Pendeteksian dan pengawasan kebakaran hutan dapat dilakukan dengan pendeteksian titik api. Di permukaan bumi titik api dapat terlihat di jalur 3 ( $\lambda=3,8 \mu\text{m}$ ) dan jalur 4 ( $\lambda=10,5 \mu\text{m}$ ) dari data NOAA-AVHRR. Dengan menggunakan kedua jalur tersebut secara bergantian, Matson dan Dozier (1987) menunjukkan kemampuan seri NOAA untuk mendeteksi



**TITIK API** : Hasil analisa dari satelit NOAA menunjukkan beberapa lokasi di Indonesia yang rawan terhadap kebakaran hutan. Kerawanan itu ditunjukkan dengan adanya titik-titik api atau *hot spot* (bulat berwarna merah) seperti tampak pada gambar

sumber panas di bumi.

Langkah pertama, citra AVHRR diambil sepanjang musim panaskemarau. Dalam keadaan normal, respon balik area gelap maksimum dari jalur 3 selalu lebih kecil dari area gelap jalur 4. Untuk daerah-daerah bersuhu tinggi, badan gelap maksimum berpindah dari jalur 4 ke jalur 3. Dengan menghitung harga radiasi badan gelap di tiap pixel dan mengkonversikannya ke dalam temperatur, titik api bisa ditentukan. Koreksi geometrik perlu dilakukan untuk mengetahui lokasi titik api (lintang dan bujur).

Hasilnya dapat langsung dikirimkan ke dinas pengendali kebakaran hutan untuk pengamatan lahan, penentuan daerah bahaya, dan penanggulangan

kebakaran. Gambar berikut ini memperlihatkan citra titik api di beberapa wilayah di Indonesia. Langkah kedua, data dari satelit resolusi tinggi seperti Landsat-TM dapat diambil untuk menyelidiki lebih detail.

## Metode Mendeteksi Titik Api Menggunakan NOAA

Kebakaran hutan di Indonesia, khususnya di Kalimantan dan Sumatera kerap terjadi pada musim kemarau. Untuk mengetahui asal api dapat digunakan teknologi penginderaan jauh melalui satelit. Penggunaan teknologi ini telah dikembangkan oleh

Lapan sejak tahun 1987 dan pada 1994 lalu telah dioperasikan untuk mengetahui titik api dari kebakaran hutan di Indonesia. Dalam prosesnya satelit yang digunakan adalah satelit lingkungan NOAA yang dioperasikan oleh Amerika Serikat sejak tahun 1978. Sementara satelit yang beroperasi saat ini adalah NOAA-12 dan NOAA-14 dan beberapa bulan lalu telah diluncurkan satelit NOAA jenis baru yakni NOAA-K (NOAA-15).

Pemanfaatan data dari satelit NOAA untuk mengetahui titik api sangat membantu ketika terjadi kebakaran hutan di Sumatera dan Kalimantan selama musim kemarau panjang tahun 1997 lalu. Pengalaman menunjukkan bahwa informasi mengenai titik api sangat bergantung pada kualitas NOAA mampu merekam titik api. Kualitas informasi itu diukur oleh ketepatan dalam menentukan objek titik api dan akurasi dari lokasinya (*latitude and longitude*). Akurasi itu juga bergantung pada kedua ukuran yang digunakan dalam memeriksa data titik api di permukaan bumi.

Prosedur yang diperlukan dalam menyadap informasi titik api adalah dengan mempertemukan ukuran yang akurat, latar belakang fisik dari titik api sesuai data NOAA, dan teknik menyaring kabut atau cahaya matahari yang menyilaukan. Prosedur itu diterapkan oleh Lapan dan diharapkan menjadi acuan stasiun bumi pemantau NOAA yang beroperasi di Indonesia.

### 1. Spesifikasi Data Teknik NOAA

#### a. Orbit Satelit NOAA

Satelit NOAA berorbit selaras dengan orbit matahari yang ukurannya (parameters) ditunjukkan dalam tabel di bawah ini (contoh NOAA-9):

Tabel 3. Parameter dari orbit satelit NOAA-9

Ketinggian satelit	870 km
Inklinasi	81.1 derajat
Waktu orbit	102.37 mm
Banyaknya orbit per hari	14.07
Nodal regression	25.59 derajat/orbit
Nodal precision	0.986 derajat/hari

#### b. Instrumen/Sensor dari Satelit NOAA

Satelit NOAA mempunyai empat instrumen, antara lain:

- AVHRR (*advanced very high resolution radiometer*) untuk memantau permukaan bumi dan awan
- TOVS (*tiros operational vertical sounders*) untuk memantau profil suhu dan kelembaban di atmosfer
- DCLS (*data collection and location system*) untuk memantau informasi mengenai permukaan bumi seperti suhu, kelembaban dan arah angin
- SEM (*space environment monitoring*) untuk memantau partikel proton dan alpha serta energi spektral dari matahari

#### c. Spesifikasi Data Teknik AVHRR

Ada dua satelit NOAA yang dioperasikan guna memantau permukaan dan atmosfer bumi. Kini, satelit NOAA yang beroperasi adalah NOAA-12 yang mempunyai waktu setempat (data NOAA yang diterima stasiun bumi) pada pukul 06:00 dan 06:00 serta NOAA-14 dengan waktu setempat pada 14:00 dan 02:00. Satelit NOAA-15 yang baru diluncurkan diharapkan menggantikan NOAA-12. Satelit baru yang mempunyai waktu setempat 06:30 dan 18:30, dioperasikan secara simultan dengan dua satelit NOAA lainnya yang memiliki tempo resolusi 6 jam.

Instrumen AVHRR memiliki lima pita dari yang nampak hingga spektrum infra merah. Karakteristik dan lebar dari masing-masing pita dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Karakteristik spektral dari data AVHRR

Spektrum Radiasi	Panjang Gelombang (mikro meter)	Kegunaan
Visible	0.55 – 0.68	Mendeteksi asap (karbon dioksida) dan awan
Near infrared	0.725 – 1.1	Mendeteksi tumbuh-tumbuhan
Thermal infrared	3.55 – 3.93	Temperatur permukaan bumi
Infrared jauh	10.3 – 11.3	Sda
Infrared jauh	11.5 – 12.5	Sda

Data AVHRR mempunyai rentang dari 1,1 km hingga titik terendah (*satellite passing line*). Dari titik terendah akurasi akan berkurang karena terdapatnya lekukan bumi.

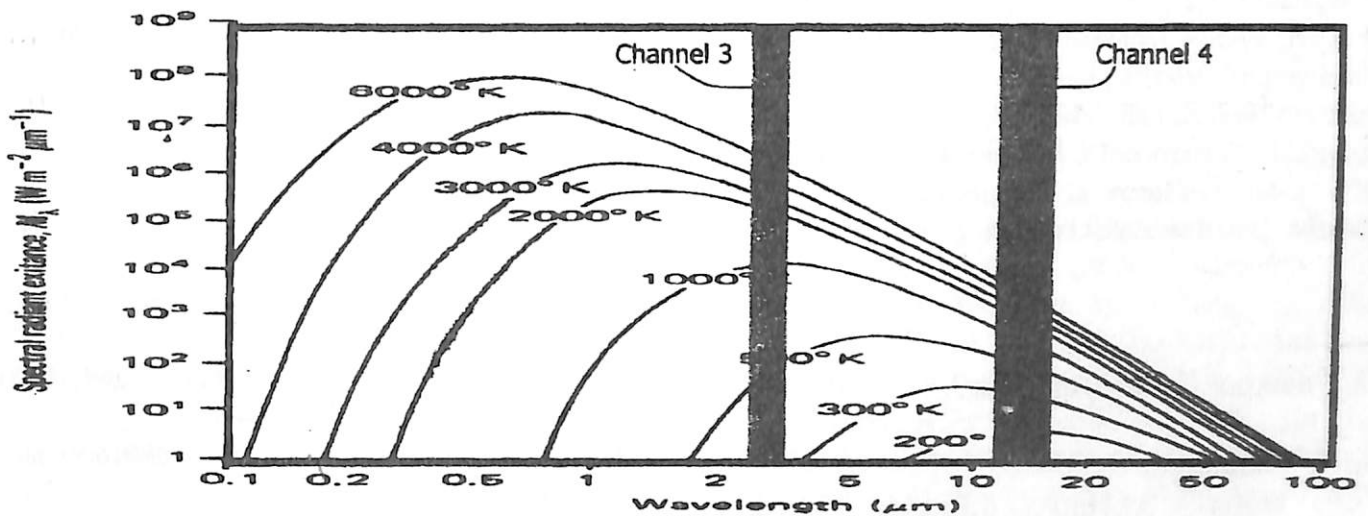
bawah ini) dan ditulis dengan rumus:

$$L_j(T) = \frac{\int_{\lambda_j} C_1 \lambda^{-5} j(\lambda) d\lambda}{\pi \int_{\lambda_j} j(\lambda) d\lambda} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right)$$

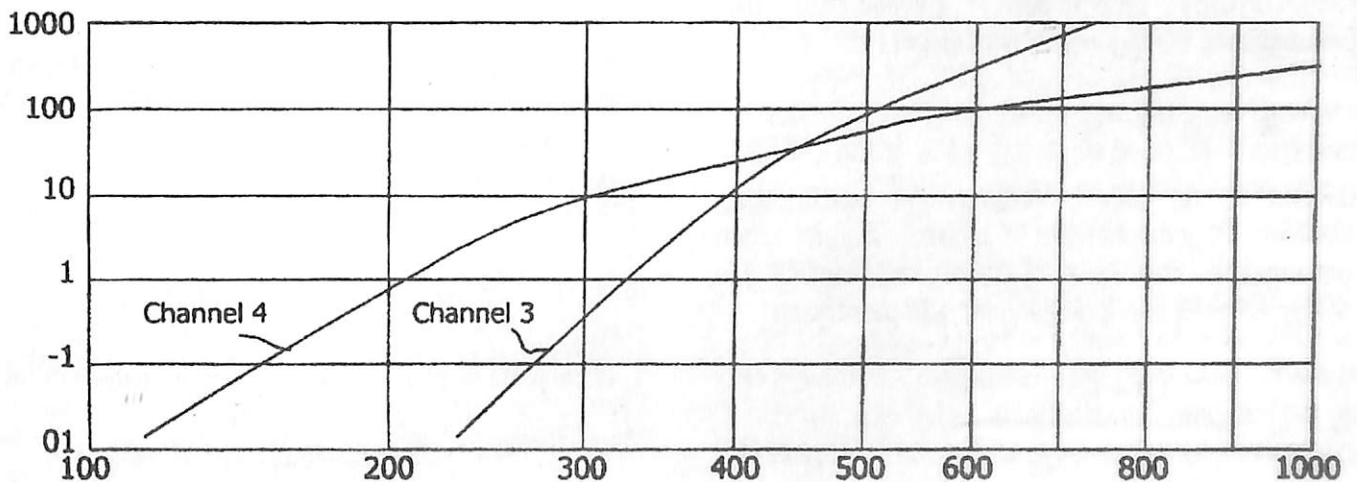
## 2. Teori Untuk Mendeteksi Titik Api

Penentuan titik api di atas permukaan bumi didasarkan pada metoda Matson dan Dozier (1981) berupa hitungan suhu di kanal ( $\lambda = 3.87$  mikron) dan channel 4 ( $\lambda = 10.5$  mikron). Kesepakatan suhu cahaya dari radiasi yang berubahubah yang diterima satelit didasarkan pada formula Plank (lihat Gambar di

Dimana  $L_j$  merupakan radiasi dari kanal  $j$ th dengan satuan  $Wm^{-3}Sr^{-1}$



SUHU: Radiasi Plank untuk suhu dan fungsi panjang gelombang



GABUNGAN: Hasil Gabungan Plank untuk kanal 3 (3,8 mikron) dan kanal4 (11 mikron)

Data radiasi dari satelit dalam bentuk digital yakni radiometer, konversi  $L_j$  dari radiometer dapat dihitung dengan persamaan linier berikut : kalibrasi dari jalur yang melandai, target suhu dan sensor VHRR dari Radiometer Backscan yang dicatat oleh stasiun

$$L_j = G_j DN_j - I_j \quad (2)$$

Dimana  $G_j$ ,  $DN_j$ ,  $I_j$  adalah koefisien yang diperoleh, hitungan radiometer dan urutan dari saluran  $j = 3$  dan 4

Suhu dari radiasi dapat juga ditampilkan melalui persamaan yang dikembangkan oleh Singh (1984) yakni:

$$T_{bj} = \frac{\beta}{\ln(L_j) - \alpha} \quad (3)$$

Dimana  $\beta$  dan  $\alpha$  adalah konstan

### 3. Prosedur Menentukan Titik Api

#### a. Kalibrasi

Proses kalibrasi didapatkan dengan penambahan dari hasil kanal 3 dan 4 untuk setiap data yang terekam oleh stasiun bumi. Proses kalibrasi ini membutuhkan data bumi dalam pita magnetik atau CD-ROM. Proses perhitungan penambahan dan penangkapan menggunakan persamaan (2):

$$L_j = G_j DN_j - I_j$$

dimana  $L_j$ ,  $G_j$ ,  $DN_j$ ,  $I_j$  berturut-turut adalah sinar, koefisien penambahan, angka digital, dan penangkapan dari kanal  $j$  (yakni pada kanal 3 dan 4). Kemudian  $G_j$  dan  $I_j$  dihitung dengan persamaan:

$$G_j = \frac{L_{j,s} - L_{j,t}}{DN_{j,s} - DN_{j,t}} \quad (4)$$

$$I_j = L_{j,t} - G_j DN_{j,t} \quad (5)$$

dimana  $L_{j,s}$  adalah radiometer sinar Backscan

$L_{j,t}$  adalah target suhu radiasi

$DN_{j,s}$  adalah angka digital dari radiometer Backscan

$DN_{j,t}$  adalah angka digital dari suhu yang ditargetkan

$DN_{j,s}$  dan  $DN_{j,t}$  dapat diperoleh dari data NOAA AVHRR  $L_{j,s}$  dan  $L_{j,t}$  dihitung menggunakan persamaan Plank digabungkan dalam batas normal dari fungsi jawaban detektor.

#### b. Hitungan radiasi dari setiap pixel citra NOAA-AVHRR untuk tiap kanal 3 dan 4

Sebuah pixel (*picture element*) merupakan titik terkecil dari citra NOAA-AVHRR. Jarak terendah diperlihatkan pada luas  $1,1 \times 1,1$  km<sup>2</sup>. Rata-rata energi cahaya di permukaan bumi per pixel yang diterima sensor satelit yang ditransfer ke dalam angka digital 10, kemudian dikirim ke penerima NOAA-AVHRR di stasiun bumi dan dicatat dalam pita magnetik atau CD-ROM.

Cahaya yang dihitung menggunakan persamaan (2):

$$L_j = G_j DN_j - I_j$$

dimana

$L_j$  = cahaya setiap pixel pada citra NOAA-AVHRR di saluran  $j$  (3 atau 4)

$G_j$  = penambahan dari kanal  $j$  (3 atau 4) diperoleh dari proses kalibrasi

$I_j$  = penerimaan dari kanal (3 atau 4) diperoleh dari proses kalibrasi

$DN_j$  = angka digital dari saluran  $j$  (3 atau 4) yang dibaca dari citra NOAA-AVHRR

#### c. Radiasi yang dikonversikan ke suhu cahaya

Suhu cahaya ( $T_b$ ) merupakan suhu yang dirasa/diukur di atas permukaan satelit pendeteksi atau sensor.  $T_b$  dari persamaan (3) untuk setiap pixel gambaran NOAA-AVHRR dihitung menggunakan persamaan:

$$T_{bj} = \frac{\beta}{\ln(L_j) - \alpha}$$

dimana  $T_{bj}$  = suhu cahaya setiap pixel NOAA-AVHRR pada kanal  $j$  (3 atau 4)

$L_j$  = radiasi setiap pixel pada gambaran NOAA-AVHRR di saluran  $j$  (3 atau 4)

$\alpha$ ,  $\beta$  adalah suatu konstanta yang diperoleh dari metoda *least square* melalui hitungan radiasi pada

setiap suhu dari 273 derajat Kelvin hingga 500 derajat Kelvin.

d. Menentukan titik api

Pada kondisi normal, suhu cahaya dari citra NOAA-AVHRR yang terekam pada kanal 3 (Tb3) selalu lebih rendah dari kanal 4 (Tb4). Sebaliknya, jika  $Tb3 > Tb4$  maka terjadi kondisi yang tidak lazim. Hal ini disebabkan oleh sumber panas (misalnya kebakaran hutan) atau pengaruh "sunglint". Untuk mengetahui pengaruh "sunglint", data pada kanal 4 digunakan untuk membandingkan pixel yang tidak lazim dengan pixel di sekelilingnya. Apabila telah diperiksa ternyata tidak ada sunglint, tahap berikutnya adalah, jika  $Tb3 - Tb4 > 20$  derajat (perbedaan 20 derajat ditemukan pengalaman Lapan) maka pada pixel tersebut bisa diindikasikan terdapat titik api (*hot spot*). Kemudian pixel titik api akan diproses melalui koreksi geometrik guna menentukan letak (*latitude* dan *longitude*) dari titik api.

e. Koreksi geometri

Citra yang dihasilkan dari satelit biasanya memiliki distorsi geometrik atau spasial, khususnya di dalam proyeksi kartografi seperti UTM (*universal transverse mercator*) atau proyeksi Orthophoto. Distorsi ini disebabkan oleh rotasi bumi, kecepatan orbit pesawat angkasa (*spacecraft*), kecepatan scanner, lekuk permukaan bumi, dan lain sebagainya. Lebih lanjut dalam penentuan lokasi titik api, citra satelit pertama-tama harus dikoreksi geometrik.

Koreksi geometrik memerlukan pengambilan contoh ulang pixel dari citra satelit yang dihasilkan dan proyeksi permukaan bumi yang menggunakan fungsi transformasi. Fungsi itu melibatkan ukuran-ukuran seperti ketinggian dan kecepatan satelit, garis edar (*passing line*) satelit, sudut elevasi, azimuth satelit, dan lainnya. Koreksi geometrik merupakan langkah penyesuaian *latitude* dan *longitude* di setiap pixel yang diformat ke tingkat data 1-B.

Dari hasil pengecekan di lapangan (*ground check*) yang dilakukan LAPAN, kesalahan lokasi yang dihasilkan oleh proses itu lebih kurang 2 km (atau 1 menit). Hasil koreksi geometrik inilah yang pada akhirnya titik api tersebut bisa diplotkan pada peta dasar misalnya Pulau Kalimantan dan Sumatera.

## Pemetaan Bencana Kebakaran

Salah satu cara paling potensial untuk mengurangi atau bahkan meniadakan kebakaran hutan di Indonesia ialah adanya peramalan daerah rawan bahaya kebakaran dengan pembuatan peta bencana kebakaran. Peta ini dapat dibuat berdasarkan analisis berjangka data dasar SIG. Data dasar SIG yang dimaksud terdiri dari variabel-variabel biofisik maupun sosioekonomi seperti tumbuhan, topografi, hidrologi, infrastruktur, dan penggunaan tanah, yang setelah dikumpulkan dipindahkan ke dalam format SIG.

Saat ini, Pemerintah Indonesia dengan Malaysia melakukan kerja sama ASEAN-UNEP untuk penyediaan data dasar GIS di daerah Sumatera, Kalimantan, dan Semenanjung Malaysia. Proyek tersebut dibiayai oleh UNEP/EAP-EP melalui Sekretariat ASEAN. Hasil dari proyek ini akan mendukung perencanaan pencegahan kebakaran hutan, mengawasi dan meramalkan daerah rawan bencana kebakaran di Indonesia dan Malaysia.

Jauh sebelum masa kebakaran tahun 1997, Indonesia telah menyadari perlunya dibangun kapasitas nasional untuk mencegah dan menanggulangi kebakaran hutan. Untuk itu, melalui Keputusan Menteri Negara Urusan Lingkungan Hidup, pemerintah telah mendirikan Tim Koordinasi Pencegahan Kebakaran Hutan (NCTFFP) pada tahun 1995. Beberapa badan nasional dilibatkan dalam tim ini. Badan-badan tersebut antara lain, LAPAN, BAPEDAL, Kementerian Negara Urusan Lingkungan Hidup, Departemen Kehutanan dan Pertanian, BMG, dan Pemerintah Daerah.

Tugas utama NCTFFP ialah menkoordinasikan semua kegiatan, khususnya untuk menjalankan sistem peringatan dini yang berhubungan dengan kebakaran hutan dan penanggulangannya. Sebagai tambahan, NCTFFP juga bertanggungjawab untuk menyediakan data dan informasi mengenai sistem pemberitahuan dini tersebut dan mengirimkannya kepada pemerintah daerah yang berwenang untuk tindakan segera.

Bagaimana pun, dari kebakaran besar periode 1997/98, kita mengetahui bahwa kinerja NCTFFP perlu ditingkatkan. Peningkatan yang diperlukan antara lain ialah jaringan kerja antarlembaga yang terlibat dan keserasian metode kerja. Teknologi Internet tampaknya merupakan jalan keluar yang ideal untuk membangun jaringan kerja sama antarlembaga. Transfer data melalui internet dapat memegang peranan penting dalam hal ini. Metodologi untuk mendapatkan data lokasi titik api perlu disesuaikan untuk menghindari

interpretasi yang berbeda dan mengembangkan ketepatan penerimaan data dan informasi.

Di tingkat regional, pemerintah bekerja sama dengan negara-negara tetangga untuk menanggulangi kebakaran hutan. Satuan teknik penanggulangan asap (HTTF) dibentuk beberapa tahun yang lalu. HTTF tidak hanya membicarakan masalah sistem peringatan awal mengenai kebakaran hutan dan penanggulangannya, melainkan juga akibat dari kebakaran hutan seperti polusi asap antar negara yang ditimbulkan.

## Kesimpulan

Belajar dari pengalaman berurusan dengan kebakaran hutan yang tampaknya merupakan bencana tahunan yang terjadi di Indonesia, terlihat bahwa RS memainkan peranan penting sebagai bagian dari sistem peringatan dini yang berhubungan dengan kebakaran hutan dan penanggulangannya. Sebagai tambahan, pemetaan daerah rawan kebakaran yang dilakukan oleh Pemerintah dapat menjadi kunci untuk memprediksi daerah rawan bahaya kebakaran. Meskipun demikian, beberapa usaha masih perlu untuk dipertimbangkan seperti:

- Pengembangan SDM harus ditingkatkan melalui pelatihan maupun pendidikan formal.
- Litbang dalam aplikasi data RS untuk sistem peringatan dini kebakaran hutan dan penanggulangannya perlu ditingkatkan dengan penggunaan teknologi mutakhir.
- Jaringan kerja institusional harus dikembangkan tidak hanya dalam hal pertukaran informasi, melainkan juga penetapan prosedur operasional untuk tindakan yang terintegrasi.
- Kerja sama regional dan internasional perlu ditingkatkan.

## 2.4. Inderaja untuk Pengawasan Lingkungan

### Pendahuluan

Teknologi penginderaan jauh atau *remote sensing* (RS) sebagai salah satu jenis teknologi luar angkasa memainkan peran penting dalam pengembangan pendataan sumber daya alam (SDA) dan fungsi pengawasannya. LAPAN, pada awal masa berdirinya, 1972-1982, telah mengadakan pertemuan antara para pemakai data hasil RS di Indonesia untuk memperkenalkan dan mempersiapkan pemakaian teknologi yang baru saja tumbuh ini, guna mengantisipasi peluncuran satelit lingkungan dan SDA yang pertama, ERS-1 tahun 1974.

Selama masa awal tersebut, banyak perkembangan yang terjadi, termasuk pendirian stasiun bumi NOAA-APT dan HRPT (1973 dan 1978) dan stasiun bumi GMS. Stasiun bumi untuk data resolusi tinggi di Pekayon, Jakarta, selama tahun percobaan (1983-1992) digunakan untuk penerimaan, prapengolahan, pembuatan, pengarsipan, dan penggabungan data multi spektral (MSS) dari Landsat 4 dan Landsat 5.

Untuk pelayanan kepada pemakai data RS Indonesia dengan penyediaan data RS resolusi lebih tinggi dan daerah cakupan yang lebih luas serta kemudahan mendapatkannya, selama masa operasional (1993-sekarang), telah didirikan Stasiun Bumi Multifungsi di Parepare, Sulawesi Selatan, fasilitas pengolahan data di Pekayon, Jakarta untuk menerima dan menghasilkan data satelit RS tinggi dari SPOT, Landsat, ERS, dan JERS.

Untuk mencapai berbagai tujuan program RS, LAPAN mendukung fungsi koordinasi nasional untuk kegiatan RS di Indonesia. Misalnya, LAPAN telah bekerja sama dengan berbagai badan pemakai data RS nasional dan menjadi pemandu atau pendukung teknik dalam penerapan data satelit RS di badan nasional lain yang berkepentingan. Proyek kerja sama, khususnya dalam inventarisasi SDA dan pengawasan lingkungan hidup dengan berbagai lembaga juga telah dilakukan.

Kursus pelatihan, seminar, kelompok kerja, dan simposium juga diorganisasi oleh LAPAN di tingkat nasional dan internasional untuk kepentingan pemakai data dan ilmuwan RS di Indonesia. Perkembangan yang berkelanjutan dalam bidang program RS yang

menyeluruh di LAPAN memerlukan modal yang besar. Untuk mengembalikan investasi yang telah ditanamkan, LAPAN menjadi salah satu badan penyedia data dan lembaga penting untuk aplikasi teknologi RS dalam inventarisasi SDA dan pengawasan lingkungan di Indonesia.

## Pentingnya Inderaja untuk Pengawasan Lingkungan

Ilmu untuk mengembangkan dan mengatur pemanfaatan SDA secara optimum telah mencapai kemajuan yang sangat besar di tahun-tahun terakhir, khususnya di negara-negara berkembang. Negara berkembang secara umum, dicirikan oleh kepadatan penduduk yang tinggi, adanya tuntutan terhadap peningkatan pemenuhan kebutuhan hidup yang lebih baik, tekanan yang kuat dan selalu berkembang untuk lahan permukiman dan sumber daya untuk perumahan, industri, perdagangan, pertanian, komunikasi dan sarana lainnya, kegiatan pembangunan dan eksploitasi SDA yang tidak terkoordinasi dengan baik. Sehingga terjadi pengotoran limbah dan penurunan standar lingkungan hidup, ketidak-cukupan informasi, data dan peta serta kekurangan fasilitas yang memadai untuk penyediaan sumber daya manusia yang dapat mengatasi masalah-masalah SDA dan lingkungan hidup.

Sementara itu di negara-negara maju, penurunan kualitas lingkungan hidup disebabkan oleh polusi industri. Di negara berkembang hal tersebut terutama disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang tak terkendali, yang secara umum, menciptakan kondisi kurang berpendidikan, terbelakang, dan hidup di bawah kondisi standar bersamaan dengan kegiatan pembangunan yang dilakukan tanpa koordinasi yang baik tanpa kepedulian akan dampaknya terhadap lingkungan hidup. Oleh karena itu, terjadi banyak polusi udara, air, dan tanah dengan akibat pengrusakan keseimbangan ekologi. Untuk ini, perlu dilakukan survei, inventarisasi, dan pengawasan terhadap SDA dan lingkungan secara sistematis dan berdasarkan ilmu pengetahuan sehingga strategi terbaik untuk peningkatan sosioekonomi dapat dikembangkan.

RS dengan dengan liputan foto yang berulang-ulang adalah alat yang sesuai untuk mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya mengenai SDA dan lingkungan dengan dasar ketepatan waktu. RS sangat penting dan berguna untuk negara-negara berkembang yang tidak memiliki cukup informasi dan

data mengenai lingkungan dan SDA yang dimilikinya. Untuk daerah-daerah yang tidak dapat dicapai untuk tujuan survei dengan peralatan standar, satelit RS merupakan satu-satunya sumber informasi terpercaya atau satu-satunya cara untuk memperoleh data selengkapnyanya.

Meskipun demikian, RS tidak seharusnya dijadikan pengganti cara-cara pengumpulan data dan teknik analisis secara konvensional, melainkan harus dipandang sebagai kekuatan tambahan untuk menyediakan informasi sebagai pelengkap teknik dasar.

Sejalan dengan program antariksa Indonesia yang dijalankan oleh LAPAN, program RS secara khusus ditujukan secara damai dari teknologi yang multi fungsi dan sedang berkembang ini, yaitu untuk meningkatkan sosioekonomi negara Indonesia. Melalui studi dan pengawasan dengan pertolongan data satelit pada waktu yang sebenarnya atau mendekati, yang tersedia di berbagai lokasi, secara spektral dan temporal dari fasilitas LAPAN. Program yang multidisipliner dan menyeluruh ini pada dasarnya bertujuan bagi kepedulian nasional terhadap inventarisasi SDA dan pengawasan lingkungan hidup. Program RS LAPAN meliputi kegiatan-kegiatan sbb:

- Penerimaan, prapengolahan, dan pengarsipan ber-bagai jenis data (Landsat, SPOT, ERS, JERS, dan NOAA).
- Melakukan penelitian berdasarkan penerapan berbagai macam data satelit RS untuk penelitian mengenai inventarisasi SDA dan pengawasan lingkungan melingkupi jangkauan ilmu bumi yang luas.
- Penggabungan produk data satelit fotografi dan digital untuk permintaan badan pemakai data yang lain.
- Peningkatan fasilitas penerima, pengolah, dan interpretasi data.
- Koordinasi kegiatan RS di Indonesia dalam pemakaian data, termasuk kerja sama dengan badan pemakai.
- Pengadaan kursus pelatihan, kelompok kerja, seminar, simposium, dan lain sebagainya yang berhubungan dengan RS di tingkat nasional maupun internasional untuk kepentingan pemakai atau ilmuwan.



- Melatih sumber daya manusia yang berada di LAPAN sendiri melalui kursus, kelompok kerja, dan seminar di luar negeri.
- Bergabung dan bekerja sama dengan negara asing dalam menyelenggarakan konferensi internasional, dan pertemuan lainnya yang berhubungan dengan perkembangan teknologi antariksa dan RS.

## Kesimpulan

Teknologi RS memiliki fungsi penting dalam penetapan dan penginventarisasian SDA serta pengawasan dan pengelolaan lingkungan hidup. Fungsi tersebut dimungkinkan dengan adanya pengembangan sistem penerima, penghasil dan penyebar data. Dengan demikian, dapat mendukung dan membantu kegiatan pemakai data dengan usaha kerja sama dan program bersama seperti proyek SATTIN.

## 2.5. Penginderaan Jauh dan SIG Untuk Permodelan Hidrologi AGNPS

Integrasi SIG ke dalam model hidrologi mulai dikembangkan sejak awal tahun 1990-an, terutama di Amerika Serikat. Kemajuan yang berarti pada awal dekade ini adalah ketersediaan data spasial yang memadai termasuk data meteorologi terdistribusi spasial untuk mendukung model-model hidrologi (Maidment, 1997). SIG adalah suatu alat yang terbukti kehandalannya untuk mengumpulkan, menyimpan, mengelola, menganalisa dan menampilkan data spasial baik biofisik maupun sosial-ekonomi (Goodchild *et al.* 1996, dalam Wilson, 1997). Namun demikian Anderson (1984 dalam Buckley 1991) menekankan bahwa fungsi utama SIG adalah untuk mengelola data spasial.

Penginderaan jauh juga merupakan suatu sistem yang dapat mengumpulkan dan mengklasifikasi data spasial. Data penginderaan jauh mempunyai kelebihan yaitu mempunyai resolusi tinggi-baik resolusi spasial, spektral maupun temporal – konsisten, *real time* sehingga akan mengefisienkan pengumpulan data baik dari segi waktu dan biaya. Lebih jauh Estes (1992) menyatakan bahwa data penginderaan jauh sangat efektif dipakai dalam SIG dan dapat digunakan untuk memudahkan pengukuran,

pemetaan, pemantauan, modeling dan pengelolaan berbagai tipe data.

Salah satu keterbatasan dari model-model erosi adalah pengumpulan data masukan dilakukan secara manual, sehingga tidak efisien baik dari segi waktu (*time consuming*) dan biaya (Olivieri, 1992). Dengan memanfaatkan kemampuan SIG, dapat dilakukan analisa data spasial dan membangun parameter-parameter input yang digunakan dalam model hidrologi. Pemanfaatan SIG ini akan sangat mereduksi waktu yang digunakan untuk membangun parameter-parameter input model, dengan menyederhanakan proses masukan (Srinivasan *et al.* 1999).

Seperti halnya dalam model AGNPS terdapat dua puluh dua parameter yang harus dimasukkan untuk setiap sel. Hal ini akan menjadi kendala dalam pemanfaatan model hidrologi AGNPS, khususnya bila dilakukan secara anual. Dalam model ini terdapat beberapa parameter yang merupakan fungsi dari penutupan lahan, yaitu parameter Bilangan Kurva SCS, koefisien Manning, kondisi permukaan dan faktor tanaman. Persoalan itu dapat di-atasi dengan memanfaatkan data penginderaan jauh guna mengekstraksi informasi penutupan lahan. Parameter-parameter lain merupakan fungsi dari peta topografi seperti aspek kemiringan, bentuk dan panjang lereng. Sedangkan dari peta jenis tanah detail dapat diturunkan parameter-parameter seperti tekstur tanah dan faktor erodibilitas tanah. Dengan demikian pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan SIG, akan sangat membantu dalam mengatasi kendala tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pemanfaatan data penginderaan jauh dan SIG dalam membangun data masukan untuk model hidrologi terdistribusi AGNPS (*agricultural non-point source*) serta mengkaji integrasi SIG ke dalam model baik sebagai preprocessor (input data) maupun sebagai tampilan grafis dari keluaran model. Manfaat yang diharapkan dalam studi kasus ini adalah adanya alternatif teknologi dalam mempersiapkan data masukan bagi model AGNPS tanpa mengadakan pengamatan langsung ke lapangan, namun diganti dengan teknologi penginderaan jauh dan SIG.

## Model Hidrologi

Model hidrologi menurut Jain *et al.* (1997) merupakan suatu usaha untuk menstimulasi sistem hidrologi secara matematis, dari curah hujan hingga limpasan permukaan. Secara umum curah hujan aliran

permukaan dapat dikelompokkan menjadi model *lumped* (titik) dan model *distributed* (terdistribusi) (Clarke, 1977 dalam Karnieli, 1991). Model titik tidak memperhitungkan distribusi spasial pada variabel input, masukan parameter-parameter model merupakan nilai rata-rata dari seluruh DAS. Sedangkan *distributed* model (model terdistribusi) memperhitungkan keragaman spasial dari data masukan (Woolhiser 1973 dalam Karnieli, 1991).

Pendekatan yang memperhatikan keduanya telah banyak dilakukan dimana dalam model ini setiap DAS dibagi kedalam sejumlah elemen (sistem grid atau sel) dengan parameter masukan seperti curah hujan, karakteristik tanah, penutupan permukaan yang berbeda. Untuk analisis tersebut, dimana akan menghubungkan sejumlah parameter pada basis yang sama, diperlukan suatu perangkat analisis data spasial yaitu SIG.

## Sistem Informasi Geografi

Pada umumnya paket SIG yang tersedia tidak menyediakan fasilitas untuk analisis hidrologi. Oleh karena itu, banyak dikembangkan program model hidrologi yang berhubungan dengan SIG. Namun demikian, struktur programnya sangat sulit untuk diintegrasikan dengan perangkat SIG. Sedangkan masukannya berasal dari SIG yang berupa peta integer dimana setiap sel raster digambarkan oleh angka. Integrasi AGNPS dengan SIG telah banyak dilakukan.

Oliverri *et al.* (1992) menggunakan *raster based GIS earth resources AGNPS data analysis system* (ERDAS) untuk membangun parameter input model AGNPS serta menampilkan keluaran model ke dalam ERDAS. Mitchel *et al.* (1993) mengintegrasikan AGNPS dengan SIG yang dikembangkan oleh Angkatan Bersenjata Amerika Serikat (*US Army*) yaitu *geographic resources analysis support system* (GRASS), dalam memvalidasi model untuk DAS kecil di Illinois Timur. Semua (22) parameter masukan diperoleh hanya dari empat layer SIG. Sedangkan Lo (1995) mengintegrasikan Arc-Info SIG Tsengwen dan Bajun, Taiwan. Dalam studi ini SIG digunakan untuk membangun beberapa data masukan. Disamping itu, Morse *et al.* (1990, dalam Olivieri, 1992) menyatakan bahwa parameter input AGNPS dapat secara efektif diproses dan diperoleh melalui integrasi dengan Arc-Info.

## Penginderaan Jauh

Dengan makin mendesaknya kebutuhan akan data yang ekstensif, beresolusi tinggi, konsisten, dan *up to date*, meningkatkan pemaafaatan data penginderaan jauh dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang hidrologi, tidak dapat dihindari. Menurut Mosser dan Blakemore (1991) tidak ada metodologi pengumpulan data lainnya yang mampu memberikan variasi set data sedemikian rupa dalam waktu yang relatif singkat.

Pemanfaatan data penginderaan jauh pada bidang hidrologi, bisa dikelompokkan ke dalam dua kelas yaitu: a) pemetaan melalui interpretasi penginderaan jauh, dan b) klasifikasi penutupan lahan sebagai input dari model hidrologi. Data penginderaan jauh dapat memberikan informasi mengenai penutupan lahan yang merupakan masukan berharga bagi pendugaan aliran permukaan (Van Camp and De Wulf, 1998 dan Samarakoom and Honda, 1998).

Faktor fisik permukaan bumi relatif tetap, seperti kemiringan lereng dan jenis tanah, maka dengan menggunakan data penginderaan jauh secara temporal, dapat diketahui perubahan aliran permukaan dalam kurun waktu tertentu. Van Camp dan De Wulf (1998) menggunakan data penginderaan jauh dan teknologi SIG dalam menduga resiko erosi di Puding, Guizhou, China Selatan.

Mereka menggunakan model RUSLE (*revised universal soil loss equation*) untuk menduga bahaya erosi. Data penginderaan jauh (*landsat thematic mapper*) dengan resolusi 30 kali 30 meter digunakan peta penutupan dan penggunaan lahan, yang diklasifikasi dengan metode maksimum *likelihood*. Data lain yang merupakan fungsi dari peta tanah dan peta topografi, disimpan dalam format raster dengan resolusi yang sama.

## Model AGNPS

*Agricultural non-point source* (AGNPS) adalah model parameter terdistribusi yang dikembangkan oleh ilmuwan dan teknisi dari *agricultural research service* (ARS), Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) bekerja sama dengan *Minnesota pollution control agency* (MPCA). Model tersebut memprediksi erosi tanah dan transportasi hara dari daerah aliran sungai pertanian. Model erosinya dibentuk dari aplikasi *universal soil loss equation* (USLE) yang didasarkan pada curah hujan, dalam hal ini menggunakan energi

intensitas hujan (EI) untuk kejadian hujan tunggal. Sedangkan hidrologinya didasarkan pada teknik bilangan kurva aliran permukaan (Young *et al.* 1986).

Areal DAS dibagi menjadi beberapa elemen *grid* bujur sangkar, dimana setiap elemennya berukuran maksimum 16 hektar (Gambar 1). Setiap sel memerlukan 22 parameter (*koefisien*) yang menggambarkan kondisi permukaan, karakteristik fisis (seperti jenis tanah dan kemiringan lereng), dan penggunaan lahan. Setiap proses hidrologi ditelusuri tiap sel dari hulu hingga ke hilir, hal ini memungkinkan analisa aliran permukaan dan kualitas air dilakukan pada setiap titik dalam suatu DAS (Young *et al.* 1986). Tabel 5 menunjukkan parameter-parameter data input.

## Bahan Dan Metode

Penelitian ini mengambil lokasi di DAS Cikapundung, yang secara administrasi termasuk dalam kabupaten Bandung, dengan luas  $\pm$  9461,2 ha. Secara geografis terletak di 6° 43' sampai 7° 01' LS dan 107°31' sampai meter dari permukaan laut. Kemiringan lereng menghadap ke selatan, seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Curah hujan rata-rata berkisar antara 1500 – 2100 mm (59 – 83 in) per tahun. Sedangkan luas hutan (vegetasi rapat dan vegetasi jarang) menempati 37 % dari luas areal, dan pada umumnya menempati areal dengan kelerengan yang curam.

## Bahan dan Peralatan

Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak ArcInfo 3.50, ArcView versi 3.1, Idrisi 2.0, dan model AGNPS versi 5.0. Sedangkan bahan penelitian yang digunakan adalah peta tanah semi detail DAS Citarum Hulu (Puslittanak, Bogor), peta topografi Segala Herang, lembar 4522-II dan IV, skala 1 : 50.000 (Bakosurtanal), peta jaringan sungai dan peta batas DAS Cikapundung, skala 1 : 50.000 (Puslitbang Pengairan, Bandung).

## Metode Penelitian

Parameter-parameter yang dibangun dengan perangkat lunak SIG adalah arah aliran, kelerengan dan panjang lereng (dari peta kontur), koefisien kekasaran permukaan atau  $n$  Manning, faktor C, konstanta kondisi

permukaan, dan COD (dari penutup lahan), erodibilitas tanah dan tekstur tanah (dari peta tanah), dan bilangan kurva aliran permukaan (dari jenis tanah dan penggunaan lahan), selengkapnya disajikan pada gambar. Parameter-parameter lain yang tidak dapat diturunkan dari data yang ada diasumsikan konstan di seluruh areal DAS. Parameter-parameter tersebut disajikan pada Tabel 6.

Pertama, peta-peta dikonversikan ke dalam format digital (digitasi), agar dapat dianalisa dan diperbandingkan secara spasial. Proses digitasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ArcInfo. Proyeksi peta yang seragam diperlukan agar data geografis yang berasal dari berbagai sumber dapat di-*overlay* dan dianalisa secara spasial, dalam hal ini di gunakan universal transver mercator (SUTM) dengan Zone 48. Selengkapnya bisa dilihat pada Gambar 3.

Grid sel dibuat dengan modul ArcInfo generate grid. Informasi yang diperlukan adalah titik dimulainya grid, ukuran grid serta berapa jumlah grid yang diinginkan. Untuk mengambil grid yang masuk dalam areal-areal DAS, maka proses selanjutnya adalah meng-*overlay* dengan batas DAS. Kemudian dilakukan pemilihan grid yang terletak pada batas DAS, dengan ketentuan grid dengan luasan lebih dari setengah luas grid (Young *et al.* 1986) Grid sel AGNPS diperoleh dengan menghilangkan batas DAS dengan melakukan proses *dissoving by grid*.

Digital Elevation Model (DEM) dibuat dari peta kontur (koversi dari format ArcInfo) dengan perangkat lunak Surfer (*surface mapping system*). Proses gridding dilakukan dengan metode *krigging*, dengan ukuran grid (x,y) 30 m, 30m. Hasilnya dikonversi ke dalam format raster Idrisi. Arah, kemiringan dan panjang lereng dengan menggunakan perangkat lunak Idrisi dengan modul *Erode2*. Data erodibilitas tanah dan tekstur tanah secara spasial ditentukan berdasarkan peta jenis tanah semi detil Puslittanak. Erodibilitas tanah ditentukan berdasarkan nilai tekstur tanah AGNPS yaitu untuk air sama dengan 0, pasir 1, lempung 2, liat 3, dan gambut 4.

Citra Landsat-TM 122/65 akuisisi tanggal Maret 1997, diklasifikasi ke dalam 8 kelas sebagai berikut : (1) alang-alang, (2) pasir caldera, (3) pemukiman, (4) perkebunan, (5) semak-semak, (6) vegetasi jarang, (7) vegetasi rapat dan (8) tanah bera. Metode kalsifikasi yang digunakan adalah *maximum likelihood*

dan kemudian dikonversi ke dalam format vektor dengan proyeksi UTM.

Koefisien kekasaran permukaan (*Manning n*) faktor tanaman, kondisi permukaan dan faktor COD merupakan fungsi dari penutupan lahan. Dengan melakukan *recode* pada setiap kelas penutupan lahan (lihat *recode* pada gambar 4), maka akan diperoleh data spasial untuk parameter-parameter tersebut. Langkah-langkah penentuan bilangan kurva disajikan pada gambar. Dari peta jenis tanah digital dilakukan reklasifikasi menjadi tipe tanah hidrologi berdasarkan sifat tanah atau kemampuan infiltrasinya. Sedangkan peta penutupan lahan diperoleh dari hasil klasifikasi citra dengan format vektor. Dari hasil *overlay*, dilakukan penambahan kolom (*item*) bilangan kurva, dimana datanya merupakan gabungan dari kedua sifat fisik di atas, seperti dapat dilihat pada tabel 7.

Hasil penentuan nilai parameter ini disusun dalam bentuk tabular dengan format text (*space delimited*) dari perangkat lunak *microsoft excel*. Data ini kemudian dikonversikan ke format AGNPS dengan menggunakan perangkat lunak *tx2dat*.

## Hasil dan Pembahasan

Grid sel diperoleh dengan melakukan pertampalan antara grid yang berukuran 40 acre (16 ha) dengan batas DAS dimana hanya grid yang berukuran lebih besar dari 20 acre (8 ha) yang dimasukkan sehingga menghasilkan grid sel sebanyak 563. Gambar di atas menampilkan pembagian grid sel (a) dan hasil salah satu parameter AGNPS secara spasial (b).

Klasifikasi citra dilakukan untuk memperoleh informasi berupa penutupan lahan yang cepat dengan resolusi spasial yang tinggi. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa 51% luas areal DAS Cikapundung didominasi oleh tanah bera, yaitu areal yang digunakan untuk tanaman semusim yang pada saat perekaman citra dalam keadaan tidak ditanami. Sedangkan luas hutan (vegetasi rapat dan vegetasi jarang) menempati 37 % dari luas areal.

Karakteristik lereng daerah penelitian dalam bentuk tiga dimensi dapat dilihat pada gambar. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa lahan di DAS Cikapundung terletak pada kemiringan lereng agak

landai hingga sangat curam, bentuk lereng yang bervariasi dari datar, cekung dan cembung dengan ketinggian 800 m hingga 2200 m di atas permukaan laut.

Dari peta jenis tanah, DAS Cikapundung terdiri dari sepuluh famili tanah. Di samping itu terdapat dua lokasi dengan karakteristik yang unik, dipisahkan dalam famili tersendiri yaitu areal perumahan dan singkapan batu gamping. Keduanya diasumsikan mempunyai infiltrasi tanah yang kecil. Besarnya persentase pasir kasar, pasir sangat halus, debu, kode kelas struktur tanah dan kode kelas permeabilitas tanah diperoleh dari hasil penelitian Puslittanak (Puslittanak, 1993). Dari parameter yang sudah dibuat dengan ArcInfo, kemudian disusun dalam bentuk tabular (*spread sheet*) dengan urutan seperti pada tabel.

## Kesimpulan

Dari data penginderaan jauh dapat diperoleh beberapa parameter masukan AGNPS, meliputi faktor penutup lahan dan pengelolaan tanaman (faktor C), koefisien kekasaran permukaan Maning (N maning), koefisien kondisi permukaan (SCC), dan bilangan kurva aliran permukaan (CN). Analisis spasial data digital topografi dapat menurunkan informasi parameter AGNPS berupa arah aliran (*aspect*), kemiringan lereng (*slope factor*), faktor bentuk lereng, dan panjang lereng utama (SL). Sedangkan dari data sifat fisik tanah (detil) digital dapat dipetakan beberapa parameter masukan AGNPS berupa koefisien erodibilitas tanah (faktor K), kelompok tanah hidrologi dan tekstur tanah (T).

## Saran

Dalam menganalisa DAS yang luas dengan menggunakan model AGNPS, parameter masukan dapat di tentukan secara efektif dengan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis. Hal ini akan mengurangi waktu penyelesaian (*time consuming*) dan kesalahan yang disebabkan oleh manusia (*human error*) bila dilakukan secara manual.

Tabel 5. Parameter Masukan Model AGNPS

No	Parameter DAS	
1	Nama dan Keterangan DAS	
2	Luas Tiap Sel	
3	Jumlah Sel	
4	Curah Hujan	
5	Energi Intensitas	
No	Parameter SEL	Kode
1	Nomor Sel	
2	Nomor Sel Penerima	
3	Arah Aliran (Aspek , 8 arah mata angin)	FD
4	Bilangan Kurva dan Aliran Permukaan	SCS
5	Kelerengan Lahan (%)	LS
6	Faktor Bentuk Lereng (Cekung,Cembung dan Datar)	SF
7	Panjang Lereng (ffet)	SL
8	Kelerengan Saluran Rata-rata(%)	CS
9	Koefisien Kekasaran Manning (n)	N
10	Faktror Eroditas Tanah (K)	K
11	Faktor Tanaman Penutup Tanah USLE	C
12	Teknik Konservasi	P
13	Konstanta Kondisi Permukaan	SCC
14	Tekstur Tanah ( Soil Texture )	T
15	Indikator Penggunaan Pupuk	FI
16	Ketersediaan Pupuk Pada Permukaan Tanah	AF
17	Indikator Penggunaan Pestisida	PI
18	Point Source Indikator Sumber Erosi Tambahan Faktror	PS
19	Erosi Tambahan	AE
20	Indikator Kebutuhan Oksigen Kimiawi	Cod
21	Indikator Saluran Indikator Impoundment	IF
22	Indikator Saluran	CL

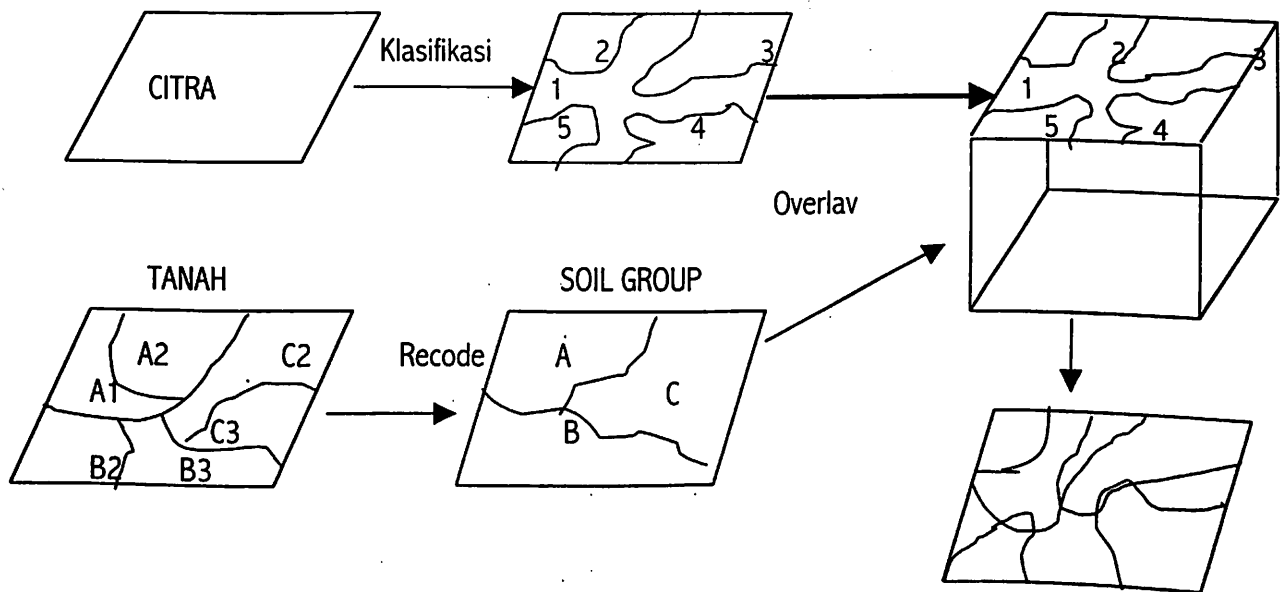
Tabel 6. Parameter-parameter yang Diasumsikan Konstan di Seluruh DAS

PARAMETER	KONSTANTA
Teknik Konservasi (Pfact)	1
Indikator Pengguna Pupuk	1
Indikator Pestisida	0
Point Source Indicator	0
Sumber Erosi Tambahan	0
Faktor Impoundment	0
Indikator Saluran	1

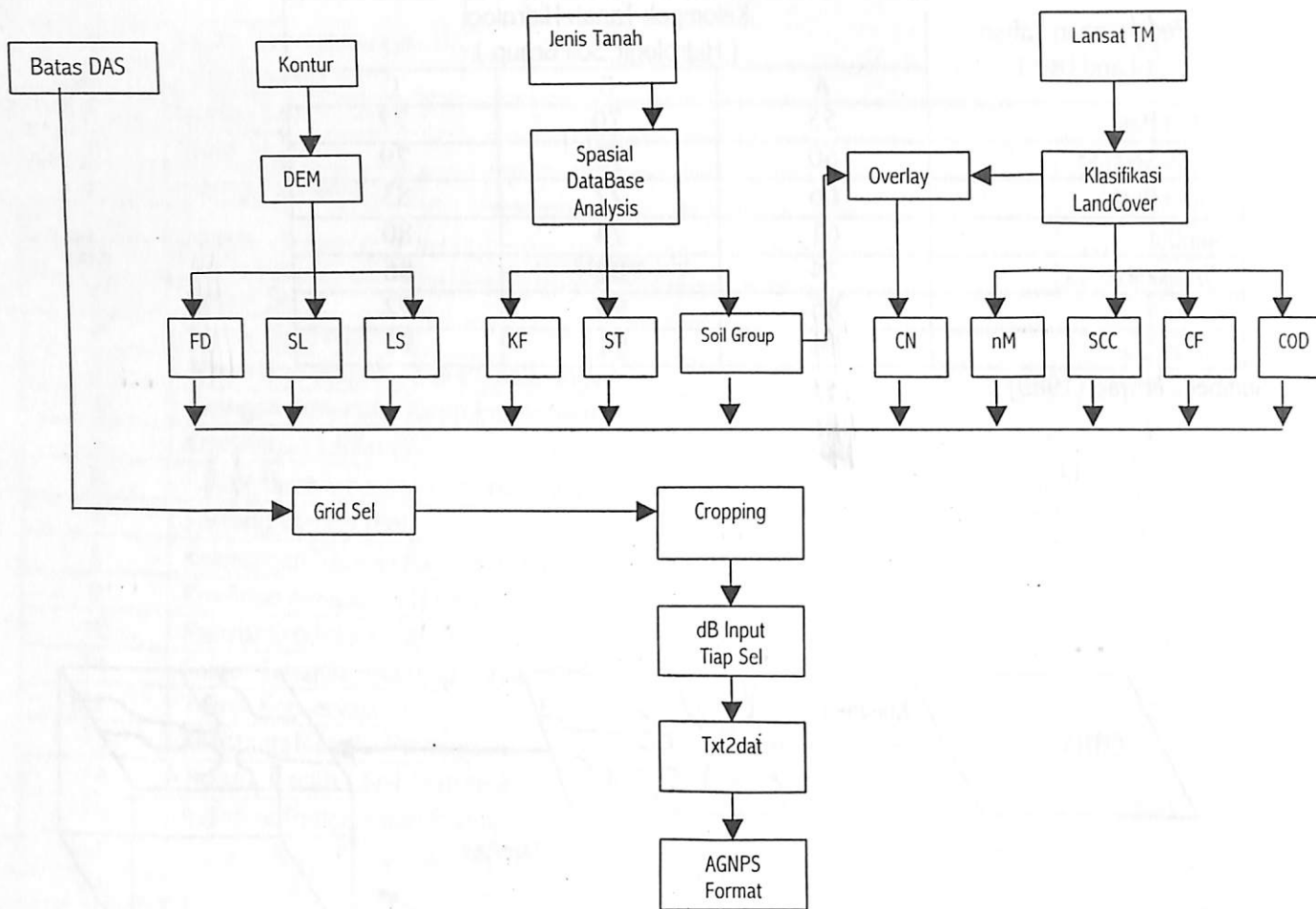
Tabel 7. Bilangan kurva (*Curve Number*) aliran permukaan untuk beberapa jenis penutupan lahan darikelompok tanah hidrologi.

Penggunaan Lahan ( Land Use )	Kelompok Tanah Hidrologi ( Hydrologic Soil Group )		
	A	B	C
Hutan Baik	55	70	77
Hutan Sedang	60	73	79
Hutan Buruk	66	77	83
Rumput	61	74	80 -
Pemukiman Tani	74	82	86
Pemukiman	85	90	92
Tanah Bera	86	91	94

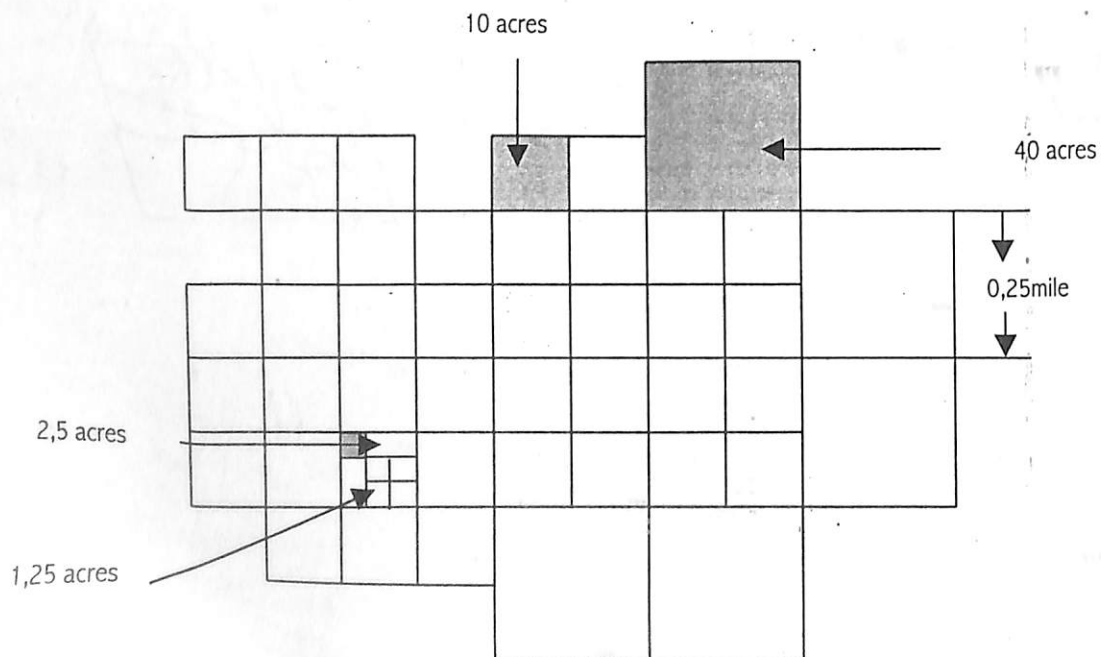
Sumber : Arsyad (1989)



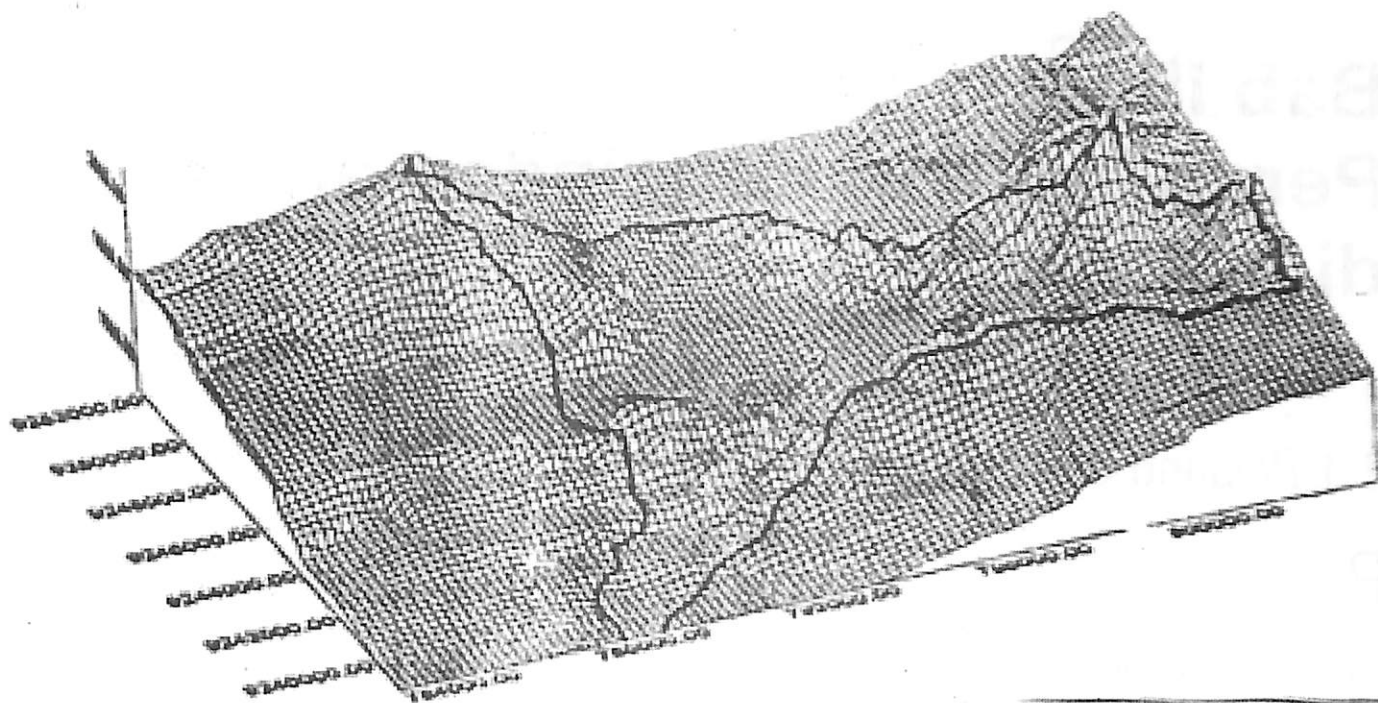
Gambar 4. Langkah-langkah penentuan bilangan kurva aliran permukaan



Gambar 3. Diagram pembangunan data masukan AGNPS



Gambar 1. Pembagian sel AGNPS



Gambar 2. Lokasi dan kemiringan lereng DAS Cikapundung



## Bab III.

# Peran Industri Penginderaan Jauh di Indonesia

### 3.1 Peluang dan Tantangan

Pembangunan nasional saat ini tengah mengalami tantangan yang berat, baik dari dalam dan luar negeri. Tantangan dalam negeri adalah adanya krisis ekonomi ditambah krisis lingkungan seperti kekeringan, kebakaran hutan dan rawan pangan sebagai dampak dari El-Nino. Krisis ekonomi dan lingkungan telah membawa Indonesia dalam posisi yang sangat sulit, dimana pertumbuhan ekonomi sangat rendah (negatif), inflasi dan tingkat pengangguran tinggi. Tantangan dari luar negeri adalah globalisasi yang tidak hanya menuntut kemampuan daya saing yang tinggi tapi juga berkaitan dengan isu-isu hak azasi manusia, lingkungan hidup dan sebagainya yang dapat dijadikan sebagai alat penekan politis.

Sejalan dengan kelanjutan pembangunan nasional dan membawa negara keluar dari krisis ekonomi, perma-salahan yang berkaitan dengan lingkungan, kerawanan pangan serta pengelolaan sumber alam perlu mendapatkan perhatian. Kita perlu memanfaatkan teknologi *cost efektif* yang mampu menyajikan informasi yang akurat, tepat waktu dan komprehensif. Informasi tersebut dapat diperoleh dari pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang terintegrasi dengan Sistem Informasi Geografi (SIG). Paragraf berikut akan menerangkan sistem penginderaan jauh, SIG, hubungan kedua sistem dan peluang serta tantangan aplikasi SIG di Indonesia.

#### Penginderaan Jauh dan SIG

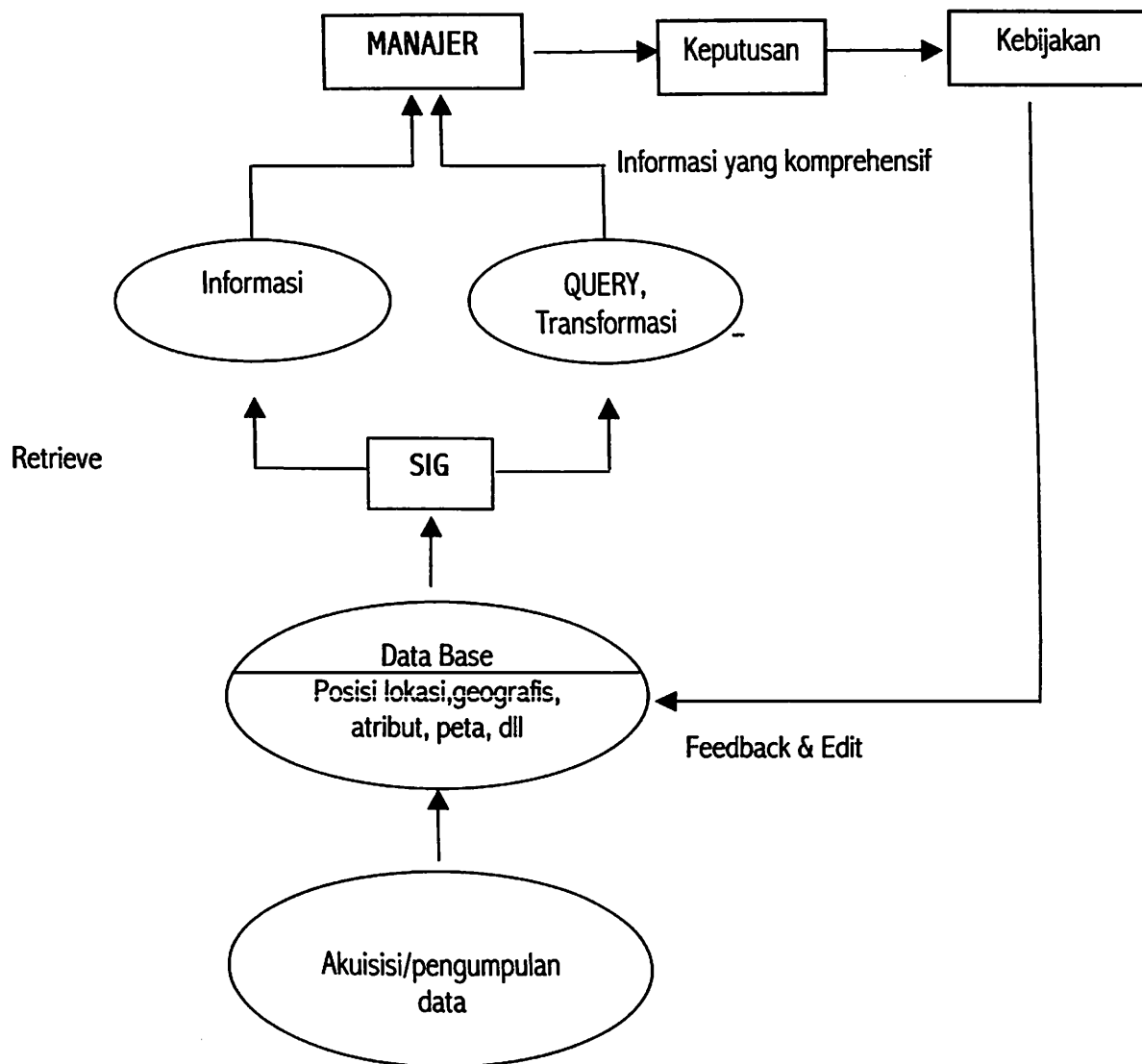
Penginderaan jauh adalah suatu cara untuk memperoleh informasi tentang suatu objek pada permukaan bumi dan atmosfer tanpa kontak langsung dengan objek tersebut. Pengertian ini secara operasional membawa implikasi bahwa penginderaan

jauh merupakan suatu sistem informasi yang terdiri dari sub-sub sistem yang saling terkait dan berpengaruh yaitu subsistem penerimaan/akuisisi data, subsistem pengolahan dan analisis, subsistem kataloging/arsip, dan subsistem pelayanan data /informasi. Keluaran atau produk dari sistem penginderaan jauh adalah data atau informasi keruangan tentang suatu objek sesuai dengan referensi geografi yang berlaku.

Produk data penginderaan jauh khususnya data satelit penginderaan jauh produksi LAPAN mempunyai beberapa tingkatan antara lain Bulk, yaitu produk standar yang telah mengalami koreksi geometrik dan radiometrik. Lalu Georeference yakni produk standar yang telah mengalami proses koreksi geometrik, radiometrik, dan mengacu pada sistem geografi. Geocoded adalah produk standar yang telah mengalami koreksi dan menggunakan titik kontrol bumi (*ground control point*) sehingga sesuai dan tepat dengan referensi peta yang berlaku (misalnya UTM). Produk Geocoded ini memungkinkan untuk menggabungkan atau meng-*overlay* secara tepat dengan data lain yang bereferensi geografi.

SIG adalah serangkaian perangkat lunak, data (spasial dan atribut) dan manusia yang terorganisir dan dikelola secara baik. Semuanya dirancang untuk secara efisien menerima/mengedit, menyimpan, meremajakan, mentransformasi, memanipulasi, menganalisis, menampilkan dan menyajikan semua informasi yang diperlukan dengan referensi geografis.

Secara sederhana, SIG dipahami sebagai suatu sistem yang dapat memberikan jawaban terhadap pertanyaan yang berkaitan dengan lokasi, kondisi, kecenderungan, pola, permodelan (modelling) dan sebagainya. Jawaban terhadap pertanyaan yang berkaitan dengan lokasi direpresentasikan oleh informasi yang berkaitan dengan lokasi seperti nama tempat (negara, provinsi, kota dan kode pos), posisi lokasi (lintang bujur) dan referensi geografis.

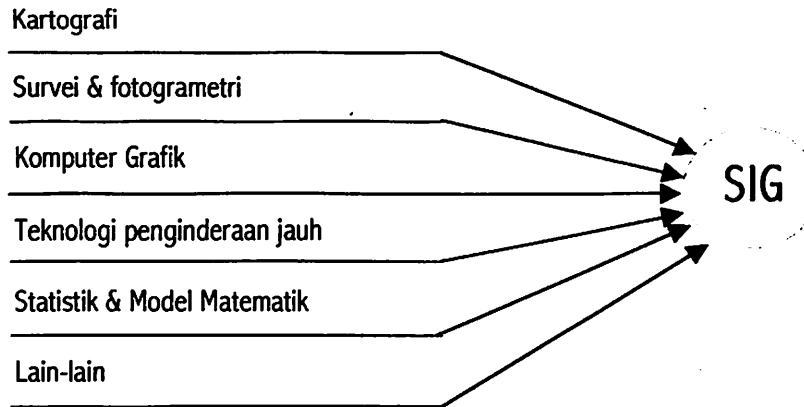


### SIG DAN MANAJEMEN: Sistematika SIG dalam hubungan dengan manajemen

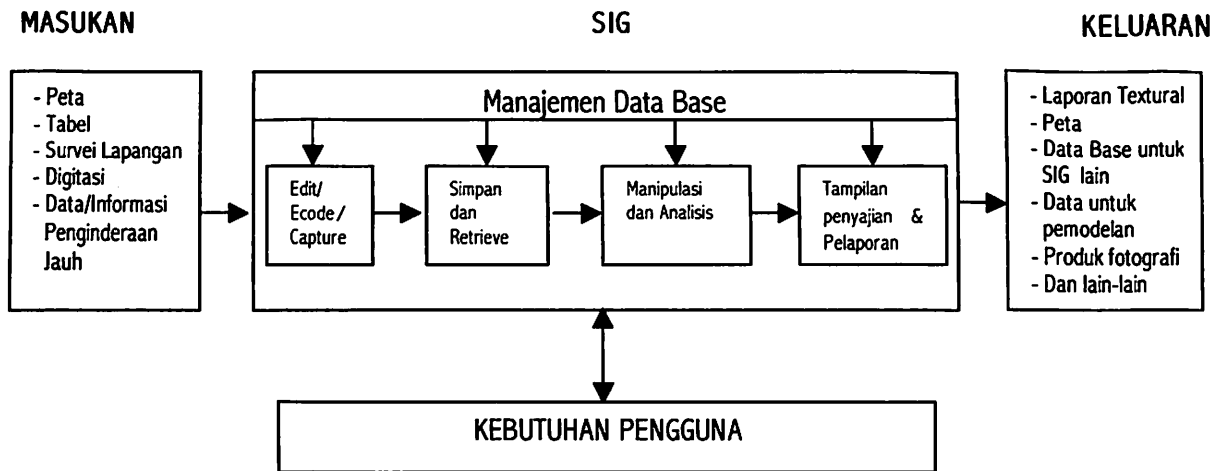
Sedangkan informasi tentang kondisi akan direpresentasikan dengan informasi kondisi suatu objek (secara kualitatif atau kuantitatif) seperti kondisi cuaca, iklim, lahan (subur, kering, kritis), kependudukan, rawan pangan dan lain-lain. Jadi, SIG dapat didefinisikan sebagai proses manajemen data untuk menghasilkan informasi yang diperlukan dalam

rangka pengambilan keputusan. Pengertian tersebut dapat direpresentasikan melalui diagram di atas.

Dari definisi penginderaan jauh dan SIG di atas maka hubungan teknologi penginderaan jauh dan SIG dapat dinyatakan dengan gambar di bawah ini. Sedangkan peranan data penginderaan jauh dapat direpresentasikan dengan gambar berikutnya.



INDERAJA DAN SIG -- Hubungan penginderaan jauh dan SIG



APLIKASI SIG -- Fungsi/peranan data penginderaan jauh dalam aplikasi SIG.

### Penginderaan Jauh dalam Aplikasi SIG di Indonesia

Pemanfaatan (aplikasi) SIG di Indonesia telah berkembang dengan pesat pada akhir dekade 1980-an yang dilakukan oleh berbagai instansi pemerintah dan swasta. Pada tahap ini pemanfaatan SIG lebih cenderung sebagai alat analisis untuk keperluan masing-masing pengguna dalam skala eksperimen dan proyek. Pengguna memanfaatkan SIG untuk pengumpulan data (spasial dan atribut) dan menganalisis data tersebut serta membuat laporan untuk keperluan proyek. Pada tahap ini pengguna masih cenderung berorientasi pada hasil proyek, sehingga setiap proyek usai, berakhir pula *data base* dan proyek

baru akan memerlukan *data base* baru.

Pemanfaatan SIG kemudian berkembang kepada hal yang mendasar yaitu operasional pembentukan dan pemeliharaan *data base* (misalnya *data base* jalan raya) sehingga memungkinkan SIG dapat dipakai untuk pekerjaan rutin. Pada kedua tahap tersebut masalah yang sering timbul dalam aplikasi SIG adalah format data. Data yang diproduksi oleh suatu instansi atau lembaga sering tidak kompatibel dengan data yang lain sehingga menyulitkan dalam aplikasi SIG dan memerlukan waktu untuk mengkonversikan dalam format yang sama. Sejak pertengahan 1990-an standarisasi SIG lebih menitik beratkan kepada standarisasi format data. Namun untuk perangkat lunak yang berbeda dan format data berbeda yang

dipergunakan oleh berbagai instansi cenderung mempersulit dalam pertukaran data dan penggunaan secara bersama semua data.

## 1. Tantangan

Saat ini SIG yang diperlukan adalah SIG yang berskala nasional dan standar. SIG bukan hanya alat bantu khusus untuk mengidentifikasi atau sekedar menyajikan informasi dan laporan belaka tapi lebih jauh bahwa SIG merupakan teknologi informasi yang memiliki keluwesan yang tinggi, efisien dan terpadu. Oleh karena itu diperlukan standarisasi yang meliputi paling tidak standarisasi dalam sistem dan standarisasi data spasial. Standarisasi yang dimaksud dalam hal ini adalah standarisasi berdasarkan kebutuhan pengguna sehingga data dapat dimanfaatkan secara bersama oleh semua instansi secara nasional.

Pada seksi terdahulu telah disinggung bahwa komponen utama dari SIG adalah perangkat keras, perangkat lunak, data, staf (SDM), dan manajemen. Dalam perkembangan SIG, *vendor* lebih berorientasi kepada pengembangan perangkat keras dan lunak. Saat ini, kemampuan perangkat keras dan lunak telah memungkinkan pengguna untuk melakukan pengkajian dan analisis yang kompleks. Namun, permasalahan utama SIG dalam kaitannya dengan pengembangan SIG standar dan berskala nasional adalah yang berkaitan dengan data, khususnya data penginderaan jauh antara lain:

- Ketersediaan data  
Apakah data yang diperlukan tersedia dan terbaru? Apakah data yang tersedia sesuai dengan kebutuhan?
- Peta dasar  
Bagaimana tingkat akurasi dan skala peta yang dibutuhkan?
- Konversi data  
Berapa lama waktu yang diperlukan untuk mengkonversikan peta dan data lain untuk dipakai pada SIG?
- Pemeliharaan basis data  
Berapa lama basis data harus dipertahankan? Bagaimana pengaturan kelembagaan pemeliharaan basis data tersebut dalam kaitannya dengan SIG nasional?
- Arus dan *share* data

Apakah prosedur pengumpulan berbagai data secara sistematis tersedia? Bagaimana prosedur agar data tersebut dapat dimanfaatkan untuk keperluan bersama?

- Data *exchange*  
Dapatkah data yang disimpan pada SIG yang berbeda dapat saling dipertukarkan?  
Apakah data tersebut kompatibel?
- Standarisasi format data  
Data atau peta perlu distandarisasi, jika data tersebut akan dipakai secara bersamaan (*share*). Oleh karena itu, diperlukan standarisasi format data agar data dapat dipertukarkan dan dimanfaatkan dengan kata lain belanja data dapat ditekan.
- Biaya data
- Hak paten/cipta  
Siapa yang memiliki hak paten atau hak cipta terhadap data dan bagaimana hak data pada SIG diperlakukan?

Hal di atas bukanlah masalah teknis tapi lebih cenderung pada persoalan manajemen dan kelembagaan. Semuanya dapat diatasi melalui koordinasi, kerja sama dan pengaturan kelembagaan agar SIG dapat dimanfaatkan secara efektif. Dalam perencanaan SIG standard sejak dini perlu dirumuskan secara jelas pengguna-pengguna yang akan menggunakan SIG. Untuk keperluan apa dan bagaimana dipakainya atau bagaimana mengakses data/ informasi SIG sehingga dapat ditentukan jenis data yang diperlukan dan disimpan dalam SIG, unit spasial yang sesuai dan sebagainya. Dengan perumusan tersebut maka SIG akan memuat semua data yang diperlukan oleh instansi terkait seperti pada Gambar 5: aplikasi SIG untuk peringatan dini dan mitigasi bencana.

## 2. Instansi Terkait (Bappenas dan sebagainya)

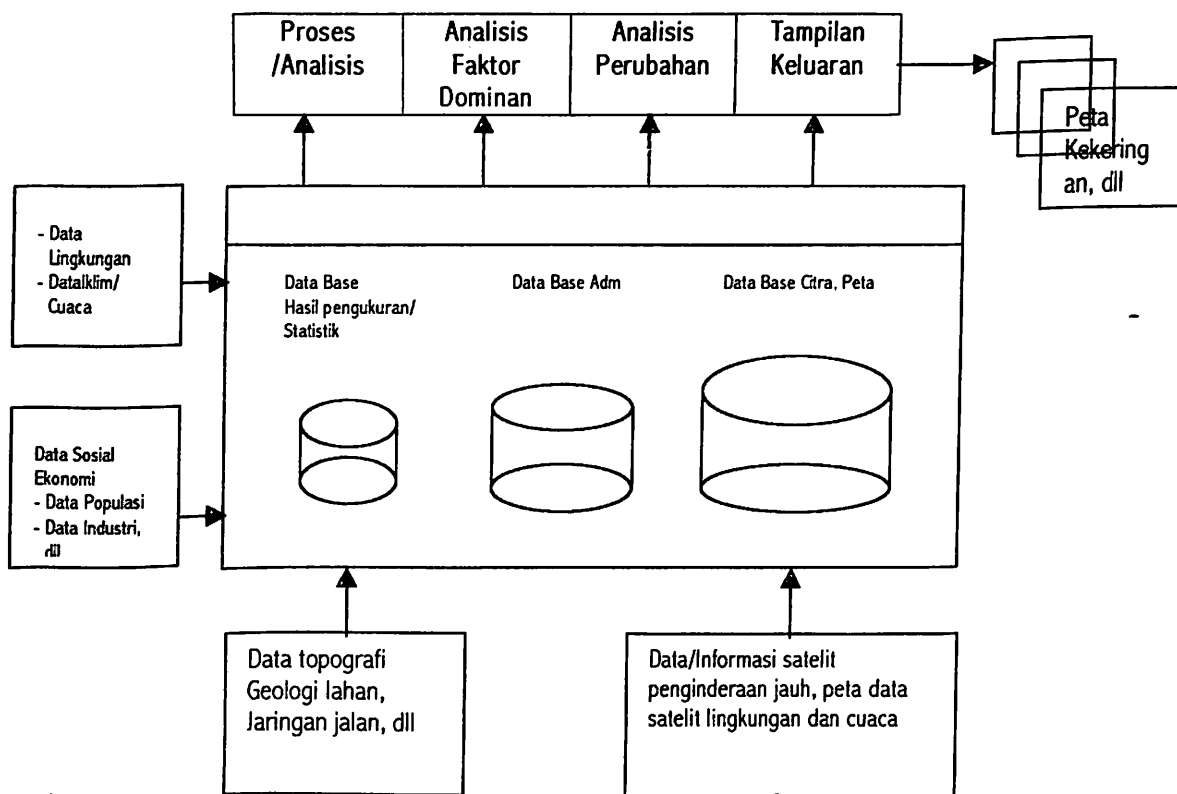
### Peluang

Untuk aplikasi SIG diperlukan berbagai data spasial dan atribut. Penginderaan jauh dari satelit dapat memberikan data spasial dalam periode waktu yang relatif singkat, tergantung dari misi dan jenis satelit. Satelit lingkungan dan cuaca memiliki periode liputan ulang yang pendek, GSM tiap 30 menit, NOAA tiap 12 jam. Data spasial dari satelit dengan resolusi

yang lebih tinggi memiliki waktu liputan ulang relatif lebih lama dibandingkan 2 (dua) satelit tersebut di atas. Landsat memerlukan waktu 16 hari, SPOT memerlukan 26 hari, ERS memerlukan 33 hari, dan JERS 44 hari untuk meliputi daerah yang sama. Dengan periode liputan tersebut, memungkinkan untuk

senantiasa memperbarui basis data spasial pada citra dalam relatif singkat dibandingkan dengan perolehan data lainnya seperti operasi survei dan pemotretan udara. Selain itu, biaya perolehan data penginderaan jauh satelit relatif lebih murah.

Instansi Terkait (misalnya Bappenas, dsb)



Gambar 5. Aplikasi SIG untuk mitigasi bencana

Secara teori, data penginderaan jauh sangat diperlukan untuk negara yang mempunyai daerah yang luas dan sumber alam yang banyak. Makin luas daerah tersebut dan makin banyak sumber alam yang dikandung makin besar pula kebutuhan data penginderaan jauh. Indonesia dengan luas kurang lebih 10.000.000 km<sup>2</sup> dan memiliki kekayaan sumber alam yang berlimpah membutuhkan data penginderaan jauh yang lebih banyak dibandingkan dengan Singapura. Selain itu, daerah yang mempunyai kecepatan perubahan lahan dan kepadatan penduduk yang tinggi akan membutuhkan informasi yang sangat detil dibandingkan dengan daerah yang kepadatan penduduknya lebih kecil dan laju perubahan penutup lahan relatif lambat. Maka kebutuhan data atau informasi penginderaan jauh dalam skala yang detil

lebih banyak atau besar di Jakarta atau Jawa dibandingkan Biak atau Irian Jaya, misalnya.

Informasi sumber alam di kawasan Indonesia timur relatif lebih sedikit dibandingkan dengan sumber alam di kawasan barat. Kalaupun ada informasi mungkin sudah tidak *up to date* lagi. Alhasil pelaksanaan UU No. 24 tahun 1992 tentang Pemetaan Ruang diperlukan data satelit penginderaan jauh dalam berbagai skala atau resolusi guna berbagai keperluan khususnya keperluan sektor-sektor pembangunan. Seperti kehutanan dan perkebunan, transmigrasi, pertambangan dan energi, pertanian, pertanahan, lingkungan hidup dan sebagainya. Perkiraan kebutuhan data satelit penginderaan jauh di Indonesia dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini.

Tabel 8: Prakiraan Kebutuhan Data Satelit Penginderaan Jauh di Indonesia

No.	APLIKASI	LUAS (ribuan Ha)	Landsat (scene)	SPOT (Scene)	ERS (Scene)
	Kehutanan				
	Tata Guna Tanah	143.000	118	1.062	143
	Hutan Lindung	30.000	25	225	30
	Hutan Suaka Alam & Wisata	18.000	14	128	18
	Hutan konversi (termasuk perkebunan & traansmigrasi)	30.000	25	225	30
	Hutan Produksi	64.000	34	306	64
	Pertanian	10.200	9	81	11
	Hidrologi	4.008	4	36	4
	Urban	37.000	30	270	37
	Coastal zone	5.500	4	35	6
	Geologi	9.600	3	27	10
	Lain-lain (Landuse/Landcover)	>300.000	>300	> 2.700	> 35

\*) Sumber BPS: Statistik Indonesia

### 3. Penutup

Penginderaan jauh merupakan teknologi untuk mem-peroleh informasi keruangan (spasial) dengan referensi geografis suatu obyek di permukaan bumi atau di atmosfer. Teknologi ini mempunyai peran yang besar khususnya dalam penyajian data atau informasi sumber daya alam dan lingkungan. Oleh manajemen informasi itu bisa untuk bahan perencanaan, operasional dan evaluasi program pembangunan nasional. Khusus data satelit penginderaan jauh memiliki kelebihan cakupan yang luas dan tampak (visible) sampai panjang gelombang mikro. Kelebihan lain adalah mampu meliputi untuk kelengkapan pemetaan dasar. Selain itu, dengan periode liputan yang tinggi memungkinkan untuk senantiasa memperbarui basis data spasial pada SIG dalam waktu relatif singkat dan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan perolehan data lainnya, seperti survei dan pemotretan udara.

UU No. 24 tahun 1992 tentang Penataan Ruang mem-pertegas peran penginderaan jauh. Memberikan peluang bagi penginderaan jauh mensuplai data spasial bagi pemenuhan kebutuhan peta dasar dengan berbagai skala sesuai kebutuhan seperti yang tertuang pada peraturan ter-sebut di atas. Selain itu terdapat tantangan berupa standarisasi sistem dan data spasial. Dari komponen utama SIG, tantangan terbesar berkaitan dengan data seperti kontinuitas ketersediaan data, peta dasar, konversi data, pemeliharaan basis data, arus dan *share* data, data *exchange*, standarisasi format data, biaya data, dan hak paten/cipta. Selain itu SIG yang dioperasikan oleh pengguna masih merupakan sistem yang bersifat parsial (sesuai kebutuhan) belum terintegrasi secara nasional. Untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan data dan integrasi SIG nasional maka diperlukan suatu koordinasi, kerja sama, dan pengaturan kelembagaan sehingga SIG dapat dimanfaatkan secara efektif.

Ruang mempertegas peran penginderaan jauh. Memberikan peluang bagi penginderaan jauh mensuplai data spasial bagi pemenuhan kebutuhan peta dasar dengan berbagai skala sesuai kebutuhan seperti yang tertuang pada peraturan tersebut di atas. Selain itu terdapat tantangan berupa standarisasi sistem dan data spasial. Dari komponen utama SIG, tantangan terbesar berkaitan dengan data seperti kontinuitas ketersediaan data, peta dasar, konversi data, pemeliharaan basis data, arus dan *share* data.

data *exchange*, standarisasi format data, biaya data, dan hak paten/cipta. Selain itu SIG yang dioperasikan oleh pengguna masih merupakan sistem yang bersifat parsial (sesuai kebutuhan) belum terintegrasi secara nasional. Untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan data dan integrasi SIG nasional maka diperlukan suatu koor-dinasi, kerja sama, dan pengaturan kelembagaan sehingga SIG dapat dimanfaatkan secara efektif.

## 3.2 Berbagai Pertimbangan Pengembangan Industri Penginderaan Jauh di Negara Berkembang : Studi Kasus Indonesia

### Pendahuluan

Penginderaan jauh sangat penting dan berarti bagi negara seperti Indonesia yang memiliki kekayaan sumber alam berlimpah di darat dan laut serta memiliki keunikan posisi yaitu keberadaannya di antara dua benua Australia dan Asia, diantara dua samudera yaitu samudera Pasifik dan Samudera Hindia serta diantara lempeng tektonik Eurasia, Pasifik dan Indo Australia. Di sisi lain terdapat keunikan dalam masalah lingkungan. Indonesia sangat rentan terhadap bencana alam geologi seperti banjir, badai, tsunami, kebakaran hutan, kekeringan, letusan gunung berapi, gempa bumi dan sebagainya. Bencana alam tersebut sudah sering terjadi di beberapa kawasan Indonesia.

Sebagai negara berkembang, pembangunan ekonomi nasional bertumpu kepada keberadaan sumber daya alam yang merupakan modal dasar untuk melaksanakan pembangunan nasional. Namun karena kemampuan teknis dan peralatan dalam eksplorasi dan eksploitasi yang relatif masih kurang, pemanfaatan sumber daya untuk maksud mendorong pertumbuhan ekonomi nasional telah membawa dampak terhadap kerusakan lingkungan.

Selain itu, kesadaran terhadap arti penting sumber daya alam sebagai modal untuk pembangunan berkelanjutan belum banyak dipahami oleh masyarakat, termasuk para pengambil kebijakan dan para pengusaha pemegang hak pengelolaan hutan (HPH) telah melakukan eksploitasi hutan secara tidak terencana sehingga banyak menimbulkan bencana seperti kebakaran hutan, banjir, longsor dan sebagainya yang menyebabkan kerugian materiel maupun jiwa yang tidak sedikit. Tentu saja semuanya itu membawa dampak negatif terhadap pertumbuhan ekonomi nasional. Kerusakan sumber daya alam dan lingkungan menjadi beban pembangunan karena diperlukan biaya yang tidak kecil untuk pemulihannya.

Pembangunan penginderaan jauh di Indonesia telah dilaksanakan secara bertahap sejak tahun 1972.

Tahap investigasi (1972-1983) adalah merupakan tahap pengkajian terhadap kehandalan teknologi penginderaan jauh untuk berbagai keperluan khususnya inventarisasi sumber daya alam dan pemantauan kondisi lingkungan. Pada tahap ini, Indonesia telah ikut dalam tim investigasi ERTS (*earth resource technology satellite*) yang dikemudian hari dikenal dengan satelit bumi (Landsat).

Pada tahap ini pula LAPAN pada 1978 telah mengoperasikan stasiun bumi APT (*aperture picture transmission*) resolusi rendah. Tahapan berikutnya adalah tahap percobaan/eksperimen (1983-1993) yang ditandai dengan kegiatan pengoperasian sensor udara untuk keperluan pemetaan. Pemanfaatan data MSS Landsat pada tahap ini lebih berorientasi kepada litbang untuk keperluan uji coba bagi aplikasi berbagai sektor khususnya sektor kehutanan.

Pemanfaatan penginderaan jauh pada tahap ini didukung oleh stasiun bumi satelit sumber alam di Jakarta yang dioperasikan LAPAN sejak 1984 untuk menerima data MSS Landsat 4 dan 5 yang mempunyai resolusi spasial 80 meter. Pada tahap ini telah dilakukan pula percobaan pelayanan pengguna. Pada 1993, pengembangan satelit penginderaan jauh di Indonesia memasuki era data satelit resolusi menengah (10-30 meter). Tahap ini ditandai dengan pembangunan dan pengoperasian stasiun bumi satelit penginderaan jauh LAPAN di Parepare Sulawesi Selatan pada tahun 1993 untuk menerima, merekam, mengolah dan mendistribusikan data satelit TM (*thematic mapper*) Landsat 5, SPOT 1 dan 2 serta ERS (*European resource satellite*).

Pada 1995, pemerintah Jepang melalui kerjasama NASDA-LAPAN menambah kapasitas kemampuan stasiun bumi LAPAN dengan membangun sistem penerima JERS (*Japan Earth Resources Satellite*). Dengan beroperasinya stasiun bumi satelit penginderaan jauh multi misi di Parepare, pemanfaatan data satelit penginderaan jauh baik untuk operasi pelayanan pengguna maupun penelitian dan pengembangan model untuk berbagai keperluan telah meningkat seperti untuk pemanfaatan di sektor kehutanan, pertanian, transmigrasi, deteksi kebakaran hutan dan sebagainya.

Dari pengalaman sejak 1972, kita telah mengenali beberapa hal mendasar antara lain beban belanja luar negeri, ketergantungan teknologi, belum berkembangnya pasar penginderaan jauh termasuk prospek usaha (bisnis) nya, tipe atau macam pengguna dan kerja sama internasional.



## Pembangunan Industri Penginderaan Jauh dan Faktor-faktor yang Perlu Mendapat Perhatian

- **Beban Belanja Luar Negeri dalam Operasi dan Perawatan Stasiun Bumi**

Sejak 1993 Indonesia telah mampu menghasilkan data satelit penginderaan jauh seperti Landsat TM, SPOT, ERS dan JERS. Produksi data membutuhkan investasi yang tidak kecil antara lain untuk operasi stasiun bumi, biaya penerimaan data (*annual fee data reception*), kebutuhan perawatan dan pengadaan suku cadang. Komponen biaya tersebut kebanyakan dibayarkan dalam mata uang asing khususnya dolar Amerika. Namun demikian pemasukan dari distribusi data yang diterima Lapan adalah dalam rupiah. Dalam kondisi ekonomi Indonesia saat ini dimana rupiah mengalami penyusutan atau penurunan yang sangat tajam terhadap mata uang asing. Hal ini menyebabkan operasi stasiun bumi menjadi makin tinggi dan mahal.

Selain itu, operasi stasiun bumi untuk dapat memproduksi data yang memenuhi standar internasional untuk aspek-aspek media, format struktur data, kualitas memerlukan kegiatan operasi perawatan yang intensif. Saat ini, kesulitan utama adalah kelangkaan suku cadang yang dibutuhkan di pasar dalam negeri. Kebanyakan suku cadang yang dibutuhkan harus dipesan 2 – 3 bulan dimuka dan biasanya dengan biaya yang mahal karena kondisi rupiah terhadap mata uang asing yang sangat fluktuatif dan tidak dapat diprediksi sehingga membuat para pemasok suku cadang tidak mau menanggung resiko untuk mempunyai atau menyimpannya sebagai cadangan.

Seperti yang disebutkan diatas produksi data sungguh memerlukan investasi yang tidak kecil bagi pembangunan stasiun penerima dan fasilitas pengolahan. Disisi lain, hasil penjualan data tidak dapat menutupi biaya penerimaan data satelit (*annual fee reception*) sebagai komponen utama dari operasi stasiun bumi. Oleh karena itu pendekatan komersial terhadap pemanfaatan data penginderaan jauh perlu dipertimbangkan kembali oleh pengoperasi satelit. Pengoperasi satelit GMS, NOAA dan Landsat-7 mempunyai kebijakan operasi pemanfaatan data dengan basis non komersial. Kebijakan tersebut handaknya dapat dijadikan acuan model kerjasama dimasa mendatang antara pengoperasi satelit dan stasiun bumi.

## Ketergantungan Teknologi.

Teknologi satelit penginderaan jauh telah berkembang sangat cepat dan telah dirancang untuk beroperasi selama lima tahun. Dibandingkan dengan generasi satelit terdahulu, satelit yang beroperasi saat ini dan dimasa mendatang mempunyai berbagai perbedaan antara lain :

- Resolusi spasial yang lebih baik dari resolusi rendah menjadi sangat tinggi ( 1-3 meter).
- Resolusi spasial dari multispektral menjadi hiperspektral.
- Polarimetrik tunggal pada data radar ( SAR ) menjadi multi polarimetrik.
- Single band pada data SAR berkembang menjadi multi band.
- Laju kecepatan transmisi data yang rendah menjadi berkecepatan tinggi.

Pengembangan kapasitas kemampuan satelit penginderaan jauh seperti tersebut diatas telah meningkatkan kemampuan dalam memberikan informasi yang lebih lengkap (komprehensif) dan akurat tentang kondisi sumber daya alam dan lingkungan. Namun demikian untuk menarik manfaat secara berkesinambungan dari kemampuan teknologi penginderaan jauh, kemampuan beradaptasi dengan kemajuan dan perkembangan teknologi penginderaan jauh di dunia merupakan suatu keharusan. Hal ini berarti bahwa dalam operasi pemanfaatan teknologi penginderaan jauh diperlukan penyesuaian-penyesuaian kapasitas dan kemampuan secara periodik atau paling tidak untuk setiap lima tahun.

Peremajaan, peningkatan atau penyesuaian kemampuan dari sistem stasiun bumi, tidak hanya mencakup subsistem penerima data saja (*receiving subsystem*) tapi juga subsistem pengolahan data (*data processing and analysis subsystem*) sehingga kontinuitas produksi data standar dan informasi (*value added products*) dapat senantiasa terjaga. Namun karena kekurangan dana, banyak stasiun bumi khususnya stasiun bumi di negara berkembang tidak mampu mengikuti perkembangan dan biasanya terjadi penundaan atau kesenjangan waktu sampai 3 tahun sehingga membuat kapasitas kemampuan stasiun bumi tersebut tidak dapat secara penuh dioperasikan.

## Pasar Penginderaan Jauh yang Belum Berkembang.

Dari pengalaman melaksanakan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan pelayanan pengguna untuk berbagai tujuan, sejak 1990-an ada informasi menarik. Dimana kesadaran dan apresiasi para pengambil keputusan pada lembaga pemerintah di tingkat pusat terhadap pemanfaatan teknologi penginderaan jauh makin meningkat namun tidak demikian halnya untuk para pengambil keputusan di daerah.

Indikasi dari meningkatnya kesadaran dan apresiasi para pengambil kebijakan di lembaga pemerintah di tingkat pusat dapat dilihat pada pelaksanaan berbagai *pilot project* yang didukung oleh bantuan negara asing. *Pilot project* tersebut dilaksanakan untuk mengembangkan model atau metode yang komprehensif dan terpadu termasuk pengembangan infrastruktur untuk inventarisasi dan pemantauan serta pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan. Proyek uji coba tersebut biasanya dilakukan dengan melibatkan berbagai instansi terkait baik instansi pemerintah tingkat pusat ataupun daerah. Dalam lima tahun terakhir beberapa proyek yang telah dilaksanakan antara lain :

- Land resource evaluation project ( LREP ) tahap II yang dikoordinasikan oleh Bakosurtanal.
- Marine resource evaluation project (MREP) tahap I dikoordinasikan oleh Bakosurtanal dan BPPT.
- Program ADRO untuk verifikasi pemanfaatan data radarsat di Indonesia seperti untuk kehutanan, pemantauan mangrove, pengelolaan kawasan pesisir yang dikoordinasikan oleh BPPT.
- Pembangunan prototipe pemanfaatan data ERS-SAR untuk berbagai aplikasi, seperti penggunaan lahan, kehutanan, pengelolaan kawasan pesisir (EC-ASEAN PILOT PROJECT) proyek ini sepenuhnya didanai oleh masyarakat Eropa (European community ) dan berkerja sama dengan negara-negara Asean. Di Indonesia proyek ini dikoordinasikan oleh LAPAN.
- Satellite transfer technology in Indonesia dibawah koordinasi BPPT.
- Coremap (Corel Reef Rehabilitation and Management Program ) di bawah koordinasi LIPI.

- Riset Unggulan Terpadu dibawah pengawasan LIPI.

Walaupun kegiatan proyek uji coba seperti tersebut diatas juga melibatkan berbagai instansi pemerintah di daerah tapi kesadaran para pengambil keputusan di pemerintah daerah tingkat satu dan dua relatif masih rendah. Secara sektor, pemanfaatan data penginderaan jauh juga relatif kurang berkembang. Dari pengalaman melaksanakan pelayanan kepada pengguna, pemanfaatan data satelit penginderaan jauh didominasi oleh sektor kehutanan dan pemetaan. Selain itu instansi pengguna lebih banyak berasal dari instansi pemerintah dibandingkan sektor swasta. Pemanfaatan yang relatif kecil tersebut saat ini, termasuk oleh sektor swasta, mungkin disebabkan oleh krisis ekonomi.

Kondisi pasar data satelit penginderaan jauh di Indonesia yang belum berkembang tersebut mungkin dapat disiasati dengan penjualan data produksi LAPAN ke luar negeri karena cakupan stasiun bumi LAPAN mencakup beberapa kawasan negara-negara tetangga seperti antara lain Australia, Philipina, Malaysia, Singapura, Brunei Darussalam dan Kamboja. Cakupan tersebut mencapai 10% dari seluruh cakupan stasiun bumi yang berlokasi di Parepare. Pemilihan lokasi tersebut sebenarnya lebih ditujukan pada keinginan untuk dapat meliputi seluruh wilayah Indonesia. Kawasan di luar wilayah Indonesia juga diliput oleh stasiun bumi Australia dan Thailand.

Oleh karena itu ekspor data ke luar negeri belum dapat memberi jaminan bahwa hal itu akan berhasil karena Indonesia dengan kawasan yang sangat luas justru telah menjadi target pasar bagi stasiun-stasiun bumi negara tetangga. Seperti Singapura untuk data SPOT, stasiun bumi Australia untuk data Landsat dan SPOT untuk kawasan Indonesia Bagian Timur serta stasiun bumi Thailand untuk data Landsat, Radarsat dan SPOT untuk kawasan Indonesia Bagian Barat khususnya bagian utara Sumatera.

Dari pertimbangan di atas, kesimpulan awal dapat diperoleh bahwa penjualan data sebagai usaha bisnis pemanfaatan teknologi penginderaan jauh di Indonesia belum dapat menutupi biaya operasi stasiun bumi apalagi untuk pengembalian investasi stasiun bumi. Oleh karena itu pemerintah diharapkan untuk masih tetap membantu biaya operasi walaupun Indonesia dalam kondisi krisis ekonomi nasional yang masih berkepanjangan saat ini.

Pemerintah dapat mendorong peningkatan distribusi data yaitu dengan mengeluarkan kebijakan seperti yang dilakukan sektor kehutanan. Menteri Kehutanan mensyaratkan para pemegang HPH untuk menggunakan data satelit produksi stasiun bumi LAPAN untuk pembuatan laporan kerja tahunan pengelolaan dan eksploitasi hutan yang berada dalam konsesinya.

## Prospek Bisnis.

Berbeda dengan produksi data, pada sisi aplikasi usaha atau bisnis "*value added product*" informasi, mempunyai prospek yang menarik para pengusaha swasta untuk menginvestasikan dana baik untuk keperluan operasi perusahaan dalam memenuhi kebutuhan informasi penginderaan jauh ataupun untuk melayani kebutuhan informasi perusahaan lain atau instansi pemerintah.

Di bandingkan dengan peralatan yang diperlukan untuk produksi data standar yang umumnya berorientasi pada suatu sistem tertentu yang kompleks dan biasanya tidak diproduksi massal, peralatan yang dibutuhkan untuk produksi informasi relatif lebih sederhana dan mudah didapatkan di pasaran. Biaya yang diperlukan untuk mendapatkan fasilitas pengolahan dan analisis data yang lengkap dan canggih, untuk produksi informasi relatif rendah dibandingkan fasilitas untuk produksi data standar. Biaya tersebut tidak lebih dari 20% dari biaya untuk pengadaan fasilitas pengolahan data produk standar. Namun di sisi lain penghasilan yang dapat diperoleh dari operasi sistem pengolahan dan analisis data untuk produksi informasi berbagai tujuan relatif sangat tinggi.

Seperti telah disebutkan diatas prospek bisnis pada sisi aplikasi jauh lebih menarik walaupun terdapat banyak tantangan dan pesaing yang tidak dapat diabaikan. Melaksanakan usaha jasa informasi dibidang penginderaan jauh bukanlah pekerjaan mudah. Karena memerlukan usaha yang sungguh-sungguh dan terus menerus untuk mempromosikan manfaat teknologi penginderaan jauh dalam membantu para pengambil keputusan serta melaksanakan usahanya secara profesional khususnya untuk memenuhi kepuasan para pengguna. Tanpa upaya yang demikian atau kesalahan perlakuan terhadap komitmen dengan pengguna akan membawa situasi yang tidak menguntungkan yang bahkan akan menghadapi tuntutan klien di pengadilan. Oleh karena itu dalam usaha pelayanan informasi penginderaan jauh memerlukan tidak hanya cukup

bermodalan teknis belaka tetapi juga kemampuan lain seperti penguasaan materi hukum pidana atau perdata sebagai konsekuensi komitmen yang telah disepakati dengan klien, kemampuan manajemen produksi, pelayanan dan pemasaran, kemampuan negoisasi dan sebagainya.

Prospek usaha dan industri jasa pelayanan informasi penginderaan jauh juga membuka peluang bagi produsen dan distributor perangkat lunak untuk meningkatkan pemasaran produksinya kepada pengguna dengan mengembangkan perangkat lunak yang lebih ramah kepada penggunanya atau dengan kata lain lebih mudah dioperasikan oleh penggunanya untuk mengekstraksi informasi yang dibutuhkan pengguna.

Macin banyak pemasok atau produsen yang terlibat atau tertarik dalam industri jasa informasi penginderaan jauh aka membuat harga perangkat lunak makin murah dan terjangkau oleh lebih banyak pengguna yang akan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Namun demikian karena harga perangkat lunak tersebut umumnya dalam mata uang asing seperti dollar amerika dimana dalam kondisi krisis ekonomi nilai mata uang rupaiahterhadap uang asing sangat fluktuasi dan relatif turun (depresiasi). Maka usaha jasa informasi penginderaan jauh di indonesia belum dapat dilakukan secara optimal.

## Kelompok Pengguna.

Berdasarkan pengalaman pengguna di Indone-sia, bisa dikelompokkan ke dalam tiga yaitu pengguna potensial, pengguna ilmiah dan pengguna operasional. Pengguna potensial diidentifikasi sebagai pengguna yang memiliki lingkup tugas yang dapat didukung oleh pemanfaatan data satelit namun mereka belum menyadari peran dari teknologi penginderaan jauh dala membantu tugas mereka.

Kebutuhan utama dari pengguna potensial umumnya adalah informasi. Pengguna yang termasuk kelompok ini adalah antara lain Pemerintah Daerah, Departemen Pertanian (Direktorat Jendral Tanaman Pangan), Direktorat Jendral Perkebunan, Departemen Kehutanan dan Departemen Dalam Negeri. Untuk meningkatkan pengguna potensial ini menjadi pengguna riil diperlukan promosi yang proaktif seperti mendatangi langsung pengguna tersebut termasuk membuat contoh produk yang sesuai dengan tugas mereka. Selain itu diperlukan usaha lain yaitu dengan memberikan pelatihan penginderaan jauh dan sistem

informasi geografis yang bersifat tematik sesuai dengan tugas dan fungsi serta lingkup kerja pengguna.

Pengguna ilmiah adalah pribadi-pribadi atau institusi yang mempunyai lingkup tugas berkaitan dengan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kebanyakan dari kelompok ini sudah mempunyai pengetahuan dan sumber daya manusia yang handal tapi dengan dana dan fasilitas yang terbatas dan cenderung tidak memadai.

Pendekatan perlakuan terhadap kelompok ini dilakukan melalui pengembangan kemitraan seperti kerjasama penelitian. Keuntungan materiil mungkin sulit diharapkan dari kelompok ini tapi akan mendapatkan keuntungan pengembangan model yang lebih handal dan secara ilmiah lebih dapat dipertanggung jawabkan. Selain itu kelompok ini dapat dijadikan sebagai kelompok penekan yang efektif dalam meningkatkan kesadaran para pengambil kebijakan pengelola sumber daya alam dan lingkungan.

Pengguna operasional adalah pengguna yang telah memanfaatkan teknologi penginderaan jauh untuk mendukung tugas dan fungsinya. Instansi yang termasuk dalam kelompok ini antara lain adalah Departemen Kehutanan dan Perkebunan, Departemen Transmigrasi, Departemen Pertambangan dan Energi, Bakosurtanal dan instansi yang berkecimpung dalam pemetaan, perusahaan swasta dan sebagainya. Kelompok ini pada umumnya telah memiliki fasilitas dan sumber daya manusia yang memadai untuk memproduksi informasi yang dibutuhkan berbagai sumber data seperti data satelit penginderaan jauh, data lapangan dan data pendukung lainnya.

Kebutuhan dari tiap kelompok berbeda-beda. Pengguna potensial memerlukan informasi sementara kelompok yang lain umumnya hanya membutuhkan data. Dari pengalaman operasi distribusi data dan pelayanan penyajian informasi diperoleh kesimpulan bahwa kebanyakan pengguna merasa bahwa data penginderaan jauh sangat signifikan dalam membantu tugas yang dapat memudahkan dalam menangani tugas mereka.

Kebijakan pemerintah untuk lebih memberikan kewenangan daerah dalam pengelolaan sumber daya alam dan lingkungannya sendiri saat ini memberikan peluang untuk peningkatan pemasaran data. Namun diperlukan upaya lain untuk meningkatkan kesadaran pengguna di daerah dan kebijakan biaya rendah untuk tiap unit data.

## Kerjasama Internasional.

Kerjasama internasional adalah faktor kunci untuk menjaga dan mempercepat pengembangan pembangunan penginderaan jauh dan SIG di Indonesia. Kerjasama internasional bagi Indonesia dapat menjadi kendaraan untuk memacu kecepatan proses alih teknologi dan menjaga kesinambungan ketersediaan data dan pelayanan penyajian informasi penginderaan jauh.

Dengan semangat saling membantu dalam kerangka dan payung kerjasama internasional, kegiatan penginderaan jauh di Indonesia khususnya untuk melindungi dan mengelola lingkungan dan sumber daya global secara benar akan berkembang terus baik teknis ataupun pengetahuan sehingga dapat menghindari terjadinya kerusakan sumber daya alam dan lingkungan secara global. Oleh karena itu pemahaman manfaat teknologi penginderaan jauh dalam menjaga kelestarian lingkungan global perlu menjadi perhatian dan pertimbangan lain para pengoperasi satelit selain dari pertimbangan komersial belaka.

Investasi terkait pada produksi data umumnya merupakan beban belanja pemerintah sebagai beban pengembangan infrastruktur perolehan atau pengadaan data dalam mendukung pembangunan nasional. Kebijakan tersebut terkait dengan kebijakan untuk penyajian data sumber daya alam dan lingkungan secara lengkap untuk mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan. Kebijakan pemerintah untuk memanfaatkan teknologi yang saat ini paling berkembang dan menjadi perhatian yaitu penginderaan jauh dan sistem informasi geografi untuk pemantauan dan pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan yang tidak hanya untuk kepentingan Indonesia sendiri tapi juga untuk memberi sumbangan kepada dunia yaitu menyelamatkan dunia melalui pelestarian lingkungan global. Oleh karena itu pendekatan komersial untuk pemanfaatan data penginderaan jauh harus kembali dipertimbangkan atau ditinjau ulang. Operasi non komersial dari data NOAA, GMS, ERS dan JERS serta Landsat-7 adalah contoh-contoh positif yang dapat mengoptimalkan pemanfaatan data satelit dalam menyelamatkan dunia ( Bumi ). Operasi yang demikian dan dukungan pemerintah dapat memperluas pengembangan pasar data penginderaan jauh termasuk pengembangan industri jasa penginderaan jauh.

## Penutup.

Penginderaan jauh di Indonesia telah dikenal sejak 1972 dan pemanfaatannya berkembang pesat dalam lima tahun terakhir. Banyak instansi pemerintah dan swasta telah terlibat dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk berbagai keperluan.

Namun demikian pasar data penginderaan jauh di Indonesia sebagai dasar industri jasa informasi penginderaan jauh belum berkembang. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

- Beban belanja luar negeri untuk investasi dan operasi serta perawatan sistem stasiun bumi. Kemampuan operasi dan perawatan dalam negeri sering menjadi kurang berarti karena terbentur oleh ketersediaan suku cadang yang biasanya langka dipasar domestik dan umumnya harga suku cadang dalam mata uang asing (dollar amerika).
- Ketergantungan teknologi seperti perubahan spesifikasi teknis satelit.
- Pasar domestik data penginderaan jauh yang belum berkembang dan kesulitan pengembangan ekspor data yang diterima stasiun bumi Indonesia.
- Kesadaran para pengambil kebijakan juga para teknisi dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh khususnya di daerah (provinsi dan kabupaten/kotamadya) untuk membantu tugas dan fungsi mereka.

Semua faktor diatas menyebabkan pemasaran data belum mencapai skala ekonomi. Oleh karena itu harga data masih relatif tinggi karena operasi dan keperluan perawatan sistem stasiun bumi dan untuk mempertahankan kemajuan teknologi satelit memerlukan investasi dan biaya yang tidak sedikit.

Disisi lain industri jasa informasi penginderaan jauh di masa mendatang cukup memberikan prospek yang menggembirakan dengan dukungan berbagai faktor seperti :

- Komitmen pemerintah untuk membantu operasi dan perawatan sistem stasiun bumi yang diharapkan dapat membantu pemerintah menyediakan data dan informasi sumber daya alam dan lingkungan untuk mengatasi krisis ekonomi.
- Kebijakan pemerintah yang mensyaratkan penggunaan data satelit penginderaan jauh produk LAPAN bagi para pemegang HPH.
- Peluang untuk mendapatkan pemasaran data penginderaan jauh dengan diberlakukannya kebijakan otonomi daerah dalam waktu dekat. Kebijakan tersebut dapat membawa implikasi meningkatnya kesadaran para pembuat kebijakan di daerah tentang peran penginderaan jauh bagi pengelolaan dan pemantauan kondisi sumber daya alam dan lingkungan di daerahnya.
- Pengguna di Indonesia dapat dikelompokkan kedalam 3 kelompok besar yaitu kelompok pengguna potensial, pengguna ilmiah dan pengguna operasional
- Prospek usaha atau bisnis jasa informasi penginderaan jauh tampaknya lebih cerah dibandingkan dengan distribusi data. Makin siap saji dan makin akurat informasi yang disajikan akan makin meningkatkan minat pengguna dan keinginan untuk membayar informasi tersebut.

Kerja sama internasional dari sisi Indonesia sangat diperlukan dan berarti. Kerja sama internasional dapat menjadi kendaraan untuk mempercepat proses alih teknologi yang dapat juga dimanfaatkan untuk keseimbangan upaya keras pemasyarakatan ide komersialisasi teknologi penginderaan jauh khususnya data satelit dengan pemahaman peran penginderaan jauh untuk keselamatan lingkungan global.

### 3.3 Prospek Bisnis Penginderaan Jauh di Tingkat Nasional dan Internasional

#### Pendahuluan

Teknologi penginderaan jauh telah mengalami perkembangan yang sangat pesat khususnya pada dekade terakhir ini dimana satelit penginderaan jauh telah memasuki tahap kedua dari perkembangan satelit, yaitu revolusi radar. Tahap pertama yang dimulai dengan sensor optis pasif multi spektral sejak diluncurkannya satelit ERTS-1 tahun 1972 hingga saat ini telah membuktikan kehandalannya untuk berbagai kepentingan seperti pemantauan dan inventarisasi sumber daya alam dan lingkungan di seluruh dunia.

Data satelit dari sensor optis tersebut telah dimanfaatkan secara luas untuk berbagai pemanfaatan seperti antara lain untuk pemetaan, pertambangan dan eksplorasi geologi, pertanian, kelautan dan perikanan, penataan ruang, pengembangan wilayah dan sebagainya. Data satelit radar yang merupakan data yang dapat menjadi komplementari bagi data optis pasif multi spektral karena kemampuannya menembus awan sehingga tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca dari suatu daerah yang diinderanya.

Untuk aplikasi tertentu khususnya yang berkaitan dengan eksplorasi geologi, data satelit radar ini telah menunjukkan kehandalannya sedangkan untuk berbagai aplikasi lainnya masih dalam taraf pengembangan. Selain itu, dikembangkan pula metode fusi data radar dan data optis untuk mendapatkan keunggulan dari kedua data tersebut, bebas awan dan kenampakan yang baik.

Sebagai suatu sistem, penginderaan jauh terdiri atas beberapa sub sistem seperti sub sistem antariksa (satelit, sensor), sub sistem ruas darat (stasiun bumi) dan sub sistem pengguna (data, informasi, perangkat keras dan lunak sistem pengolahan data dan SIG). Perubahan pada salah satu sub sistem akan berpengaruh pada sub sistem lainnya seperti perubahan sistem satelit akan mempengaruhi sistem stasiun bumi penerima data satelit tersebut dan juga mempengaruhi sistem pengolahannya. Perkembangan teknologi penginderaan jauh tersebut merupakan perkembangan ruas antariksa yaitu teknologi satelit dan sensor.

Saat ini sensor yang dikembangkan dan dipasang di satelit masih terbatas untuk beberapa kisaran panjang gelombang elektromagnetik. Yang akan datang sensor tersebut dikembangkan untuk dapat sekaligus mencatat kisaran panjang gelombang lebih banyak lagi atau akan berkembang menjadi hiperspektral. Demikian pula halnya dengan data radar yang akan berkembang menjadi data radar multi spektral dan multi polarimeter.

Perkembangan lain yang cukup berarti adalah perubahan resolusi spasial yang makin besar baik untuk data radar maupun optis. Pada 1999, satelit Ikonos telah berhasil diluncurkan ke orbitnya dan telah beroperasi secara baik. Resolusi spasial data satelit Ikonos mencapai 1 meter untuk data pankromatik dan 4 meter untuk multispektral. Pada tahun 2000 satelit dengan karakteristik data yang sama seperti Quick Birds, Orbview 3dab 4 yang akan diluncurkan dan Terra SAR yang direncanakan diluncurkan pada tahun 2004 akan menghasilkan data radar L dan X band dengan resolusi 1 meter.

Perkembangan spasial data satelit tersebut di atas tentu saja membawa implikasi yang menarik khususnya untuk pengembangan pemanfaatan disektor-sektor strategis yang saat ini belum terjangkau oleh data satelit resolusi menengah seperti Landsat, SPOT dan IRS. Aplikasi tersebut antara lain adalah real estate, asuransi, penegakan hukum, peliputan berita, perencanaan liburan, *asset appraisal* dan sebagainya.

Melihat aspek pemanfaatan yang semakin besar dari teknologi satelit, tidaklah tertutup kemungkinan bahwa perkembangan tersebut dalam masa mendatang akan berkembang terus baik dari perubahan resolusi spasial, spektral ataupun energi seperti pemanfaatan sinar laser. Perubahan-perubahan tersebut pada satu sisi merupakan tantangan atau bahkan kendala bagi sisi lain dan senantiasa menuntut adaptasi terhadap perubahan tersebut yang tentunya membutuhkan investasi yang tidak sedikit dan menuntut peningkatan kualitas kemampuan SDM.

Di sisi lain perubahan tersebut menjadi daya tarik bisnis yang menjanjikan baik di tingkat nasional maupun di tingkat internasional. Paragraf berikut menjelaskan tentang kecenderungan perubahan stasiun bumi sebagai implikasi dari perubahan sistem satelit, kecenderungan perubahan pola pembiayaan misi satelit penginderaan jauh dalam pengamatan bumi, perubahan kebutuhan dan pelayanan serta kecenderungan bisnis di bidang penginderaan jauh.

# Perubahan Stasiun Bumi, Pembiayaan dan Pelayanan

## 1. Perubahan Stasiun Bumi

Stasiun bumi merupakan sarana untuk menerima langsung dan merekam transmisi yang dipancarkan satelit penginderaan jauh. Stasiun bumi yang beroperasi saat ini adalah stasiun bumi dengan skala nasional atau regional yang artinya cakupan dari antena pada stasiun bumi dapat meliputi suatu negara atau mencakup beberapa negara yang masih masuk dalam cakupan regional antena. Seperti stasiun bumi penginderaan jauh Indonesia yang dapat meliputi hampir seluruh wilayah Indonesia dan sebagian wilayah dari negara tetangga seperti Malaysia, Philipina dan sebagainya.

Untuk negara seperti Indonesia pengoperasian stasiun bumi nasional/regional sangat efektif dan efisien. Saat ini dikawasan ASEAN telah beroperasi berbagai stasiun bumi seperti di Singapura, Thailand, Indonesia dan kemungkinan dalam waktu dekat adalah Malaysia serta Philipina. Ditambah stasiun bumi Australia, stasiun-stasiun bumi tersebut dapat meliputi seluruh wilayah Indonesia dan saling meliputi kawasan negara-negara tetangga.

Hal ini tentu saja kurang menguntungkan bagi negara-negara di kawasan ASEAN. Transmisi data Landsat 7 hanya dibatasi untuk 3 stasiun bumi dalam suatu kawasan dengan prioritas negara yang diliput. Dengan pembatasan tersebut maka ada kemungkinan kecenderungan kerja sama negara-negara pada suatu kawasan untuk mengoperasikan stasiun bumi secara bersama-sama sebagai stasiun bumi regional.

Namun untuk kebutuhan pemantauan kawasan yang kecil, kemudahan, kecepatan dan mobilitas akses data untuk pemantauan secara terus menerus misalnya untuk kepentingan militer atau perang seperti pada Perang Teluk yang lalu, model stasiun bumi nasional/regional tentu saja tidak efektif karena tidak dapat *mobile*. Stasiun bumi kecil atau stasiun bumi *mobile* sangatlah tepat karena dapat dipindahkan untuk dapat memantau secara tetap suatu kawasan tertentu misalnya untuk pemantauan hutan di Kalimantan sehingga pengusaha perkebunan kelapa sawit di Malaysia dapat memantau secara langsung kondisi kelapa sawitnya yang erada di Sumatera atau Kalimantan. Cakupan stasiun bumi *mobile* atau stasiun bumi kecil sangatlah terbatas dibandingkan dengan

stasiun bumi nasional/regional. Keunggulan stasiun bumi kecil/mobile mungkin dari sisi biaya yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan stasiun bumi nasional/regional.

Stasiun bumi penginderaan jauh yang beroperasi di dunia saat ini ditujukan untuk menerima dan merekam transmisi data satelit resolusi menengah seperti Landsat, SPOT dan ERS. Perubahan karakteristik satelit seperti Landsat 5 ke Landsat 7 telah mengakibatkan perlunya *up grading* stasiun bumi yang beroperasi menerima dan merekam data satelit Landsat 5.

Demikian pula halnya untuk menerima dan merekam data satelit resolusi tinggi seperti Ikonos, QuickBirds dan Orbview. Investasi untuk keperluan peningkatan kemampuan stasiun bumi tentu saja tidaklah sedikit apalagi buat negara berkembang seperti Indonesia. Selain faktor biaya, faktor alam juga berpengaruh terhadap hasil perekaman data.

Untuk mendapatkan data yang bebas awan dari SPOT yang liputannya relatif lebih luas (60 km X 60 km) dibandingkan dengan Ikonos (12 km X 12 km) sangatlah sulit, terkadang lebih dari 4 kali rekaman dari berbagai tanggal dan *revisit time* yang berbeda, apalagi dengan Ikonos yang tentunya jauh lebih sulit lagi. Keadaan ini tentu saja kurang menguntungkan bagi para operator satelit resolusi tinggi.

Oleh karena itu mereka menggunakan "*on board tape recorder*" pada satelit sehingga dapat merekam data permukaan bumi seluruh dunia dan kemudian dipancarkan melalui satelit komunikasi TDRS ke stasiun bumi utama yang merupakan stasiun bumi global dari pengoperasi satelit-satelit tersebut (Ikonos, Quick Birds, Orbview). Data satelit tersebut kemudian didistribusikan melalui internet.

## 2. Trend Pembiayaan dan Pelayanan

Misi satelit penginderaan jauh pada awalnya bukanlah untuk kepentingan bisnis apalagi yang bersifat komersial. Satelit Landsat diluncurkan dan dibiayai penuh oleh pemerintah Amerika Serikat untuk kepentingan pemantauan sumber daya alam dimuka bumi, khususnya sumber alamnya sendiri. Namun berdasarkan Space Treaty bahwa negara lain yang dilewati dan diindera oleh satelit tersebut dapat ikut memanfaatkannya. Dalam perjalanannya, distribusi data Landsat 4 dan 5 diserahkan pada pihak swasta (EOSAT) dalam rangka meningkatkan komersialisasi data satelit penginderaan jauh. Namun untuk data

satelit Landsat 7 distribusi data dikembalikan kepada pemerintah (USGS) dengan basis non komersial sesuai dengan *Land Remote Sensing Act* tahun 1992 yang mensyaratkan bahwa biaya terhadap data satelit penginderaan jauh yang didistribusikan hanyalah biaya reproduksi saja. Satelit lain yang diluncurkan atau yang akan diluncurkan dengan biaya penuh pemerintah negaranya adalah CIBERS (China-Brazil), ALOS dan JERS (Jepang), IRS (India) serta SPOT (Perancis). IRS dan SPOT didistribusikan oleh pihak swasta masing-masing EOSAT-Space Imaging dan SPOT Image yang keduanya berbasiskan pada komersialisasi data satelit penginderaan jauh.

Pembiayaan untuk peluncuran satu satelit penginderaan jauh relatif sangat mahal. Dalam kondisi ekonomi dunia yang kurang menggembirakan maka banyak pemerintah melihat bahwa pendanaan tidak bisa sepenuhnya ditanggulangi oleh anggaran pemerintah, tapi juga harus didukung oleh pihak swasta. Pembiayaan pembuatan dan peluncuran satelit yang dibiayai dari patungan pemerintah dan swasta antara lain untuk pembuatan dan peluncuran satelit Radarsat II dan SPOT 5. Pelayanan data dari satelit Radarsat dan SPOT masih ditangani oleh Radarsat Inc dan SPOT Image. Selain berpatungan dengan pihak pemerintah, swasta juga menaruh perhatian dengan membiayai sepenuhnya dalam pengembangan satelit penginderaan jauh seperti Ikonos, Quick Birds dan Orbview. Data tersebut didistribusikan sepenuhnya melalui Space Imaging, Quick Birds melalui Earth Watch Co dan Orbview melalui Orbimage.

## Peluang Bisnis dan Pembangunan Kompetensi

Saat ini banyak orang dengan kemampuan dan keahliannya mengembangkan teknologi informasi untuk membuka berbagai peluang bisnis. Penginderaan jauh yang merupakan bagian dari teknologi informasi telah memasuki tahapan industri yang ditandai dengan perubahan orientasi yang semula lebih cenderung kepada penelitian dan pengembangan telah menuju kepada taraf operasional pemanfaatan sehingga memberikan peluang bisnis penginderaan jauh. Peluang tersebut meliputi pengembangan sistem ruas antariksa (sensor, satelit), ruas bumi (stasiun bumi) ruas pengguna yang terdiri dari data, informasi yang diturunkan dari data satelit, pengembangan model SIG, perangkat keras dan lunak sistem pengolahan citra dan SIG

Pengembangan sistem ruas antariksa merupakan bisnis yang sangat besar, untuk satu satelit penginderaan jauh dapat bernilai jutaan bahkan miliaran dolar Amerika. Satelit Landsat 7 dibuat dengan biaya penuh oleh pemerintah Amerika dengan nilai US \$ 800 juta. Makin kompleks dan makin besar kapasitas kemampuannya akan makin besar pula nilai satelit tersebut. Misalnya satelit Terra EOS yang akan diluncurkan oleh NASA untuk kepentingan studi perubahan iklim global dengan melihat interaksi antara laut, darata atmosfer dan biosfer.

Selain itu Terra juga mempunyai kemampuan peluang studi yang lebih rinci bagaimana suatu kejadian seperti letusan gunung berapi dan kebakaran hutan mempengaruhi iklim global. Satelit Terra bernilai US \$ 1,3 miliar. Satelit-satelit lain seperti Ikonos, Quick Birds dan Orbview yang sudah dan akan diluncurkan tahun 2000; SPOT 5 dan Envisat diluncurkan tahun 2001, ALOS dan Radarsat 2 akan diluncurkan tahun 2002, Terra SAR yang akan diluncurkan tahun 2004 yang merupakan satelit radar X dan L band dengan resolusi spasial 1 meter, dibangun dengan perkiraan biaya yang mencapai ratusan juta sampai orde miliaran dolar Amerika.

Pengembangan ruas antariksa memberi peluang terhadap perubahan ruas bumi. Perubahan ruas bumi dalam rangka menyesuaikan dengan perubahan ruas antariksa dan menjaga kontinuitas penerimaan data memerlukan investasi yang tidak sedikit juga. Di dunia masih sangat sedikit perusahaan yang bergerak dalam pelayanan pembangunan stasiun bumi antara lain Matra (Perancis), MDA (Kanada), Datron, Vixel, Scientific Atlanta (USA) dan NEC (Jepang).

Penyalur atau vendor dari perangkat keras dan lunak pengolah data penginderaan jauh dan SIG makin terpacu untuk mengembangkan sistem operasi, sistem pengolahan yang lebih handal, pengolahan paralel, peluang pengolahan melalui jaringan (LAN atau WAN) atau melalui internet, pengembangan algoritma untuk pengolahan data satelit Landsat 7 dan data resolusi tinggi seperti Ikonos. Algoritma pengolahan data untuk satelit resolusi menengah seperti pengolahan data Landsat tidak dapat bekerja secara baik untuk pengolahan data resolusi tinggi 1 meter. Pengembangan perangkat lunak pengolahan citra dan SIG dapat merupakan peluang bisnis yang tidak kecil pula. Perangkat lunak pengolahan citra satelit seperti ERDAS, ER Mapper merupakan perangkat lunak yang umum dipakai diseluruh dunia.



Melihat pemanfaatan data satelit penginderaan jauh yang semakin besar, dari catatan akuisisi 800.000 scene data Landsat 5 telah dimanfaatkan sebesar 30% untuk berbagai aplikasi, maka peluang pasar pengembangan sistem perangkat lunak pengolahan data dan SIG selain ERDAS, ER Mapper masih terbuka lebar. Selain itu, pengembangan perangkat lunak untuk "browse image" agar mudah diakses pengguna melalui internet juga memberikan peluang bisnis.

Data bagi sebagian orang memiliki nilai bisnis. Bagi operator satelit seperti EOSAT, SPOT Image, Space Imaging, data mempunyai nilai ekonomi dan komersial. SPOT Image dan EOSAT mempunyai perbandingan revenue penjualan data dengan biaya operasi relatif tinggi yaitu 14 : 1. Namun bagi sebagian lain, khususnya bagi negara-negara di Asia Pasifik menginginkan kemudahan akses data artinya data dapat dijangkau oleh pengguna dengan biaya yang serendah-rendahnya. Fee untuk perolehan data disesuaikan dengan kondisi ekonomi negara.

Oleh karena berkembang pendapat sebaiknya data merupakan sarana dan prasarana yang harus disiapkan oleh pemerintah untuk kepentingan masyarakat seperti prasarana jaringan jalan, jaringan telekomunikasi, pendidikan, sarana prasarana kesehatan dan sebagainya dengan gratis atau dengan biaya yang semurah-murahnya. Jadi data pada prinsipnya tidak mempunyai nilai ekonomis atau bisnis sehingga data tidak perlu dikomersialkan. Jika data dicoba untuk dikomersialkan dapat dipastikan bahwa untuk negara seperti Indonesia, revenue yang didapat dari penjualan data tidak akan melebihi biaya operasi dan perawatan stasiun bumi termasuk belanja rutin gaji upah pegawai.

Data satelit penginderaan jauh sebaiknya didistribusikan dengan biaya yang rendah sehingga dapat memacu pemanfaatan menjadi lebih optimal dalam rangka mempercepat proses industrialisasi penginderaan jauh nasional. Untuk itu diperlukan kebijakan nasional bahwa stasiun bumi di Indonesia cukup hanya satu saja dan dioperasikan dengan biaya dari pemerintah dan disitribusikan dengan biaya yang rendah agar pemanfaatan data satelit penginderaan jauh menjadi lebih berkembang. Merendahkan biaya pengadaan data satelit penginderaan jauh merupakan insentif bagi pengguna yang berasal dari berbagai instansi pemerintah dan swasta.

Penurunan harga data dapat menjadi kekuatan komparatif bagi swasta untuk mengembangkan industri penginderaan jauh nasional dan dapat bersaing di kawasan regional atau internasional dalam pelayanan

jasa penginderaan jauh.

Informasi yang diturunkan dari satelit penginderaan jauh merupakan data yang telah mempunyai nilai tambah sebagai hasil dari suatu proses berfikir dalam pengembangan pemanfaatan data. Informasi ini digabungkan dengan berbagai data lain dengan proses pemodelan SIG memberikan informasi yang lebih rinci dan akurat yang sangat penting sebagai masukan bagi para pengambil keputusan. Jika dikelompokkan, jenis informasi terdiri dari informasi untuk kepentingan pemantauan, inventarisasi/eksplorasi atau informasi bagi manajemen sumber daya dan informasi dasar. Informasi dasar seperti peta topografi, DEM, peta penutup lahan, peta jenis tanah dan kemampuan lahan, peta jalan raya, peta daerah rawan bencana, peta geologi dasar dan sebagainya.

Informasi bagi kepentingan eksplorasi adalah informasi dari kegiatan inventarisasi bagi potensi sumber daya alam seperti minyak/gas bumi, mineral, air, hutan dan sebagainya. Informasi untuk kepentingan pemantauan antara lain adalah pemantauan kondisi sumber alam dan lingkungan seperti pemantauan banjir, perubahan kawasan pesisir, pemantauan kekeringan lahan, pemantauan sedimen, pengkajian penurunan kemampuan lahan, pemantauan pencemaran, pemantauan logging, prediksi panen padi analisis penggunaan lahan dan sebagainya. Informasi tersebut dapat diperoleh dari data satelit seperti Landsat, SPOT, IRS, ERS dan sebagainya.

Dari sisi jenis aplikasi, peluang bisnis informasi penginderaan jauh secara global didominasi oleh pemanfaatan untuk tata guna lahan, militer, pertanian, kehutanan, pertambangan dan perikanan (*aquaculture*) informasi dari data satelit resolusi tinggi seperti Ikonos, Quick Birds dan Orbview bagi berbagai bidang strategis seperti telekomunikasi (pemasangan tower telepon selular, penentuan jaringan komunikasi), assets appraisal, penegakan hukum dan sebagainya yang kesemuanya merupakan aplikasi yang menjanjikan dan menantang.

Program otonomi daerah sangat memerlukan seluruh jenis informasi seperti tersebut di atas yaitu informasi dasar, informasi tentang potensi sumber daya alam dan informasi tentang perubahan kondisi sumber daya alam. Informasi tersebut antara lain misalnya tentang potensi kewilayahan yang dengan cepat dapat diturunkan dari data satelit dan dengan proses pemodelan SIG. Ketersediaan informasi tentang potensi sumber daya alam di daerah relatif masih

kurang dan belum memadai. Maka keberadaan data satelit penginderaan jauh sangat dibutuhkan untuk menurunkan informasi yang dibutuhkan.

Kebutuhan daerah terhadap informasi tersebut diperlukan untuk mendukung penyegeeraan pelaksanaan otonomi daerah di daerah tingkat II sehingga membuka peluang bisnis bagi pihak swasta yang bergerak dibidang pelayanan jasa penginderaan jauh. Selain itu, karena pada umumnya staf di daerah masih kurang dalam jumlah dan kualitas maka pelatihan penginderaan jauh dan SIG merupakan peluang yang cukup baik dan dapat dijadikan sebagai sarana pemasaran.

Bagi Indonesia, pemantauan sumber daya alam dan lingkungan, pemantauan kekeringan dan pemantauan kebakaran hutan sebaiknya diserahkan kepada instansi pemerintah pusat sedangkan untuk keperluan zonasi, tata ruang, perencanaan pengembangan wilayah/kota, inventarisasi potensi sumber alam daerah sebaiknya diserahkan kepada pemerintah daerah bekerjasama dengan sektor swasta sehingga pengembangan industri penginderaan jauh di Indonesia dapat membangun kompetensi dibidang pelayanan jasa penginderaan jauh di Indonesia dan pada waktunya nanti akan dapat bersaing di tingkat internasional.

Peluang-peluang tersebut di atas belumlah berarti apa-apa jika belum dapat direalisasikan. Untuk mencapai peluang tersebut diperlukan suatu strategi kemitraan antara sektor swasta dan pemerintah sehingga dapat dihasilkan *multiplier effect* dari data satelit penginderaan jauh dan dari berbagai hasil penelitian dan pengembangan teknologi serta pemanfaatan penginderaan jauh.

Pengembangan kemitraan juga diperlukan di tingkat provinsi dan daerah tingkat II baik antar daerah tingkat II dalam satu provinsi atau berbeda provinsi ataupun kemitraan antar provinsi dan kemitraan antar instansi pemerintah pusat dengan instansi pemerintah daerah. Kemitraan tersebut membuka peluang pengembangan kemampuan penginderaan jauh nasional baik pada instansi pemerintah maupun swasta.

## Penutup

- Penginderaan jauh telah sukses membuktikan kemanfaatannya dalam penyajian informasi untuk kepentingan inventarisasi, pemantauan kondisi sumber daya alam dan lingkungan. Di berbagai negara, penginderaan jauh telah menjadi industri yang memasuki taraf mature sementara di beberapa negara berkembang seperti Indonesia, penginderaan jauh baru mulai memasuki tahap operasi menuju ke tahap industri.
- Penginderaan jauh telah menjadi alat yang strategis dan efektif guna menyajikan informasi sumber daya alam dan lingkungan untuk mendukung kebijakan politik dan pembangunan ekonomi seperti pelaksanaan otonomi daerah dan sebagainya
- Perkembangan kemampuan satelit penginderaan jauh membuka peluang bisnis untuk berbagai bidang antara lain pada ruas antariksa (pembangunan satelit, pembuatan sensor), ruas bumi (pembangunan stasiun bumi), ruas pengguna (H/W, S/W, data, informasi, SIG dan pelatihan)
- Peluang bisnis pemanfaatan data penginderaan jauh di Indonesia sangat dimungkinkan khususnya dengan diberlakukannya otonomi daerah.
- Perlu dibangun kemitraan swasta-pemerintah, instansi pusat dan daerah sehingga dapat memperoleh *multiplier effect* dari data penginderaan jauh yang diterima stasiun bumi dan kegiatan penelitian pemanfaatan penginderaan jauh menjadi operasional sehingga pada saatnya membangun kompetensi penginderaan jauh nasional yang mampu bersaing dalam mencari peluang pelayanan penginderaan jauh di tingkat internasional.

### 3.4. Pelatihan dan Kerja Sama Penelitian Sebagai Strategi Pengembangan Usaha Jasa Penginderaan Jauh

#### Pendahuluan

**B**aik bagi negara industri maupun negara berkembang, eksploitasi dan manajemen sumber daya alam, perencanaan pengembangan perkotaan dan wilayah serta pemantauan lingkungan merupakan tantangan yang mempunyai keterkaitan dengan sektor ekonomi dan faktor ekologi. Keberadaan sumber daya alam yang berlimpah bagi negara seperti Indonesia diantaranya hutan tropis, minyak, gas bumi, barang mineral dan tambang, sumber daya alam serta biota laut dan sebagainya tentu merupakan modal dasar dan faktor yang sangat dominan bagi pelaksanaan pembangunan ekonomi nasional. Namun keberadaan sumber daya alam tersebut tidaklah tak terbatas.

Eksplorasi yang berlebihan tidak hanya merusak sumber daya alam itu sendiri tetapi mengganggu keharmonisan lingkungan dan bahkan dapat mempengaruhi kualitas sumber daya alam lainnya. Di beberapa tempat saat ini banyak dijumpai sumber daya alam yang mengalami kerusakan yang cukup hebat. Satu diantaranya diakibatkan oleh terjadinya kebakaran hutan pada 1997 yang menghanguskan lebih dari 1 juta hektar hutan di Sumatera dan Kalimantan.

Sumber alam lainnya juga mengalami degradasi kualitas dan kuantitas sumber daya termasuk lingkungan sekitarnya seperti yang terjadi pada beberapa kasus antara lain eksploitasi PT. Freeport di Irian Jaya dan PT. Indorayon disekitar kawasan danau Toba Sumatera utara. Selain itu dengan suasana politik saat ini dimana banyak tuntutan dari pemerintah daerah tentang masalah kewenangan otonomi bagi daerah dalam pengurusan dan pengelolaan sumber daya di daerahnya akan membuka peluang yang lebih besar terjadinya degradasi sumber daya alam dan lingkungan. Oleh karena itu diperlukan teknologi yang dapat menyajikan informasi tentang kondisi sumber daya alam dan lingkungan secara periodik dan

berkesinambungan sehingga perubahan kondisi sumber daya alam dapat diikuti dan dampaknya dapat diprediksi secara cermat dan akurat. Para pengambil Keputusan dan pengusaha makin membutuhkan informasi tentang kondisi sumber daya alam dan lingkungan yang dapat disajikan secara tepat waktu, komprehensif dan akurat.

Teknologi penginderaan jauh khususnya penginderaan jauh dari satelit terbukti merupakan sumber informasi yang efektif dan efisien. Teknologi tersebut sangat cocok dan sesuai untuk melakukan kegiatan inventarisasi dan pemantauan sumber daya alam, pembuatan peta rupa bumi dan peta tematik, pengembangan sistem informasi geografi dan pengembangan sistem pemantauan serta sistem alarm/peringatan dini bencana dan sebagainya.

Kebutuhan informasi yang demikian membawa implikasi terhadap kebutuhan SDM yang dapat menyajikan informasi tentang kondisi sumber daya alam dan lingkungan sesuai dengan kebutuhan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan pendidikan dan pelatihan profesi dalam bidang informasi khususnya yang terkait dengan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis dari tingkat dasar sampai tingkat mahir.

#### Peran Lapan dalam Pengembangan Pemanfaatan Penginderaan Jauh.

Penyelenggara Pelatihan Penginderaan Jauh dan SIG serta Kerja Sama Penelitian.

Lapan telah aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan di bidang pemanfaatan teknologi kedirgantaraan seperti komunikasi, navigasi, penginderaan jauh dan sebagainya. Di bidang penginderaan jauh Lapan mempunyai tugas penelitian dan pengembangan teknologi dan pemanfaatan serta sebagai bank data penginderaan jauh nasional.

Sebagai bank data Lapan dipercaya pemerintah untuk mengoperasikan stasiun bumi satelit lingkungan dan cuaca yang berlokasi di Biak dan Jakarta serta stasiun bumi penginderaan jauh yang berlokasi di Pare-Pare. Stasiun bumi tersebut dapat menerima, merekam, mengolah data GMS, NOAA, Landsat-5 dan 7, SPOT, ERS dan JERS-1. Data satelit lingkungan dan cuaca dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan pemantauan lingkungan dan cuaca seperti pemantauan titik api sebagai indikator kebakaran hutan atau lahan, pemantauan kekeringan, pemantauan perubahan iklim

global, pemantauan dan distribusi suhu permukaan laut sebagai salah satu parameter untuk memantau kawasan penangkapan ikan (fishing ground). Sedangkan data Landsat, SPOT, ERS dan JERS-1 dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan perencanaan dan pengembangan wilayah inventarisasi potensi sumber daya alam seperti hutan, pertambangan, pemantauan luas panen padi dan sebagainya.

Kegiatan pelatihan dan kerja sama penelitian sudah dilaksanakan Lapan sejak Lembaga ini mengoperasikan stasiun bumi satelit sumber alam tahun 1984. Pelatihan yang dilakukan pada saat ini adalah pelatihan pemanfaatan data MSS Landsat-4 dan 5. Pelatihan yang dilakukan adalah pelatihan penginderaan jauh untuk dinas perikanan NTB, Sumatera Utara, Pelatihan penginderaan jauh bekerja sama dengan BPPT dan SPOT Image, pelatihan penginderaan jauh untuk pemanfaatan data satelit penginderaan jauh bagi keperluan penyiapan lahan transmigrasi bekerjasama dengan Departemen Transmigrasi dan Perambah Hutan.

Sejak tahun anggaran 1997/1998, pelatihan penginderaan jauh di Lapan telah mulai dilakukan secara terstruktur. Pada tahun anggaran tersebut, Lapan bekerjasama dengan BPPT dan Dep Hankam telah melaksanakan pelatihan penginderaan jauh untuk kepentingan pertahanan dan keamanan. Pelatihan dilakukan dalam 2 angkatan bagi perwira dari berbagai angkatan dalam tubuh TNI dan Polri. Selain itu, Lapan bekerjasama dengan Departemen Kehutanan telah melakukan pelatihan pemanfaatan data penginderaan jauh khususnya data radar untuk pemanfaatan di sektor kehutanan. Pelatihan diikuti oleh para pegawai dari dinas kehutanan berbagai daerah di Indonesia.

Pada tahun 1998/1999, LAPAN bekerjasama dengan Kedepatian Analisis Sistem BPPT mencoba merintis pengembangan strategi penetrasi pengguna melalui pelatihan dan magang secara lebih terstruktur. Pelatihan model ini semula hanya ditujukan untuk para mahasiswa dan pegawai dinas namun pesertanya kemudian dikembangkan yaitu dengan memasukkan peserta dari kalangan swasta.

Digabungkannya peserta dengan berbagai latar belakang ini dimaksudkan dalam rangka pengembangan kemitraan antara Lapan dengan pengguna secara lebih luas. Pelatihan ditindaklanjuti dengan program "magang" bagi para alumni dan mahasiswa S-1 yang tengah menyelesaikan skripsi. Model pelatihan ini kini terus berkembang dan telah didukung oleh dana APBN. Oleh Deputi Ketua Lapan Bidang Penginderaan

Jauh, kegiatan ini ditawarkan ke Departemen Tenaga Kerja untuk pengembangan keahlian SDM Indonesia dibidang survei dan pemetaan sehingga diharapkan dapat menggantikan tenaga asing yang bekerja dibidang tersebut.

Untuk keperluan tersebut sejak tahun anggaran 1998/1999, Lapan menerima anggaran DIKS Depnaker. Manfaat lain dari kegiatan tersebut bagi Lapan adalah semakin dikenalnya program litbang penginderaan jauh Lapan dan adanya kontrak kerja riset dari berbagai instansi peserta pelatihan. Sekarang pelatihan penginderaan jauh ini menjadi salah satu produk jasa pelayanan pada pengguna dan masyarakat.

Selain pelatihan yang dilakukan dalam rangka optimalisasi pemanfaatan data penginderaan jauh, Lapan juga mengembangkan kerjasama penelitian dengan berbagai instansi terkait antara lain :

- Kerja sama penelitian pemanfaatan data JERS-1 untuk pertanian bekerja sama dengan NASDA Jepang yang melibatkan Pusat Penelitian Agroklimatologi Departemen Pertanian (PUSLITANAK). Dari kerjasama tersebut kedua instansi mendapat berbagai keuntungan antara lain bantuan peralatan dan pelatihan di dalam dan di luar negeri (AIT Thailand) bagi 3 orang peneliti Lapan dan Puslitanak Deptan. Kerjasama penelitian akan berakhir pada tahun anggaran 2001 dan akan dievaluasi untuk pengembangan aplikasi lainnya dan melibatkan pengguna yang lebih banyak. Dengan melibatkan secara aktif Puslitanak Deptan dalam kerjasama Lapan-NASDA, lembaga riset ini mendapat apresiasi positif dari pengguna. Di sisi lain akan memberi dorongan pada Puslitanak untuk melakukan pengembangan penginderaan jauh. Hal tersebut ditandai dengan dibentuknya Kelompok Penelitian Penginderaan Jauh dan semakin meningkatnya kegiatan pemanfaatan penginderaan jauh untuk menunjang sektor pertanian di Puslitanak.
- Pengembangan Lahan Pertanian dan Jaringan Irigasi di Provinsi NTB (kerjasama Kanwil PU-Lapan). Tujuan dari kegiatan ini adalah mengevaluasi potensi dan rencana pengembangan lahan pertanian di provinsi NTB. Lingkup kegiatan kerjasama terdiri dari kegiatan penyajian informasi berdasarkan data satelit penginderaan jauh dan sistem informasi geografis serta pengembangan kemampuan

SDM daerah melalui pelatihan pengolahan data satelit penginderaan jauh dan SIG. Dari kegiatan ini diperoleh peta potensi lahan pertanian provinsi NTB.

- Penyusunan Neraca Sumber Daya Alam (kerjasama Pemda Provinsi Kalsel-Lapan). Tujuan dari kegiatan ini adalah menyiapkan informasi Neraca Sumber Daya Alam Provinsi (NSDAP) untuk aspek mineral, hutan, lahan dan air. Tahap pertama dari kegiatan ini adalah dipetakannya NSDAP dan NSDASD untuk empat kabupaten. Dari kerjasama ini Lapan memperoleh kepercayaan untuk mengerjakan pemetaan pada kabupaten lain di Provinsi kalsel. Pada 2001 pekerjaan tersebut dilanjutkan untuk 10 daerah kabupaten dengan tiga aspek sumber daya yaitu mineral, hutan dan air.
- Penyajian informasi tutupan lahan (kerja sama BPN-Lapan). Kerja sama ini ditujukan untuk menyediakan informasi perubahan tutupan lahan guna mendukung peningkatan administrasi pertanahan nasional/daerah.
- Pembuatan Rencana Tata Ruang Wilayah (kerjasama Kabupaten Bangka-Lapan). Tujuan dari kerjasama ini adalah untuk menyediakan informasi yang diperlukan dalam pembuatan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Bangka.
- Pemetaan Terumbu Karang Indonesia (kerjasama LIPI-Lapan) Kerja sama ini telah memasuki tahun kedua yang direncanakan akan berakhir pada tahun 2001. Pada tahun anggaran 2000 telah selesai dipetakan terumbu karang di provinsi Nusa Tenggara Timur dan Provinsi Irian Jaya. Dari hasil kegiatan pemetaan ini dapat dilihat penyebaran dan kondisi terumbu karang di Indonesia. Informasi tersebut sangat penting untuk memperkirakan potensi ikan karang. Sampai dengan tahun kedua dari pelaksanaan kerjasama ini sudah hampir 70-80% terumbu karang Indonesia selesai dipetakan.
- Distribusi Informasi kawasan penangkapan ikan (kerjasama perusahaan swasta- Geoinfo dengan Lapan) Lapan dengan PT Geo Info merancang program pemantauan kawasan potensial penangkapan ikan yang diberi nama "sky fish". Dari kerja sama ini peran Lapan sebagai pengoperasi stasiun bumi satelit lingkungan dan cuaca serta penyuplai informasi suhu permukaan

an laut dan kawasan potensial penangkapan ikan (*fishing ground*) makin menonjol. Dari kegiatan *sky fish* telah dilakukan kerja sama dengan berbagai pemerintah daerah dan KUD di beberapa daerah di pulau Jawa. Manfaat dari operasi *sky fish* ini telah berhasil mendongkrak pendapatan daerah dari sektor perikanan. Kerja sama ini juga telah memberikan *multiplier effects* bagi Lapan karena daerah-daerah yang telah mengetahui peran dari data satelit penginderaan jauh berkeinginan untuk mendapat bantuan dari Lapan khususnya dalam perencanaan dan penataan penggunaan kawasan pesisir secara komprehensif dan terpadu.

## Penutup

Sesuai dengan tugas dan fungsi Lapan sebagai bank data penginderaan jauh nasional, pengembangan kemampuan teknologi dan pemanfaatan penginderaan jauh merupakan tanggung jawab Lapan.

Pengembangan dan pemanfaatan penginderaan jauh ini tidak hanya terbatas kepada pengembangan kemampuan yang dibutuhkan oleh Lapan saja tetapi juga merupakan kebutuhan berbagai pengguna di Indonesia.

Untuk keperluan tersebut, Lapan bekerja sama dengan berbagai instansi terkait telah menyelenggarakan berbagai pelatihan penginderaan jauh dan SIG untuk berbagai kepentingan. Antara lain pemanfaatan untuk kepentingan Hankamneg, pengelolaan sumber daya alam dan pemanfaatan lingkungan, pemanfaatan penginderaan jauh dan SIG untuk penentuan kesesuaian lahan bagi komoditas pertanian dan lahan perikanan budidaya (tambak).

Selain melalui kegiatan penelitian untuk pengembangan pemanfaatan penginderaan jauh, Lapan melakukan berbagai pendekatan kemitraan (kerja sama) penelitian.

Dari kedua kegiatan tersebut banyak manfaat yang diperoleh Lapan seperti makin meningkatnya pemanfaatan data penginderaan jauh produksi Lapan, makin berkembangnya kontrak riset dengan berbagai daerah, makin berkembangnya penelitian pengembangan model aplikasi dan juga makin meningkatnya apresiasi masyarakat terhadap Lapan sehingga pelatihan dan kerjasama dapat dijadikan sebagai model pengembangan usaha jasa penginderaan jauh.

# Bab IV.

## Pengembangan Litbang dan Rancang Bangun yang Berorientasi Kepada Kebutuhan

### 4.1 Revitalisasi Litbang Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dalam Memantapkan Pelayanan

#### Pendahuluan

Riset atau penelitian mengandung makna mencari jawab terhadap suatu fenomena atau gejala melalui suatu penyelidikan seksama yang berkelanjutan. Riset biasanya juga terkait dengan perubahan kemampuan dalam menghasilkan suatu produk yang dibutuhkan menjadi lebih unggul dengan proses yang lebih sederhana. Seperti riset yang dilakukan di bidang elektronik dan komputer telah menghasilkan kemampuan komputer yang lebih sederhana tetapi dengan kemampuan yang lebih tinggi. Kemajuan elektronik dan komputer merupakan realita yang membawa perkembangan pada sektor-sektor lainnya termasuk kemajuan dalam bidang teknologi antariksa khususnya teknologi satelit seperti satelit komunikasi, satelit navigasi dan posisi dan satelit penginderaan jauh. Saat ini teknologi satelit penginderaan jauh telah berkembang untuk memberikan data dengan ketelitian spasial yang sangat tinggi, setelah diluncurkan dan beroperasinya satelit Ikonos 2.

Satelit Ikonos 2 mempunyai resolusi spasial untuk pankromatik sebesar 1 meter dan resolusi spasial sensor multispektral sebesar 4 meter. Satelit dengan kemampuan serupa segera akan meluncur antara lain Orbview dan Quick Birds yang direncanakan akan diluncurkan tahun 2001. Generasi SPOT juga akan menghasilkan data dengan resolusi 2,5 meter

untuk pankromatik. Satelit yang membawa sensor SAR akan berkembang terus, yang semula kanal tunggal (L atau C) akan menjadi multi kanal dan multi polarimetrik. Kemajuan tersebut akan terus berkembang dan tentu saja akan membawa implikasi penyesuaian-penyesuaian kemampuan pada sisi pengguna seperti penyesuaian kemampuan teknologi ruas bumi (sistem penerima, perekam dan pengolah) dan ruas pengguna (pengembangan model operasional pemanfaatan). Penyesuaian tersebut dilakukan dalam rangka melayani kebutuhan pengguna yang juga semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi antariksa tersebut.

Teknologi penginderaan jauh telah lama dikenal di Indonesia yang secara langsung telah dapat menerima, merekam dan mengolah data satelit penginderaan jauh yang dimulai dari menerima, merekam dan mengolah data satelit lingkungan dan cuaca (NOAA dan GMS) kemudian menerima, merekam, mengolah dan melayani data Landsat TM, SPOT dan ERS. Saat ini Indonesia telah mampu pula menerima, merekam, mengolah dan mendistribusikan data satelit Landsat 7.

Selain perubahan kemajuan teknologi satelit penginderaan jauh seperti tersebut di atas, terdapat pula realita baru antara lain pemerintahan yang berorientasi kepada hasil, keterbukaan, akuntabilitas publik, pemerintahan desentralisasi (otonomi daerah), krisis ekonomi yang berkepanjangan dan kerusakan lingkungan yang sangat memprihatinkan yang berakibat terjadinya bencana alam seperti tanah longsor dan banjir bandang di berbagai daerah di Indonesia.

Realita-realita tersebut menuntut penyesuaian-penyesuaian disegala bidang pembangunan termasuk pembangunan riset dan teknologi kedirgantaraan di LAPAN. Pembahasan berikut ini ditujukan untuk menjelaskan bagaimana Lapan menyikapi perubahan-perubahan tersebut khususnya dalam kaitan dengan

penelitian, pengembangan dan pembangunan teknologi penginderaan jauh dan pemanfaatannya di Lapan.

## Penelitian dan Pengembangan Teknologi Penginderaan Jauh Lapan

Kebijakan penelitian dalam bidang penginderaan jauh diarahkan dalam rangka mengantisipasi pemenuhan kebutuhan pengguna dan prioritas pembangunan seperti perencanaan pengembangan wilayah (otonomi daerah), pengelolaan sumber daya alam (pertanian seperti asesmen luas dan produksi panen, perikanan, kelautan), pengelolaan lingkungan dan mitigasi bencana (pemantauan kekeringan, pemantauan titik api/kebakaran hutan, banjir, longsor, perubahan ekstrim cuaca seperti La Nina dan El Nino). Penelitian tersebut diarahkan untuk bermitra dengan berbagai pengguna seperti untuk pertanian dan iklim bekerjasama dengan BPS, Deptan, BMG dan sebagainya. Selain penelitian aplikasi seperti tersebut di atas, Lapan juga melakukan penelitian dan pengembangan teknologi penginderaan jauh dan perekayasa produk/proses produksi.

Penelitian dan pengembangan penginderaan jauh diorientasikan untuk mendukung kegiatan pelayanan informasi baik yang bersifat antisipasi untuk mitigasi bencana maupun untuk pembangunan infrastruktur guna menunjang pelaksanaan otonomi daerah. Kegiatan penelitian tersebut antara lain pemantauan perubahan dinamika pantai, perubahan posisi ITCZ, pemantauan kekeringan lahan, pemantauan luas panen lahan padi, pemantauan titik api sebagai indikator kebakaran hutan, inventarisasi tata guna hutan, penelitian dan pengembangan model evaluasi lahan untuk perencanaan pengembangan wilayah dan sebagainya. Namun dengan terjadinya perubahan tugas dan fungsi Lapan berdasarkan Keppres Nomor 16 tahun 2000 tentang Lembaga Non Departemen, tugas dan fungsi penginderaan jauh Lapan mengalami perubahan pula antara lain :

- Pengkajian dan penyusunan kebijakan nasional dibidang penelitian dan pengembangan penginderaan jauh serta pemanfaatnya
- Koordinasi kegiatan fungsional dalam bidang penginderaan jauh
- Pemantauan, pemberian bimbingan dan pembinaan terhadap kegiatan instansi pemerintah dibidang penginderaan jauh dan pemanfaatannya

- Kerjasama dengan instansi terkait di tingkat nasional dan internasional
- Penelitian, pengembangan, pemanfaatan penginderaan jauh, pengembangan bank data penginderaan jauh nasional dan pelayanannya.

Berdasarkan Keppres Nomor 16 tahun 2000, tugas dan fungsi Lapan menekankan kepada pemanfaatan berdasarkan kebutuhan masyarakat dan pasar serta stakeholders (masyarakat umum, masyarakat ilmiah, pengguna khusus dan pemerintah) dan merupakan refleksi keinginan Lapan untuk memberikan kontribusi yang lebih nyata. Kemampuan pelayanan atau memberikan kontribusi yang lebih nyata merupakan parameter atau indikator akuntabilitas lembaga seperti yang dituntut oleh pemerintahan saat ini yang berorientasi kepada hasil yang mampu diberikan kembali secara langsung atau tak langsung kepada masyarakat atau rakyat.

## Pelayanan Sebagai Pijakan Kegiatan Penelitian dan Pengembangan

Visi, misi dan strategi dalam kaitannya dengan pembangunan teknologi penginderaan jauh di Lapan telah tercantum dalam rencana strategis pembangunan kedirgantaraan nasional Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan).

### Visi Penginderaan Jauh Lapan

Mengoptimalkan hasil kemajuan teknologi penginderaan jauh untuk menjadikan Lapan sebagai tulang punggung produksi informasi penginderaan jauh untuk pemantauan dan inventarisasi sumber daya alam dan lingkungan.

### Misi Penginderaan Jauh Lapan

Meningkatkan pelayanan produk dan jasa penginderaan jauh yang memberikan manfaat dan dampak bagi kesejahteraan bangsa dan berlangsungnya pembangunan kedirgantaraan yang berkelanjutan. Untuk itu Lapan akan :

- Mengoptimalkan hasil kemajuan teknologi penginderaan jauh untuk memperoleh data dan informasi sumber daya alam dan lingkungan yang dapat dimanfaatkan oleh pihak pemerintah, swasta dan masyarakat umum.
- Mengembangkan model dan metode pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk

mendukung kesinambungan pemanfaatan dan pendayagunaannya untuk keperluan peringatan dini dampak perubahan lingkungan dan kondisi sumber daya alam nasional serta mengurangi ketergantungan terhadap pihak luar.

- Meningkatkan penguasaan ruas bumi, ruas antariksa dan ruang pengguna
- Meningkatkan pengkajian aspek-aspek bisnis penginderaan jauh dan legalitasnya
- Meningkatkan *networking* dengan instansi terkait di dalam dan luar negeri melalui pengembangan kemnitraan dalam bidang operasi, perawatan dan litbang
- Mengembangkan sumberdaya manusia, sarana dan prasarana untuk meningkatkan kinerja penginderaan jauh Lapan
- Pemasyarakatan dan diseminasi hasil litbang penginderaan jauh Lapan untuk mendorong tumbuhnya industri jasa penginderaan jauh nasional.

Pernyataan pada visi dan misi masih sangat bersifat simbolis. Apa ukuran dari kesejahteraan masyarakat dan kelestarian lingkungan? Apa indikator penilaian ukuran keberhasilan pemanfaatan? Bagaimana rumusan yang lebih aktual terhadap kesinambungan pemanfaatan dan pendayagunaan teknologi penginderaan jauh. Bagaimana mengoptimalkan hasil yang telah dicapai dari kemajuan teknologi penginderaan jauh? Untuk menjawab semua pertanyaan tersebut bukanlah merupakan hal yang mudah.

Untuk mencapai visi dan misi sebagaimana dirumuskan di atas, dengan anggaran pembangunan yang makin kecil, tuntutan yang besar dan berorientasi pada kebutuhan pasar serta tuntutan ukuran kinerja dan hasil, diperlukan tujuan strategis yang dapat memberi arah yang hendak dicapai dalam jangka waktu yang konsisten dengan misi sehingga misi menjadi mungkin (*mission possible*). Oleh karena itu perlu penyesuaian agar peluang menjalankan misi dan tercapainya misi lebih besar sehingga dapat lebih memberi arah, peran dan kontribusi Lapan dalam pembangunan penginderaan jauh nasional. Misi tersebut di atas dapat diikuti dengan tujuan strategis : *Meningkatnya pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk berbagai bidang atau sektor pembangunan dengan didukung oleh strategi :*

- Optimasi penelitian dan pengembangan (litbang) dalam rangka menjamin kualitas pemanfaatan.

- Pengembangan sistem informasi dan media massa sebagai sarana antara interaksi dengan pengguna.
- Pemantapan pembangunan teknologi penginderaan jauh untuk menjamin kontinuitas pemanfaatan.

## 1. Pengembangan Pelayanan dalam Rangka Optimasi Litbang

Agar penilaian terhadap upaya dan usaha yang dilakukan Lapan melalui berbagai kegiatan, khususnya kegiatan dan program "litbang" dilaksanakan secara objektif dan transparan maka perlu parameter dan indikator "pemanfaatan" agar penilaian subjektif atau tidak adil dapat dihindari. Parameter dan indikator keberhasilan pemanfaatan dapat merupakan acuan penilaian akuntabilitas terhadap kinerja Lapan dalam bidang penginderaan jauh.

Salah satu parameter yang dapat dijadikan sebagai ukuran pemanfaatan dan optimalitas kemajuan hasil litbang penginderaan jauh adalah "pelayanan" dan sebagai indikator keberhasilan dari pelayanan adalah banyaknya atau besarnya manfaat yang dapat dirasakan masyarakat/pemerintah dan kepuasan pengguna (masyarakat dan pemerintah). Dipilihnya pelayanan sebagai parameter ukuran keberhasilan kegiatan litbang mempunyai berbagai alasan rasional antara lain berdasarkan pengalaman negara lain seperti USA dan Ruasia yang pada masa perang dingin kedua negara adikuasa tersebut, penelitian dan pengembangan teknologinya lebih berorientasi kepada kepentingan persaingan militer atau persenjataan tempur maka kedua negara tersebut mengalami kesulitan ekonomi bahkan Rusia mengalami kebrangkrutan atau dengan kata lain bahwa pemanfaatan yang kurang mampu mengakomodasikan kepentingan seluruh elemen masyarakat seperti masyarakat pengguna sipil akan menyebabkan penempatan sumber daya SDM secara ekonomi tidak produktif atau bahkan kontra produktif.

China yang sebelumnya merupakan negara tertutup kini mengarahkan litbang untuk kepentingan mendukung pengembangan industri yang berorientasi kepada kebutuhan pasar dan hasilnya dapat dilihat saat ini banyak produksi Cina masuk ke pasar internasional. Oleh karena itu Lapan perlu melanjutkan dan memantapkan orientasi kegiatan penelitian dan pengembangan dengan berorientasi kepada pelayanan



kepada pelayanan kebutuhan pengguna tidak hanya sekedar melakukan kegiatan penelitian yang tidak mempunyai muaranya atau hanya sekedar mencetak fungsional peneliti saja. Terlalu besar beban belanja pemerintah jika hanya melakukan hal demikian saja.

Konsekuensi dari penetapan pelayanan sebagai ukuran kinerja pemanfaatan dan kepuasan pengguna sebagai indikasi keberhasilan pelayanan memberi peluang LAPAN untuk secara terus menerus menselaraskan (sinkronisasi) kegiatan litbang penginderaan jauh dengan kebutuhan dan manfaat yang dapat disumbangkan kepada masyarakat dan pemerintah atau dengan kata lain LAPAN akan secara terus menerus melakukan perbaikan atau perubahan yang baik (continuous improvement atau kaizen) dalam penelitian dan pengembangan serta operasi pelayanan.

Tanpa adanya upaya sinkronisasi antara kegiatan litbang dan pelayanan kebutuhan pengguna maka kegiatan litbang dan pembangunan teknologi masih lebih bersifat simbolis. Sinkronisasi kegiatan litbang dengan kebutuhan dan manfaat bagi pengguna merupakan siklus (daur ulang) penelitian dan pengembangan yang bermula dari kebutuhan, proses litbang/produksi, keluaran (kemampuan teknis dan pelayanan LAPAN) dan umpan balik (manfaat dan kebutuhan baru) seperti tampak pada Gambar 6.

Sinkronisasi terhadap program, kegiatan penelitian dan pengembangan kemampuan LAPAN, khususnya sinkronisasi *long term goals* (sasaran jangka panjang) selain dapat menghubungkan dan menyesuaikan (*link & match*) kebutuhan pengguna diperlukan dengan mengembangkan inovasi yang didorong oleh kebutuhan pasar (pengguna) juga untuk mengisi kemungkinan terjadinya *time lack* atau *delay time* yang menyebabkan kesenjangan antara kegiatan litbang dan kebutuhan pengguna dan manfaat yang diharapkan. Namun *delay time* tersebut harus ada batasan waktunya jangan sampai berlarut-larut dan berkelanjutan tanpa batas waktu (*timeless*). Long term goals cukup sampai 25 tahun yang kemudian dibagi dalam tahapan-tahapan antara *intermediary goals*, misalnya sasaran lima tahun (sarlita) yang berfungsi untuk mengisi kesenjangan dengan menghasilkan *intermediary products* (produk antara) yang dapat dimanfaatkan dalam mencapai *long term goals* dan

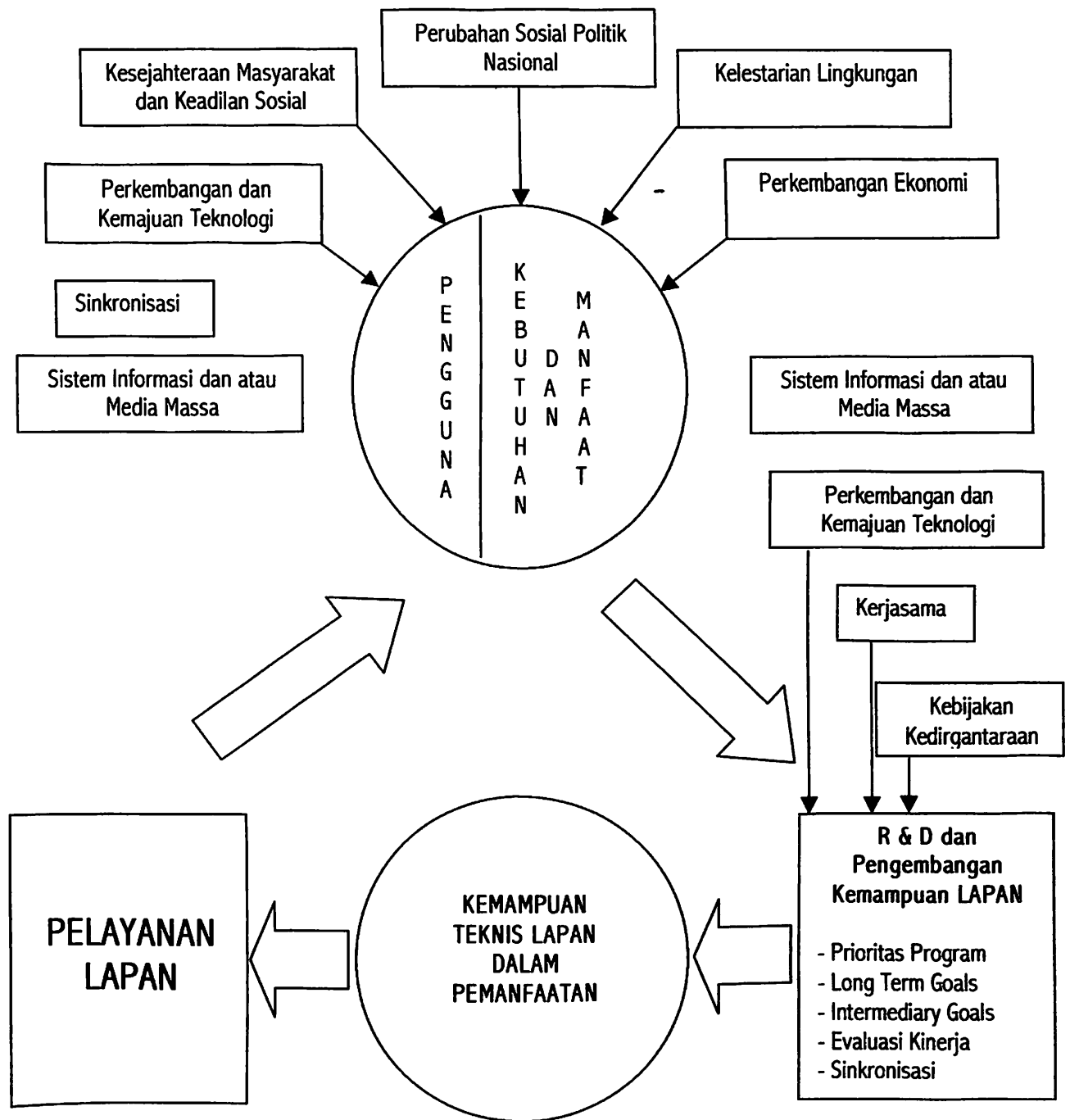
*intermediary goals* tersebut sebagai acuan untuk penyusunan program tahunan.

Dalam gambar 1 pembangunan teknologi penginderaan jauh memberikan manfaatnya jika dapat dirasakan secara langsung atau tak langsung oleh pengguna. Kompetensi pelayanan yang mampu bersaing dan berorientasi kepada kebutuhan pengguna dapat mendorong instansi penyedia jasa pelayanan untuk dapat lebih bertanggung jawab terhadap pengguna melalui pembinaan SDM, pengembangan inovasi dan mendorong pengguna untuk tetap komit dalam mendukung program litbang dan kegiatan instansi, dan prestasi pelayanan membawa implikasi keadilan dalam penghargaan pengguna terhadap instansi penyedia pelayanan sehingga memberikan dorongan untuk lebih meningkatkan penelitian dan pengembangan dalam mencapai kemajuan.

Selain hal tersebut di atas, hal yang perlu diingat dalam pengembangan kegiatan litbang adalah bahwa dana yang dikeluarkan untuk kegiatan tersebut adalah bukan merupakan bagian dari belanja pemerintah tapi merupakan investasi. Dana yang dikeluarkan sebagai investasi maka perlu diperhitungkan pengembalian atau hasil terhadap investasi tersebut (*return on investment* atau ROI) dan juga keuntungan sosial (*social benefit*) yang dapat dikonversikan sebagai pengembalian (hasil) terhadap modal yang telah dikeluarkan. Jadi jelasnya bahwa dana penelitian yang dikeluarkan adalah dalam rangka pembiayaan hasil bukan pembiayaan terhadap input belaka. Tanpa adanya kemauan untuk menyadari bahwa dana litbang dan operasional organisasi merupakan bagian dari investasi untuk mendapatkan hasil maka dapat dirasakan bahwa kegiatan litbang dan operasi tidak akan memperhatikan *achievement* prestasi atau kontribusi terhadap kepentingan pemerintah, masyarakat dan pengguna.

## 2. Pengembangan Sistem Informasi dan Media Massa

Pembangunan, pengembangan dan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh harus dapat dirumuskan LAPAN secara komprehensif dan terpadu



Gambar 6. Siklus Litbang Penginderaan Jauh

dengan berorientasi kepada kebutuhan pengguna yang dinamis dan dipengaruhi oleh perubahan sosial politik, pembangunan ekonomi, kelestarian lingkungan, kemajuan teknologi, kesejahteraan masyarakat, keadilan sosial dan sebagainya yang senantiasa bergerak sangat dinamis sehingga dapat memberi manfaat yang dapat diperoleh pengguna (masyarakat dan pemerintah) secara terus menerus berdasarkan

prioritas kebutuhan dan rencana jangka panjang dan menengah berdasarkan evaluasi kinerja secara obyektif serta terus menerus terhadap pelaksanaan kegiatan penelitian dan pelayanan. Untuk dapat mencapai hasil yang optimal dari rumusan pemanfaatan tersebut di atas maka diperlukan interaksi secara aktif dan intens dengan pengguna karena kebutuhan pengguna banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut diatas. Untuk

mendukung efektifitas hubungan antara LAPAN dan pengguna dalam menjalankan tugas penelitian dan pengembangan dibidang kedirgantaraan LAPAN baik dalam rangka untuk menyerap aspirasi/kebutuhan pengguna maupun untuk mensosialisasikan melalui pelayanan dari hasil-hasil yang telah dicapai. LAPAN diperlukan dukungan sistem informasi yang handal yang harus mampu mengakomodasikan kebutuhan informasi pengembangan dan pembangunan penginderaan jauh yang dibutuhkan pengguna tidak hanya yang ada di LAPAN saja tetapi juga kemampuan teknologi penginderaan jauh nasional.

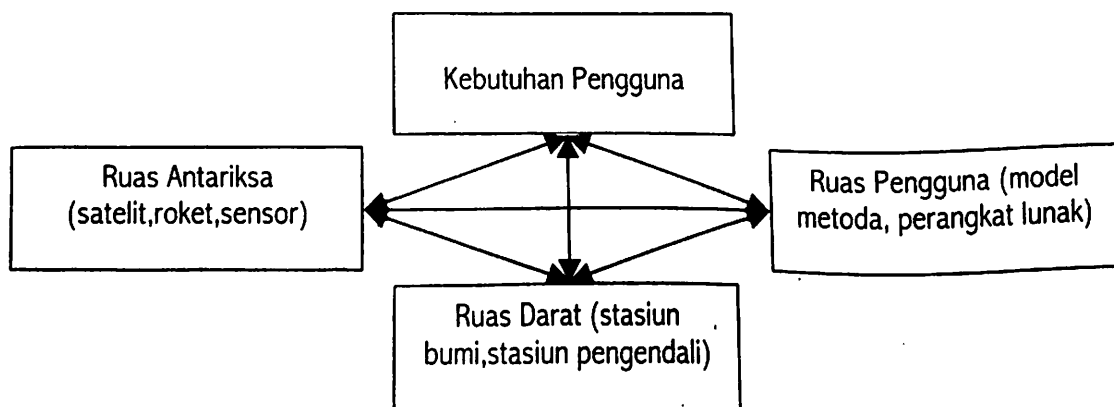
Selain sistem informasi yang diperlukan dalam mendukung fungsi pelayanan, media massa mempunyai peran penting dalam pemasyarakatan atau sosialisasi teknologi penginderaan jauh dan pemanfaatannya, hasil-hasil kegiatan litbang khususnya yang terkait langsung dengan kepentingan masyarakat umum seperti pemantauan lingkungan, inventarisasi sumber daya alam, pemantauan perubahan iklim, kemungkinan terjadinya bencana (banjir dan longsor) sehingga dapat menjadi pertimbangan sebagai informasi untuk peringatan dini dalam antisipasi terjadinya bencana atau kerusakan lingkungan dan sumberdaya alam. Dengan media massa, masyarakat dapat menyadari atau memahami dan mengerti terhadap informasi yang dapat disajikan oleh kemajuan teknologi penginderaan jauh sehingga mereka mau mengikuti apa yang direkomendasikan dari hasil pengamatan melalui teknologi antariksa khususnya teknologi penginderaan jauh.

### 3. Pengembangan Kompetensi Teknis dalam Rangka Pengembangan dan Pembangunan Teknologi Penginderaan Jauh

Pengembangan dan pembangunan teknologi kedirgantaraan secara sistematis dapat diklasifikasikan ke dalam pembangunan ruas antariksa (roket, satelit, sensor), ruas bumi (stasiun bumi, stasiun pengendali, perangkat lunak, sensor) dan ruas pengguna (model, metoda dan pelayanan) yang berkaitan satu sama lain dengan kebutuhan pengguna sebagai *spin off* atau *trigger* pengembangan. Kebijakan pengembangan dan pembangunan teknologi penginderaan jauh di LAPAN harus berdasarkan kebutuhan pengguna. Oleh karena itu bisa dilakukan secara simultan pada ruas antariksa, ruas bumi dan ruas pengguna. (lihat Gambar 7)

Untuk ruas antariksa mungkin sulit bagi LAPAN untuk mengejar ketinggalan jika hanya mengandalkan kegiatan penelitian sendiri, perlu upaya mendukung kearah penguasaan teknologi ruas antariksa seperti kemitraan dan jaringan kerjasama nasional dan internasional dan juga perlu dana yang besar.

Penelitian dan pengembangan teknologi penginderaan jauh sebaiknya lebih dititik beratkan kepada penguasaan teknologi ruas darat dan ruas pengguna untuk mengejar kemandirian dan pelayanan pengguna. Sedangkan pengembangan ruas antariksa melalui penelitian dan pengembangan dilaksanakan untuk mendukung dan mengukuhkan kompetensi pelayanan kepada masyarakat dan pemerintah. Mulai saat ini pengembangan ruas antariksa sebaiknya sudah memikirkan pengembangan dan penguasaan teknologi sensor dan satelit seperti satelit telekomunikasi dan meteorologi atau penginderaan jauh.



Gambar 7. Ruas Teknologi Penginderaan Jauh

## 4. Pemantapan Administrasi dan Aspek Legal

Seperti disebutkan di atas bahwa kinerja dan akuntabilitas instansi pemerintah diukur berdasarkan prestasi dan hasil kegiatan yang secara langsung atau tidak langsung dapat dirasakan oleh pemerintah atau masyarakat melalui kemampuan pelayanan. Untuk mendapatkan prestasi atau hasil tersebut diperlukan dukungan administrasi yang handal dalam perencanaan, pelaksanaan dan evaluasi yang matang, mantap dan ketat, pemasyarakatan/promosi, dokumentasi kegiatan dan hasil penelitian serta kemitraan.

Yang lebih penting dari hal tersebut di atas dalam pemantapan administrasi adalah merubah sikap atau budaya instansi dari budaya birokrat menjadi budaya wirausaha yang memerlukan efisiensi, efektifitas, berorientasi kepada prestasi/hasil, berorientasi kepada kebutuhan pelanggan/pasar, antisipatif, persaingan dalam pelayanan dan sebagainya.

Untuk mencapai hal tersebut mustahil tanpa dukungan administrasi yang handal sejak mulai perencanaan, pelaksanaan, evaluasi dan sampai pelaporan yang berlangsung secara terus menerus dari terkait sehingga merupakan suatu proses iterasi, sama halnya dengan proses iterasi atau siklus dari penelitian dan pengembangan (gambar 1).

Kemantapan administrasi terkait dengan aturan yang berlaku termasuk tuntutan terobosan-terobosan seperti pengembangan tim-tim kerja yang dinamis yang multi fungsi sehingga dapat memberikan efisiensi, prestasi kerja dan peningkatan mutu hasil. Pelaksanaan kegiatan harus mulai lebih terbuka dalam rekrutmen personil yang terkait, jadi perlu lintas fungsional tidak terbatas pada sekat-sekat organisasi serta memerlukan SDM yang handal, integritas dan komitmen SDM terhadap visi dan misi organisasi.

Selain dukungan administrasi untuk peningkatan kinerja pemanfaatan hasil-hasil litbang dan pelayanan, diperlukan pula pemantapan administrasi yang dilandasi oleh kemantapan aspek legal yang berkaitan dengan peraturan atau regulasi. Regulasi adalah kebijakan administrasi umum (masyarakat) yang diusahakan atau diupayakan pemerintah untuk mengawasi perilaku individu (perorangan) warga negara, perusahaan atau lembaga pemerintah untuk melindungi kegiatan yang melibatkan kepentingan umum (masyarakat), pemerintah dan negara.

Regulasi biasanya cenderung terkait dengan aspek politik, ekonomi dan sosial. Regulasi bagi

lembaga pemerintah merupakan sistem-sistem atau kerangka kerja dalam rangka pelaksanaan tugas atau kegiatan yang senan-tiasa menjadi pedoman sehingga dapat menjamin tercapainya keserasian antara pelaksanaan penggunaan sumber daya milik pemerintah dan kebijakan yang terkandung dalam peraturan tersebut seperti efisiensi dan sebagainya. Oleh karena itu LAPAN sebagai lembaga pemerintah dalam melaksanakan semua kegiatan yang merupakan bagian tugas pemerintah termasuk kegiatan pelayanan kepada masyarakat, pengguna khusus dan pemerintah harus berdasarkan peraturan atau kebijakan yang berlaku.

Dalam kaitannya dengan pelayanan kepada masyarakat, LAPAN perlu segera memikirkan langkah-langkah strategis secara teknis kelembagaan atau legal sehingga dapat melindungi hasil produk litbang (HAKI) penginderaan jauh dan kualitas pelayanan. Hasil litbang penginderaan jauh tidak hanya sampai diterbitkan dalam jurnal ilmiah saja tapi lebih jauh harus dapat diuji orisinalitasnya sehingga dapat dilindungi hak kreatifitasnya.

Jumlah hasil litbang yang dapat dioperasikan dalam pelayanan dan merupakan penemuan orisinal yang dilindungi hukum (HAKI) dapat merupakan parameter atau indikator akuntabilitas lembaga. Pelayanan kepada masyarakat, pemerintah dan pengguna khusus terutama pengguna dari sektor swasta perlu didukung oleh kemampuan yang berkaitan dengan aspek legal agar tidak mengalami gugatan hukum karena ketidak mengertian terhadap aspek hukum yang terkait.

Pelayanan terhadap pengguna telah di atur oleh pemerintah dimana sebagai lembaga pemerintah, penghasilan yang diterima sebagai konsekuensi dari pelayanan harus dipertanggungjawabkan kepada pemerintah sebagai pendapatan negara bukan apajak. Besar dan kecilnya jumlah pendapatan bukan pajak yang dipertanggungjawabkan kepada pemerintah juga dapat menjadi indikator akuntabilitas lembaga.

Pada sesi pengembangan pelayanan dalam rangka optimasi litbang dikatakan bahwa indikator pelayanan dapat dilihat dari jumlah atau besarnya layanan langsung atau tidak langsung dan makin besarnya layanan yang diberikan oleh lembaga pemerintah maka lembaga tersebut dapat dikatakan memiliki peran dan kredibilitas dalam membantu pemerintah melaksanakan pembangunan, namun belum *accountable* jika belum melaksanakan peraturan yang terkait dengan peraturan pendapatan negara bukan pajak. Oleh karena itu LAPAN perlu juga

memperhatikan sejak dini pelaksanaan peraturan-peraturan yang terkait dengan pelayanan.

Keberhasilan LAPAN dalam beradaptasi terhadap perubahan-perubahan yang terjadi yang merupakan realita-realita baru baik dalam lingkup organisasi maupun nasional tidak dapat terlepas dari peran kemantapan administrasi dan kemantapan melaksanakan tugas sesuai dengan aspek legal (peraturan-peraturan) yang berlaku. Kemantapan operasional pelayanan dan administrasi dapat mendorong LAPAN untuk segera memulai memikirkan bisnis penginderaan jauh baik melalui UPT maupun Perjan.

## Penutup

Sebagai lembaga pemerintah non departemen LAPAN sedang menghadapi realita baru yaitu adanya tuntutan untuk memberikan pelayanan secara prima kepada pemerintah dan masyarakat, berorientasi kepada kinerja yang dapat dijadikan sebagai ukuran akuntabilitas lembaga, berorientasi pada kebutuhan pasar, pengawasan dan pengendalian serta pemantapan administrasi umum/pemerintah.

Berdasarkan realita tersebut, LAPAN perlu segera menyusun strategi atau merevitalisasi penginderaan jauh yang berorientasi kepada kebutuhan pengguna dalam rangka melanjutkan dan memantapkan operasi pelayanan pada pengguna. Untuk mendapatkan keserasian antara kegiatan litbang penginderaan jauh dengan kebutuhan pengguna tersebut diperlukan suatu siklus penelitian yang berkelanjutan, sinkronisasi dan perbaikan secara terus menerus untuk mendapatkan kualitas hasil yang diharapkan pengguna.

Siklus litbang penginderaan jauh LAPAN ditujukan dalam rangka peningkatan kemampuan LAPAN dalam memberikan pelayanan pada pengguna. Untuk mencapai hal tersebut diperlukan pula dukungan sistem informasi dan media massa, kemampuan penguasaan teknis dan administrasi khususnya yang berkaitan dengan administrasi pelayanan dan aspek legal yang terkait.

## 4.2. Efek Registrasi Tampilan Radar Terhadap Kohesi Interferometer SAR

Registrasi keakuratan pada pasangan tampilan gambar SAR (*synthetic aperture radar*) terpadu adalah salah satu faktor yang mempengaruhi interferometer SAR diantara banyak sistem parameter geometri SAR. Level akurasi registrasi dijelaskan sampai level kohesi pada pasangan tampilan gambar SAR. Ini diambil dari tingkat kohesi yang dalam akumulasi efek pada parameter-parameter lain seperti sistem satelit, orbit, dan kondisi udara. Dimana terhentinya pola gerak kesegala arah (tidak beraturan) disebabkan oleh obyek darat hasil topographi merupakan salah satu penghalang dalam perbaikan tingkat kohesi.

### Pendahuluan

SAR interferometer (InSAR) adalah teknik untuk menyadap informasi tiga dimensi pada permukaan bumi dengan memanfaatkan perbedaan fase informasi dari sepasang signal radar yang rumit. Ini merupakan sebuah kemajuan teknik geometri pada data radar, sebab ketepatan geometris dapat tergambar dalam panjang gelombang radar yang tepatnya tergantung pada rasio signal terhadap suara dan nomor tampilannya.

Implementasi dari interferometri SAR dengan menggunakan data satelit masih menemui beberapa hambatan terutama dalam memperoleh rangkaian data dari data radar yang rumit dengan perbedaan yang sangat pendek serta padat perolehan waktunya. Kita ketahui bahwa menjalankan sensor radar pada satelit dengan banyak saluran untuk saat ini masih tidak memungkinkan untuk menempatkan dua radar sensor dalam satu pesawat. Dengan demikian kemungkinan interferometer hanya terbatas pada sekali penggunaan dalam satu putaran orbit.

Akurasi interferometer SAR dengan beberapa kali orbit sangat tidak efektif dikarenakan berbagai faktor internal dan eksternal. Beberapa parameter yang memungkinkan menjadi efek bagi akurasi interferometer SAR, semuanya tergantung pada sistem satelit (sudut pasang, resolusi data ruang angkasa, sistem suara, dan fokusnya), orbit satelit (lintasan orbit

terhadap posisi *decorelasi geomentrinya, decorelasi sesaat*) dan ketinggian orbit (daya jelajah).

Di samping parameter-parameter tersebut, ada komponen-komponen lain yang ikut mempengaruhi, di antaranya arah polarisasi obyek yang terpencah, karakteristik permukaan, speckle, angin (perubahan arah angin), benda terhadap gradien (atau posisi sudut benda) dan awan. Akumulasi dari parameter-parameter tersebut akan mempengaruhi mutu gambar radar, terutama saat perbedaan waktu antara dua akuisisi yang cukup panjang untuk kasus ini, memerlukan sebuah teknik untuk mendata tampilan dengan demikian efeknya dapat diminimalisasi.

Dengan mempertimbangkan semua efek yang meyulitkan, pengukuran harus didahulukan untuk mempersiapkan interferometer yang dibutuhkan dalam hubungan tampilan SAR yang rumit. Pengukuran memperjelas tingkat kohesi dari pasangannya.

## Registrasi Kelompok pada Tampilan SAR

Gabungan data radar yang digunakan mempunyai perbedaan akuisisi waktu 18 hari. Data pertama telah terekam pada tanggal 23 Januari 1994 (sebagai master) dan data kedua terekam tanggal 10 Februari 1994 (slave). Periode rekaman Januari – Maret 1994 merupakan periode pengulangan orbit tersingkat untuk satelit ERS-1 yaitu hanya tiga hari dan sambungan di fase kedua (fase C). Lokasi dan obyek utama kedua bayangan SAR-SLC adalah gunung Merapi dan Merbabu di Jawa Tengah.

Pada kenyataannya periode terbesar pengulangan orbit menyebabkan akumulasi berbagai kesalahan, dengan demikian hal ini menjadi penyebab berkurangnya korelasi gabungan tampilan SAR yang digunakan. Namun demikian, untuk meminimalisasi kesalahan, proses pendataan gambar adalah dengan menampilkan dasarnya pada tes korelasi. Pendataan dimasukkan kedalam kedua tingkatan yaitu pendataan gambar dalam perintah "*pixel size*" dan pendataan gambar dalam perintah "*sub pixel size*" (ketelitian pendataan).

## Registrasi Tampilan SAR dalam Perintah Pixel Size

Pendataan ini dimaksudkan untuk meningkatkan hasil cetak dari ruang angkasa seoptimal mungkin untuk mentransfer satu gambar ke gambar lain dengan

demikian akan menghasilkan pendataan pasangan gambar oleh perintah *pixel size*. Hasil cetak ruang angkasa dikalkulasi dengan model transformasi *Quasi Affine* dari sebuah nomor pada referensi nilai pasangannya. Setiap pasangan referensi point, diperoleh dari korelasi tes pada pasangan tampilan (bayangan) terpadu dengan ukuran luas tes 16 x 16, 32 x 32 atau 64 x 64. Sebuah pasangan nilai dapat dijadikan referensi jika hasil tes korelasi dengan scanner memberikan nilai lebih tinggi diantara 256 nilai referensi di sekitarnya.

Model transformasi *Quasi Affine* dipilih dengan asumsi kedua orbit satelit hampir selalu paralel dengan demikian sudut pandang pada tiap pixel tidak akan berpengaruh banyak pada penggantian jarak nilai azimuthnya. Dalam kondisi sebenarnya kesalahan pendataan tampilan pada radar utamanya disebabkan oleh posisi translasinya.

## Registrasi Tampilan SAR dalam Perintah Menurut Ukuran Sub-Pixel

Pendataan tampilan SAR pada perintah menurut ukuran pixel tidak cukup baik untuk menghasilkan sebuah kohesi pasangan gambar, sebab masih mengandung kesalahan translasi dalam perintah sub pixelnya. Permintaan keakuratan pendataan mutlak diperlukan dalam inter-ferometer SAR. Sebab resolusi kemiripan tampilan radar jauh lebih besar daripada panjang gelombang radar. Dengan demikian proses translasi dievaluasi secara seksama, untuk memungkinkan menaikkan perintah sub pixel. Untuk memenuhi permintaan sebuah pendataan dalam perintah sub pixel adalah diputuskan dan diperlukannya pendataan yang seksama.

Teknik yang akan digunakan masih tetap berdasarkan pada tes korelasi pada pasangan tampilan SAR terpadu, dimana pengesanan selalu dikerjakan setelah tiap translasi gambar dan pengambilan contoh sebesar 1/16 pixel searah dengan jarak dan azimuthnya. Dengan jalan pendataan pasangan gambar akan menghasilkan level akurasi dengan 1/16 pixel searah jarak dan azimuthnya.

Realisasi proses tes korelasi pada pasangan tampilan terpadu dilakukan dengan frekuensi utama ruang angkasa dengan berdasar pada gerak maju dan mundurnya transformasi, ukuran gambar akan dijadikan sebagai contoh yang diperkecil ke 2048 x 2048 pixel.

Keuntungan kalkulasi yang berkorelasi pada pasangan tampilan SAR memberikan hasil yang maksimum ketika dalam translasi ukuran sub-pixel 0.000 pada arah sumbu X dan 0.063 pada arah sumbu Y. Dengan demikian sampai proses pengambilan contoh sub-pixel, pendataan hasil pasangan tampilan SAR terpadu sudah dihasilkan.

### Kohesi Tampilan SAR Terpadu

Fungsi normalisasi keuntungan kohesi pada pasangan gelombang elektromagnetis didefinisikan sebagai:

$$\gamma_{12}(T) = \frac{\Gamma_{12}(\tau)}{\{\Gamma_{11}(0) \Gamma_{22}(0)\}^{1/2}} \frac{\langle E_1(t+\tau) E_2^*(t) \rangle}{\{\langle |E_1|^2 \rangle \langle |E_2|^2 \rangle\}^{1/2}} \quad (1)$$

dimana  $\gamma_{12}$  adalah kohesi terpadu, untuk tampilan SAR terpadu, dimana medan elektrik telah diteliti, formulanya dapat ditulis:

$$\rho = \frac{|\langle C_1(t+\tau) C_2^*(t) \rangle|}{\{E\{C_1(t+\tau) C_1^*(t)\} E\{C_2(t+\tau) C_2^*(t)\}\}^{1/2}} = \frac{|E\{C_1 C_2^*\}|}{\{E\{C_1 C_1^*\} E\{C_2 C_2^*\}\}^{1/2}} \quad (2)$$

dimana :

- $\rho$  = Nilai kohesi pada gambar yang dinormalkan
- $C_1, C_2$  = Gambar SAR SLC 1 dan 2
- $E\{\}$  = Perkiraan statistik

Nilai statistik diambil dari nilai harapan korelasi itu sendiri dan korelasi silang diantara gambar. Karena jenis data SLC-SAR rumit, kohesi dihitung pada frekwensi ruang angkasa utama dengan menggunakan rambatan transformasi logaritma. Perhitungan memberikan tingkat kohesi pada tampilan pasangan gambar dengan jarak nilai antara 0 dan 1. Nilai 1 menunjukkan kohesi maksimum dan 0 tidak ada kohesi sama sekali. Nilai pertengahan menunjukkan potongan kohesi di antara dua gambar

Pendataan Tampilan SAR	Tampilan Pendataan SAR		Catatan
$\langle E(t+\tau) E_2^*(t) \rangle$	1.006455e + 9	9.625728e + 8	$\delta x = 0.000$
$[\langle  E_1 ^2 \rangle \langle  E_2 ^2 \rangle]^{1/2}$	1.925379e + 9	1.838003e + 9	$\delta x = 0.063$
$\rho$	0,522726	0,523706	

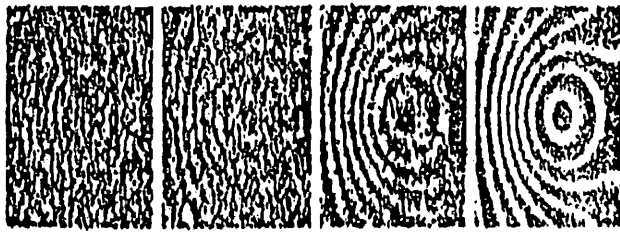
Tabel 9. Perbandingan nilai kohesi sebelum dan sesudah proses hasil pendataan pada pasangan gambar SAR-SL

Berdasarkan pada formula di atas dan setelah perhitungan kohesi gambar, memperoleh hasil seperti pada Tabel 9. Pada nilai tingkatan kohesi masih tetap jauh dari diharapkan, sebab masih kurang dari 0,6 seperti pola dibagian tepi dari proses interferogram tidak akan terlihat jelas/formasi yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa obyek telah berubah banyak diantara dua data akuisisi

### Diskusi

Setelah dibandingkan nilai kohesi yang diambil dari perhitungan dengan data yang dihasilkan oleh simulasi kohesi dan terlihat ditepi seperti ditunjukkan pada Gambar 8 (diambil dari presentasi kerjasama LAPAN-DLR pada bulan Oktober 1997 di Pekayon, Jakarta) ini sangat jelas terlihat dengan nilai kohesi pada 0.523706 tidak akan menghasilkan pola lingkaran yang berlanjut.

Ilustrasi pada gambar 8, menunjukkan bahwa dengan tampilan pada tepian yang terputus, beberapa rangkaian penghalang pada fase yang tidak terus menerus, akan menghambat proses selanjutnya.



$|\gamma| \approx 0.3$        $|\gamma| \approx 0.5$        $|\gamma| \approx 0.8$        $|\gamma| \approx 1.0$

Gambar 8. Nilai dan tepian yang terlihat dari proses simulasi DLR

Terputusnya fase merupakan rangkaian penutup membuat tidak konsistennya fase signal radar yang diambil dari kedua data SAR. Fase yang tersendat-sendat sangat dipengaruhi banyak faktor dari sistem satelit (sudut pasang, resolusi ruang, sistem suara, dan pemusatan cahaya). Aspek dari orbit satelit akan mempengaruhi pada hubungan (geometri, hubungan yang bersifat sementara dan perpindahan jarak). Salah satu rangkaiannya pada obyek akan diambil dari polarisasi obyek, karakteristik obyek, titik-titik pada fase yang tinggi, termasuk angin yang bergerak berpecah kebelakang, juga awan.

Dalam pengamatan, bagian-bagian obyek yang justru menyebabkan ketidak kohesian (terjadi perpecahan), kami menampilkan komposisi gambar master, slave, dan gambar kohesi. Tepatnya, disamping masalah registrasi gambar, untuk obyek yang tidak masuk peringkat dengan bermacam-macam sudut ketajaman, berbayang-bayang dan bertumpuk juga mengurangi nilai kohesi yang dihasilkan ini terlihat jelas pada komposisi warna.

Dengan menempatkan gambar kohesi dalam kanal merah, gambar master dalam kanal hijau, dan gambar penyerta pada kanal biru, ini jelas sekali terlihat bahwa distribusi obyek bertambah baik kedalam nilai kohesi. Wilayah dengan obyek utama seperti tumbuhan atau tumpukan jangan ditambahkan pada kohesi, tetapi penambahan bayang-bayang boleh. Meskipun ini bukan keadaan sebenarnya. Situasi ini tidak menguntungkan untuk wilayah yang tidak bertingkat.

Kenyataan banyak faktor yang dapat menyebabkan tidak konsistennya fase obyek dalam kedua gambar yang masuk, seleksi data harus teliti. Hanya dengan jalan ini, kesempatan untuk memperbaiki tingkat kohesi pada pasangan gambar dapat digunakan pada yang terbaik. Dari pengamatan selama dalam kondisi berhubungan dengan masalah diatas dapat ditemukan masalah pendataan gambar radar dan fase SAR yang terhenti dan pemecahan hal yang tidak logis.

Setelah mempertimbangkan setiap masalah diatas, hanya pilihan disebelah kiri untuk mengatasi semua halangan dengan memiliki pasangan data SAR-SLC dengan pengulangan pada periode yang paling singkat. Sebab secara langsung, sepasang data radar dari satu pesawat tidak dapat digunakan dengan demikian hal ini masih menambah kesalahan yang disebabkan oleh penggunaan sensor radar yang berbeda.

## Kesimpulan

Nilai kohesi pada pasangan gambar SAR-SLC untuk periode 18 hari dapat mencapai 0.523706. Sejauh ini lebih banyak akurasi pengamatan transparan, dimana nilai yang tidak tepat betul menampilkan obyek sebenarnya.

Ini disebabkan oleh faktor komponen dari fase ketajaman sudut yang berakibat pada obyek yang tidak bertingkat. Ini sungguh sangat efektif dengan karakteristik obyek dan polarisasi terutama untuk obyek tumbuh-tumbuhan, efek bertumpuk dan titik-titik bayangan.

Pendataan gambar yang seksama juga efek kohesi atau pada perubahan jarak, dengan demikian orbit satelit tidak paralel. Ini tekanan yang cukup berat pada asumsi bahwa disana hanya terjadi penempatan translasi.

Kondisi demikian akan membawa akibat yang semakin besar pada obyek disekitarnya dengan jangkauan yang cukup jauh. Kondisi ini berhubungan sangat dekat dengan kepentingan interferometer pada ERS-1 dimana jarak antara dua orbit harus lebih kecil dari 500 m.



## 4.3. Penerimaan Gelombang yang Berpolarisasi Lingkaran

Sistem-sistem komunikasi satelit mempunyai aneka macam perbedaan karakteristik pemancaran maupun penerimaan gelombangnya. Salah satu karakteristiknya adalah polarisasi gelombang yang dipakai. Biasanya polarisasi yang dipakai adalah polarisasi linier atau polarisasi lingkaran. Contoh sistem yang menggunakan polarisasi lingkaran adalah sistem komunikasi dengan satelit Intelsat V, sementara yang menggunakan polarisasi linier adalah sistem komunikasi dengan satelit Palapa.

Tulisan ini memaparkan akibat daya gelombang yang diterima oleh stasiun bumi berpolarisasi linier bila daya tersebut datang dari satelit dengan polarisasi lingkaran. Selain itu ada kemungkinan bahwa gelombang yang dipancarkan oleh sistem dengan polarisasi lingkaran dapat diterima oleh stasiun bumi dengan polarisasi linear. Tetapi hal ini tidak berarti bahwa kita dapat "menonton" acara dari sistem komunikasi (khususnya siaran TV) yang lain, sebab selain dari polarisasi ada perbedaan-perbedaan karakteristik dari sistem-sistem tersebut. Misalnya untuk siaran TV yaitu jumlah garis (*scanning line*), sistem warna yaitu NTSC, PAL atau SE-CAM. Pembicaraan tentang antena dengan polarisasi lingkaran juga dibatasi hanya membicarakan gelombang dengan polarisasi lingkaran sebagai resultan dari dua gelombang berpolarisasi linier yang saling tegak lurus. Jadi tidak dibicarakan antena yang berpolarisasi lingkaran karena bentuk geometrisnya seperti antena *helical*.

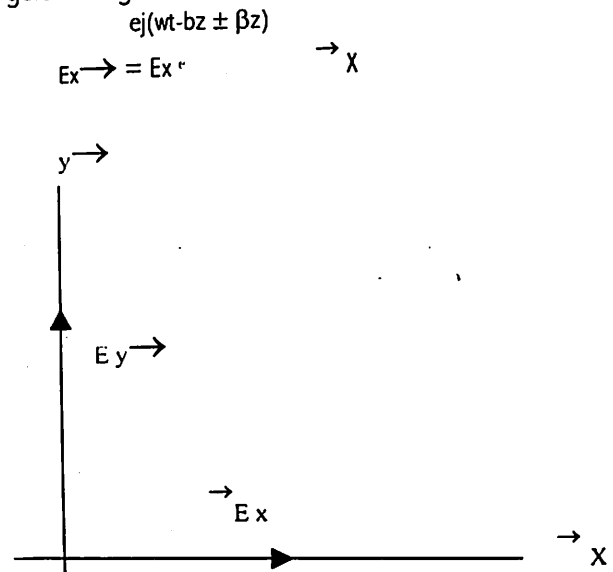
### 1. Antena dengan Polarisasi Linier

Pembicaraan di bawah ini berlaku untuk antena dengan polarisasi linier yang umum, jadi akan berlaku pula untuk antena stasiun bumi. Gelombang berpolarisasi lingkaran (kanan atau kiri) dapat diuraikan dalam komponen-komponen yang saling tegak lurus tetapi berbeda fasa  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ) yaitu:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= E_x \vec{x} + E_y \vec{y} \\ &= E_x e^{j(\omega t - \beta z)} \vec{x} + E_y e^{j(\omega t - \beta z \pm \pi/2)} \vec{y} \end{aligned}$$

dimana  $E_x = E_y$

Sedangkan tanda  $\pm$  menentukan arah putaran. Tanda + adalah untuk polarisasi lingkaran kiri, sedangkan - adalah sebaliknya. Bila E diterima oleh antena dengan polarisasi linier dimana sumbu x adalah arah polarisasinya, maka besarnya daya yang diterima pada gelombang:



adalah: Daya terima = *Average Poynting Vector* = SAVL (pada sumbu z)

$$\begin{aligned} &= \text{SAVL (pada sumbu z)} \\ &= 1/2 \text{Re}(\vec{E}_x \cdot \vec{H}_y) \vec{z} \\ &= 1/2 \text{Re}(E_x e^{j(\omega t - \beta z)} \cdot H_y e^{-j(\omega t - \beta z)}) \vec{z} \\ &= 1/2 \frac{E_x^2}{Z} \vec{z} \end{aligned}$$

dimana  $Z = \text{intrinsic impedance}$  dari lossless medium. Adapun daya gelombang yang diterima oleh antena dengan polarisasi lingkaran, dengan arah putaran sesuai dengan arah putaran polarisasi gelombang tersebut, adalah:

$$\text{SAVC} = 1/2 \frac{E_x^2 + E_y^2}{Z} \vec{z}$$

sedangkan  $E_x + E_y$ , maka  $\text{SAVC} = 2 \text{SAVC}$ , atau  $\text{SAVC} + 1/2 \text{SAVC}$

Dalam analisis di atas, penempatan sumbu x dan y adalah sembarang, sehingga analisis di atas berlaku umum bagi gelombang dengan polarisasi lingkaran yang diterima oleh antena berpolarisasi linier.

Antena yang berpolarisasi linier hanya menerima gelombang pada sumbu x atau y saja.

Sedangkan antenna berpolarisasi lingkaran yang arah putarannya sesuai dengan arah gelombang datang akan menerima gelombang pada sumbu x dan y. Besaran SAVC adalah daya dari gelombang berpolarisasi lingkaran yang diterima oleh antenna pada sumbu x saja (Hasil yang sama akan didapat bila diterima pada sumbu y). Analisis di atas memperlihatkan seolah-olah antenna berpolarisasi linier, yaitu pada sumbu x atau y saja, menerima daya 1/2 kali atau -3dB dibandingkan bila antenna tersebut berpolarisasi lingkaran, asalkan arah putarannya sesuai dengan arah putaran polarisasi gelombang yang diterima. Pada keadaan sebaliknya, yaitu gelombang berpolarisasi linier tidak akan mengalami penurunan daya bila diterima oleh antenna berpolarisasi lingkaran.

## 2. Polarisasi Ganda

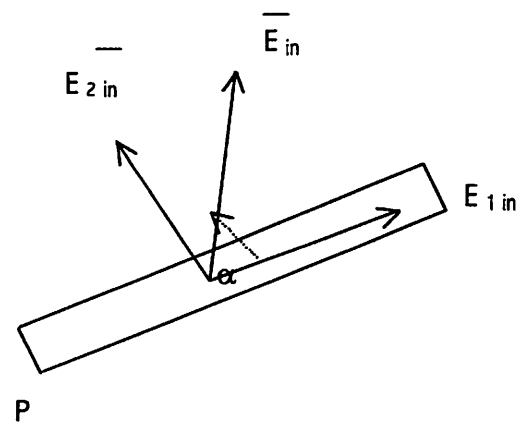
Ada sistem komunikasi, khususnya sistem komunikasi dengan satelit yang menggunakan polarisasi ganda (*dual polarization*). Khusus yang akan dibicarakan adalah polarisasi ganda yang lingkaran, misalnya pada sistem satelit Intelsat V. Yang dimaksud dengan sistem polarisasi lingkaran ganda adalah sistem yang memancarkan/menerima gelombang-gelombang dengan frekuensi yang hampir berdekatan, dipancarkan/diterima dengan polarisasi lingkaran dengan arah yang berlawanan. Dengan cara ini suatu pita frekuensi tertentu dapat dikirim/diterima gelombang dengan dua kali kapasitas pita frekuensi tersebut. Bila dua gelombang dengan polarisasi lingkaran baik yang putaran kiri maupun kanan diterima oleh stasiun bumi berpolarisasi linier, keduanya akan diterima dengan penurunan daya masing-masing 3 dB.

Tetapi dalam hal ini masing-masing gelombang yang diterima tersebut akan saling mengganggu. Sebab masing-masing gelombang pada dasarnya adalah dua gelombang yang berbeda sehingga yang satu merupakan gangguan terhadap yang lain, dan ini akan sangat terasa bila frekuensi gelombang pembawa dari kedua gelombang tersebut agak berdekatan. Agar gelombang dari sistem dengan polarisasi lingkaran ganda dapat diterima, maka satu-satunya cara adalah dengan membuat antenna penerimanya disesuaikan untuk gelombang dengan polarisasi lingkaran.

## 3. Antena dengan Polarizer

Polarizer adalah alat untuk mengubah gelombang dengan polarisasi linier menjadi polarisasi

lingkaran atau sebaliknya. Bekerja dengan prinsip bahwa gelombang berpolarisasi lingkaran dapat diuraikan dalam komponen-komponennya yaitu dua gelombang berpolarisasi linier yang saling tegak lurus dan berbeda fase  $\pi/2$  dengan amplituda maksimum yang sama. Komponen utama dari polarizer adalah  $\lambda/4$  dielectric plate (a quarter wave plate) sebagai penggeser fase sebesar  $\pi/2$ . Misalnya ada gelombang datang (lihat Gambar. 2) ke arah pembaca, yang berpolarisasi lingkaran.



$$\alpha = 45^\circ$$

$$P = \lambda/4 \text{ dielectric plate}$$

Gelombang tersebut dapat diuraikan menjadi  $\vec{E}_{1in}$  dan  $\vec{E}_{2in}$  yang berpolarisasi linier dan saling tegak lurus, tetapi berbeda fase  $+\pi/2$  misalnya. Oleh  $\lambda/4$  dielectric plate fase  $\vec{E}_{1in}$  digeser sebesar  $-\pi/2$ , tetapi amplitudanya dianggap tetap, disebut sekarang  $\vec{E}_{1in}$ . Sekarang  $\vec{E}_{2in}$  dan  $\vec{E}_{1in}$  mempunyai fase yang sama dengan amplituda maksimum yang sama. Resultante dari kedua gelombang tadi. Gelombang  $\vec{E}_{in}$  ini berpolarisasi linier dengan inklinasi  $\alpha = 45^\circ$  terhadap  $\lambda/4$  dielectric plate. Selanjutnya  $E_{1in}$  dapat diterima sebagai gelombang berpolarisasi linier.

Bila datang gelombang lain, yaitu juga berpolarisasi lingkaran tetapi dengan arah yang berlawanan dengan gelombang yang dibicarakan di atas tadi, dengan frekuensi yang berbeda tetapi agak berdekatan. Gelombang-gelombang seperti ini biasa dijumpai pada sistem dengan polarisasi lingkaran ganda. Gelombang yang kedua ini dapat diuraikan menjadi  $\vec{E}_{1in}^+$  dan  $\vec{E}_{2in}^+$  yang berpolarisasi linier

menjadi  $E^{\rightarrow +1in}$  dan  $E^{\rightarrow +1in}$  yang berpolarisasi linier dan saling tegak lurus, tetapi berbeda fasa  $-\pi/2$ . Karena frekuensi gelombang yang kedua berdekatan dengan frekuensi gelombang yang pertama tadi, maka  $E^{\rightarrow +1in}$  oleh  $\lambda/4$  dielectric plate akan juga digeser fasanya sebesar  $-\pi/2$  sedangkan amplituda maksimum dianggap tetap, disebut sekarang  $E_{1in}$ .

Sekarang  $E^{\rightarrow +4in}$  dan  $E^{\rightarrow 2}$  mempunyai beda fasa  $-\pi$  atau  $E^{\rightarrow +2in}$  searah dengan  $E^{\rightarrow +1in}$ . Seperti halnya pada gelombang yang pertama tadi, perjumlahan vektor kedua gelombang berpolarisasi linier ini menghasilkan gelombang  $E^{\rightarrow +in}$  yang tegak lurus terhadap  $E^{\rightarrow in}$ . Sehingga yang berpolarisasi lingkaran yang kedua, yang arah putarannya berlawanan dengan yang pertama tadi, dapat diterima sebagai gelombang berpolarisasi linier,  $E^{\rightarrow +in}$ , tetapi dengan arah yang tegak lurus terhadap gelombang yang pertama tadi,  $E^{\rightarrow in}$ . Kedua gelombang di atas dapat diterima secara sekaligus dengan menggunakan *orthocoupler*, yang pada dasarnya adalah alat untuk menerima dua gelombang berpolarisasi linier yang saling tegak lurus.

Gelombang-gelombang  $E^{\rightarrow in}$  dan  $E^{\rightarrow +in}$  yang saling tegak lurus ini tidak akan saling mengganggu. Bila kita tidak menggunakan *orthocoupler* maka salah satu gelombang saja yang dapat diterima yaitu  $E^{\rightarrow in}$  atau  $E^{\rightarrow +in}$ . Kita dapat menerima  $E^{\rightarrow in}$  atau  $E^{\rightarrow +in}$  yaitu dengan mengatur penerima gelombang berpolarisasi linier ke arah  $E^{\rightarrow in}$  atau  $E^{\rightarrow +in}$ . Kalau semula untuk  $E^{\rightarrow in}$  maka inklinasi penerima sama dengan sudut  $\alpha = 45^\circ$  (lihat Gambar. 2), maka untuk  $E^{\rightarrow +in}$  inklinasinya adalah  $\alpha + 90^\circ = 135^\circ$ , atau diubah sudutnya sebesar  $90^\circ$ .

#### 4. Kesimpulan

Pada bagian-bagian yang terdahulu telah dibicarakan hal-hal yang berhubungan dengan penerimaan gelombang dengan polarisasi lingkaran. Yang dibicarakan adalah bagaimana akibat pada daya gelombang berpolarisasi lingkaran bila diterima oleh antena berpolarisasi linier. Juga dibicarakan penerimaan gelombang-gelombang yang berpolarisasi lingkaran ganda. Dari pembicaraan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

- Antena, khususnya dari stasiun bumi berpolarisasi linier dapat dipakai untuk menerima gelombang berpolarisasi tunggal yang lingkaran.
- Pada penerimaan gelombang seperti pada butir a, daya yang diterima seolah-olah diturunkan sebesar 3 dB. Hal ini tentunya akan mempengaruhi G/T antena tersebut yaitu akan ada penurunan sebesar 3 dB.
- Gelombang dengan polarisasi lingkaran ganda tidak dapat diterima oleh antena yang berpolarisasi linier. Karena gelombang-gelombang dengan polarisasi lingkaran dengan arah berlawanan akan saling mengganggu.
- Untuk gelombang dengan polarisasi ganda maka antena penerima harus dilengkapi dengan polarizer yang pada dasarnya terdiri dari  $\lambda/4$  dielectric plate untuk menggeser fasa gelombang sebesar  $\pi/2$ .
- Kedua gelombang berpolarisasi lingkaran tetapi dengan arah yang berlawanan, yaitu pada sistem polarisasi lingkaran ganda, oleh polarizer akan diubah menjadi dua gelombang dengan polarisasi linier yang saling tegak lurus. Kedua gelombang ini tidak akan saling mengganggu.
- Dengan *orthocoupler* kedua gelombang dengan polarisasi linier seperti dikatakan pada butir e, akan dapat diterima secara sekaligus.
- Tanpa *orthocoupler* kedua gelombang dengan polarisasi linier seperti dikatakan pada butir e, akan dapat diterima secara satu persatu. Hal ini dapat dilaksanakan dengan mengatur inklinasi penerimanya yaitu  $45^\circ$  untuk gelombang yang pertama dan  $135^\circ$  untuk gelombang yang sebuah lagi, terhadap  $\lambda/4$  dielectric plate nya.

## 4.4. Pentapisan Citra pada Domain Frekuensi Ruang

Perkembangan teknologi penginderaan jauh melalui satelit telah memasuki babak baru dengan mulai digunakan sensor aktif (*synthetic aperture radar* – SAR) dalam proses penginderaan objek di muka bumi. Namun sensor jenis ini masih dalam taraf uji kaji kemanfaatannya, karena belum terungkap secara jelas beberapa sifat fisis yang dominan, terutama menyangkut interaksi dan korelasi antara gelombang elektromagnetik dengan berbagai sifat/bentuk. Akan tetapi secara nyata interaksi tersebut menghasilkan adanya cacat berpola random.

Secara umum dapat dikatakan terdapat beberapa aspek positif penggunaan sensor SAR, antara lain kemampuan penetrasi yang baik sehingga mampu menembus awan serta operasinya tidak tergantung pada sumber cahaya matahari (dapat malam hari). Namun penggunaan sensor penginderaan aktif (seperti yang dihasilkan ERS-1) memiliki karakteristik antara lain:

- sensitif terhadap kekasaran dan campuran (moisture -> dielektrik) permukaan objek,
- permukaan objek dan target dapat menyebabkan depolarisasi sebagian energi gelombang mikro yang datang. Sehingga sinyal yang kembali dapat mengandung komponen polarisasi dan depolarisasi. Sementara yang umum digunakan adalah signal dengan polarisasi VV, HH, VH, HV
- adanya pengaruh hamburan yang besar
- pengaruh resonansi Bragg, sebagai akibat jarak target yang kelipatan  $\lambda / 2$

Akibat dari beberapa sifat fisis sensor aktif tersebut informasi yang ditangkap mengalami berbagai cacat yang bersifat random atau yang lazim disebut *speckle*. Mengingat sifatnya yang random dan sinyal yang tertangkap memuat komponen intensitas dan phase maka penerapan FFT maju dan balik sebagai alternatif pentapisan citra SAR menjadi relevan.

Bertolak dari acuan dasar tersebut, maka pada tulisan ini dikemukakan implementasi pentapisan citra SAR pada domain frekuensi ruang, dimana pembahasan dititik beratkan pada tapis pelewat rendah dan pelewat bidang.

## 1. Dasar Teori

Bila diberikan suatu fungsi kompleks  $h(k_1, k_2)$  yang terdefinisi pada grid berdimensi dua dengan  $0 \leq k_1 \leq N_1-1$  dan  $0 \leq k_2 \leq N_2-1$ , maka dapat didefinisikan transformasi diskrit Fourier berdimensi dua sebagai suatu fungsi kompleks  $H(n_1, n_2)$  untuk grid yang sama. Atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$H(n_1, n_2) = \sum_{k_2=0}^{N_2-1} \sum_{k_1=0}^{N_1-1} \exp(2\pi i k_2 n_2 / N_2) \exp(2\pi i k_1 n_1 / N_1) h(k_1, k_2) \quad (1)$$

Bentuk FFT dua dimensi pada persamaan (1) dapat dihitung secara sekuensial seperti FFT satu dimensi pada masing-masing indeks bagi fungsi bersangkutan. Atau secara matematis pernyataan tersebut dapat ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} H(n_1, n_2) &= \text{FFT indeks}_1(\text{FFT indeks}_2[h(k_1, k_2)]); \\ &= \text{FFT indeks}_2(\text{FFT indeks}_1[h(k_1, k_2)]); \end{aligned}$$

Namun penggunaan FFT sebagai alternatif pada pentapisan citra di domain frekuensi ruang memerlukan komputasi yang sangat besar. Untuk citra berukuran  $N_1 \times N_2$  dan menggunakan FFT berbasis 2, maka jumlah komputasinya =  $0,5 \times N \log_2 N$ , dimana  $N = N_1 \times N_2$ . sehingga untuk  $N_1 = N_2 = 512$ , maka diperlukan komputasi floating point sebanyak 2.359.296.

### 1.1. Tapis sinyal satu dimensi

Konsep tapis satu dimensi relatif sederhana dimana bila diberikan sinyal kontinue  $f_c(x)$  dengan transformasi Fourernya  $F_c(\omega)$ , dan lebar bidangnya ingin di batasi pada  $\omega_0$  dimana harga  $F_c(\omega) = 0$  untuk harga  $|\omega|$  yang lebih besar dari frekuensi Cut-off  $\omega_0$ . Dalam hal ini fungsi  $f_c(x)$  harus harus dikonvolusi dengan fungsi transformasinya  $H_c(\omega)$  dengan pembatas lebar bidang  $\omega_0$ .

Konvolusi dapat dilakukan pada domain spasial sesuai rumus:

$$G_c(x) = \int f_c(\alpha) h_c(x-\alpha) d\alpha \quad (2)$$

Atau pada domain frekuensi ruang (Fourier) seperti

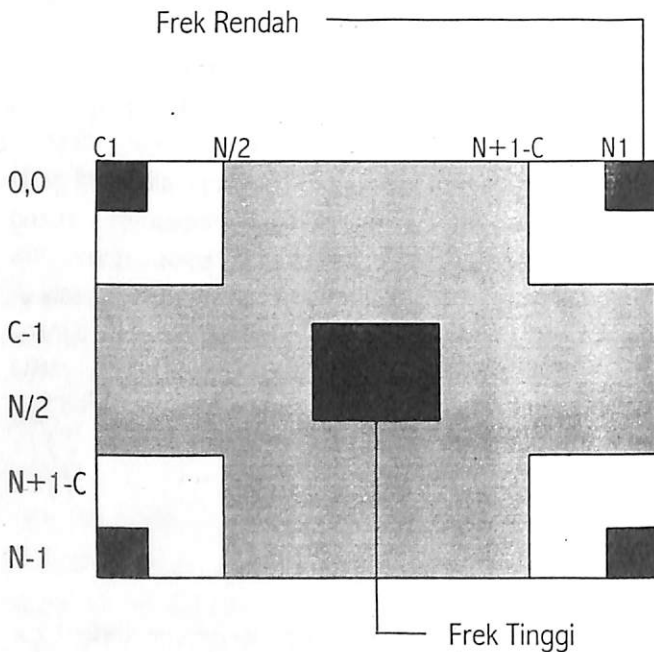
$$g_c(X) = 1/(2\pi) \int F_c(\omega) \exp(i\omega x) d\omega \quad (3)$$

Transformasi dari perkalian fungsi diatas mencerminkan konvolusi pada domain spasial, yang secara matematis dapat di tulis:

$$G_c(x) = f_c(x) \otimes h_c(x) \quad (4)$$

### 1.2. Tapis citra dua dimensi

Implementasi pentapisan citra dua dimensi dilakukan pada domain frekuensi ruang. Sehingga citra masukan terlebih dahulu harus dikenakan transformasi diskrit maju. Keluaran transformasi adalah kompleks yang memuat elemen riil dan imajiner. Alokasi frekuensi ruang pada komponen magnitude citra FFT maju modus *non ordered* dapat digambarkan seperti pada Gambar 9 dimana elemen frekuensi rendah berada pada keempat.



Gambar 9. Alokasi frekuensi ruang komponen magnitude dari elemen citra NxN dengan bentuk tapis zonal.

Bila kita dapat mendefinisikan *cut-off* frekuensi ruang untuk berbagai tapis yang dikehendaki, maka minimal dapat diturunkan beberapa tapis standar seperti: pelewat rendah, pelewat tinggi, pelewat bidang maupun *band reject*. Tapis ideal memiliki kemiringan (*dB/oktaf*) yang relatif besar.

Untuk transfer fungsi tapis pelewat rendah *butterworth* orde *n*, dengan frekuensi *cut-off* yang berjarak *Do* dari didefinisikan melalui hubungan:

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D(u,v)/D_{do}]^{2n}}$$

dimana :  $D(u,v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$   
 $D_{do}$  = Frekuensi *cut-off*

Dari persamaan di atas, untuk mendapatkan  $H(u,v)=0.5$ , maka  $D(u,v)=D_{do}$ . Yang umum digunakan adalah dengan faktor penyusutan sebesar  $1/\sqrt{2}$  pada saat  $D(u,v)=D_{do}$ . Sehingga persamaan di atas menjadi:

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + (\sqrt{2}-1)[D(u,v)/D_{do}]^{2n}}$$

$$= \frac{1}{1 + 0.414[D(u,v)/D_{do}]^{2n}} \quad (5)$$

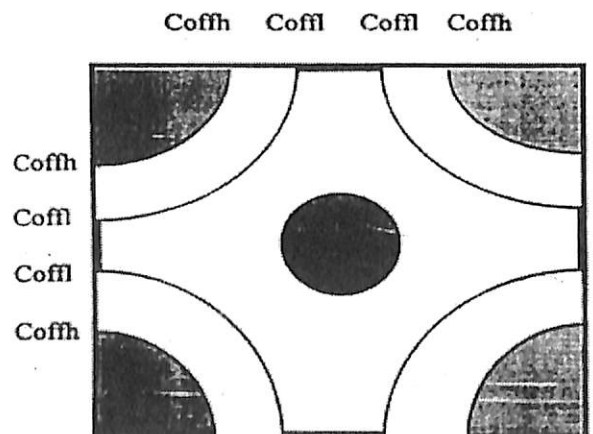
Untuk tapis *Butterworth*, alokasi frekuensi ruang untuk ketiga jenis tapis dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat ditentukan jarak frekuensi ruang dari origin. Khusus untuk pelewat bidang maupun *band reject* ditentukan dua frekuensi *cut-off*, yaitu rendah dan tinggi. Pada tulisan ini pembahasan dititik beratkan pada tapis pelewat rendah.

$$H(u,v) + B(u,v)$$

- $0 < u < N/2$  dan  $0 < v < N/2$
- $0 < u < N/2$  dan  $1 + N/2 < v < N-1$
- $1 + N/2 < u < N-1$  dan  $0 < v < N/2$
- $1 + N/2 < u < N-1$  dan  $1 + N/2 < v < N-1$

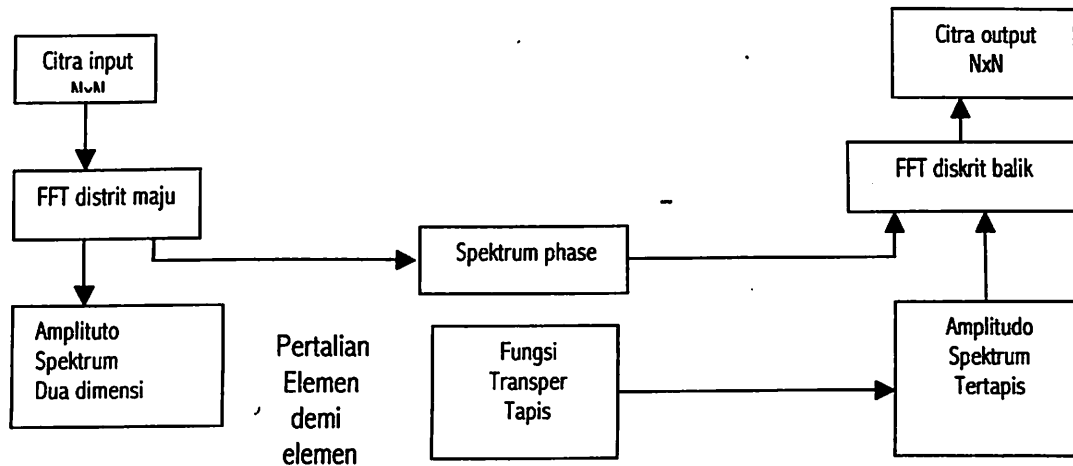
$$\text{dimana: } B(u,v) = \frac{1}{(1 + A \cdot D(v,v)/D_{do})^{2n}}$$

*n* = orde filter



Gambar 10. Alokasi *cut-off* frekuensi ruang tapis *butterworth* untuk tapis standar pelewat rendah, tinggi dan bidang

## 2. Prosedur Pelaksanaan



Gambar 11. Bagan alir proses pentapisan citra pada domain frekuensi

Secara umum tahapan pentapisan citra pada domain frekuensi untuk tapis pelewat rendah *Butterworth* dapat dijelaskan melalui blok diagram di atas.

Pentapisan citra dilakukan pada data SAR (ERS-1) daerah Jakarta berukuran 512 x 512, yang direkam pada tanggal 25 November 1993. Data tersebut adalah untuk lintasan Selatan-Utara dengan polarisasi VV dan resolusi spasialnya 12,5 x 12,5 m. Pada saat ditransfer data ke komputer PC yang dikirimkan hanyalah elemen magnitude riil yang terkompresi menjadi 8 bit. Dengan demikian saat dilakukan FFT maju, komponen imajiner diset bernilai nol.

Pada percobaan ini digunakan dua jenis tapis, yaitu pelewat rendah dan pelewat bidang. Adapun spesifikasi tapis pada kedua operasi tersebut adalah:

- Tapis pelewat rendah Cut-off = 128
- Tapis pelewat bidang Cut-off = 200 dan Cut-off high = 8

Dan hasil FFT maju serta komponen magnitude tertapis pelewat rendah dan bidang untuk modus "non-ordered" diperlihatkan pada Gambar 11 di atas.

Selanjutnya dilakukan FFT balik terhadap data tertapis, untuk mendapatkan citra asli. Untuk dapat menampilkan data tersebut yang masih berbentuk kompleks, dihitung nilai magnitude dan phasanya serta sekaligus dikompresi untuk mendapatkan data

keluaran pada format 8 bit. Pada saat kompresi data digunakan formulasi:

$$\text{Mag} = 100 \times \log_{10} (\sqrt{a^2 + b^2}) \text{ dan}$$

$$\text{Pha} = \arctg (b/a) + 2\pi n$$

Sebagai bahan perbandingan pada lembar lampiran diberikan hasil cetakan data input dan data output serta data hasil proses tapis median. Namun karena resolusi printer yang digunakan hanya 16 warna maka pada hasil cetakan pada lembar lampiran tidak mampu memperlihatkan degradasi intensitas citra dengan baik sehingga tidak seluruh data dilampirkan.

## 3. Software FFT

Software FFT dua dimensi ditulis dalam bahasa C yang diturunkan dari buku Numerical receipt in C. Basis komputer yang digunakan adalah PC 586-60 dengan 8 Mybyte RAM, dimana 2,5 Mbyte di antaranya dialokasikan sebagai buffer SMARTDRV. Untuk komputasi FFT citra berukuran 512 x 512 diperlukan buffer sebanyak 2 Mbyte, dimana 512 x 512 x 4 byte dipakai sebagai buffer komponen riil dan 512 x 512 x 4 byte untuk komponen imajiner. Berhubung sistem operasinya masih menggunakan DOS versi 6.2 yang belum memiliki akses 32 bit, maka tidak mungkin

mengalokasi kapasitas buffer sebanyak yang diperlukan. Sebagai alternatifnya, buffer komputasi dibuat dan diperlakukan sebagai *virtual-file* dengan memanfaatkan SMARTDRV.

Dari hasil pengamatan, diperoleh bahwa untuk FFT citra berukuran 512x512 yang memerlukan 2.359.298 kali komputasi *floating point*, seluruhnya memerlukan waktu proses 2.895 detik. Kondisi ini tidak ideal, terutama untuk memproses satelit yang ukurannya relatif besar. Akan tetapi software dapat dikembangkan pada sistem operasi yang memiliki akses memori hingga 32 bit, sehingga kecepatan komputasi dapat ditingkatkan jauh lebih baik. Dari hasil uji coba perbandingan komputasi FFT maju dan balik dengan menggunakan virtual disk dan akses memori langsung untuk citra berukuran 128 x 128 diperoleh data bahwa kecepatan komputasi dapat ditingkatkan hingga 77 kali lebih baik.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan evaluasi visual pada layar monitor yang dapat menampilkan 256 tingkat keabuan (*gray level*) diperoleh hasil sebagai berikut:

- Muncul efek pemburaman dengan tingkat pemburaman yang berkorelasi dengan kecilnya jarak frekuensi *Cut-off* dari origin
- Hasil pentapisan FFT memiliki ketajaman yang lebih baik dibanding dengan tapis median, namun dari segi waktu proses tapis median jauh lebih unggul
- Setting frekuensi *cut off* pada domain frekuensi ruang dapat dengan mudah didefinisikan sementara pentapisan dengan teknik window tidak didapat korelasi yang jelas
- Oleh karena pentapisan citra pada domain frekuensi berlaku umum, maka hasil yang didapat akan sesuai dengan spesifikasi tapis yang diberikan dengan window yang bersifat parametrik.

## 4.5. Sistematika Rancangan dan Evaluasi Perangkat Lunak Klasifikasi Terawasi pada Paket LAPAN Image Processing Versi 2

Litbang rancang bangun dan rekayasa sistem pengolah data (SPD) Inderaja adalah salah satu kegiatan penelitian di Kedepuitan Inderaja dalam rangka mencapai kemandirian teknologi, khususnya kemandirian dalam hal integrasi dan pengembangan perangkat lunak.

Implementasinya diwujudkan melalui pengembangan SPD 32 bit (PC) dan SPD 64 bit (*workstation*) yang konsep maupun pendekatannya sedikit berbeda. Namun tujuan akhir kedua jalur litbang tersebut adalah agar diperoleh kemampuan litbang SPD hingga level prosesor 64 bit dengan penekanan pada segi optimalisasi rancangan dan penggunaan komponen dalam negeri.

Ide litbang telah ada sejak beberapa waktu lalu, namun kegiatan litbang secara terencana mulai dilaksanakan pada tahun 1991. Hal ini diperkuat oleh kenyataan bahwa seluruh software pengolah data berasal dari luar negeri yang memunculkan persepsi berbeda tentang berbagai aspek. Melihat kenyataan tersebut maka dilaksanakan kegiatan pengembangan SPD 32 bit yang konsep awalnya sederhana yaitu menekankan pada aspek kemudahan operasi, kecepatan dan ketelitian serta kemampuan interchange format.

Seiring dengan perkembangan teknologi PC serta kemampuan implementasi model dan algoritma pengolah data satelit inderaja, telah memacu litbang rancang bangun dan rekayasa Sistem Pengolah Data 32 bit (SPD 32 bit) untuk melakukan modifikasi paket pengolah data, hingga mampu memberikan hasil olahan yang cepat, teruji kebenaran/ketelitiannya dan murah. Kejelasan setiap sub program dievaluasi untuk mendapatkan besaran kuantitatif sebagai hasil verifikasi, yang secara bertahap digunakan untuk perbaikan/*update* materi perangkat lunak.

Salah satu program yang cukup panjang dan banyak menyita waktu pada paket LAIPS2 adalah

klasifikasi citra. Algoritma klasifikasi citra cukup kompleks, disamping juga mensyaratkan agar pada tahap pra klasifikasi sebaiknya dipertimbangkan faktor optimasi, interaksi, animasi serta ketelitian. Di sisi lain beberapa parameter yang terbawa dari kesalahan pada level pengolahan awal (eksternal) cukup berperan mempengaruhi ketelitian hasil klasifikasi.

Memahami kendala yang ada, serta menyadari bahwa untuk memperoleh hasil klasifikasi citra yang benar dan teliti adalah cukup sukar, maka paket LAIPS versi 2.00 menyediakan beberapa fasilitas evaluasi dan modifikasi parameter guna mendapatkan optimasifikasi waktu dan hasil yang diharapkan. Tulisan ini memaparkan sistematika rancangan dan evaluasi perangkat lunak klasifikasi terawasi yang diturunkan dari suatu asumsi bahwa semua kondisi yang berkaitan dengan proses perolehan data dan pengolahan awal telah dilakukan, sehingga peluang kesalahan hanya muncul karena proses klasifikasi. Pada situasi tersebut, parameter yang cukup dominan mempengaruhi hasil proses adalah:

- pemilihan dan pengambilan training sample
- kualitas data training sample,
- keabsahan algoritma dan kompuler, serta,
- penentuan metoda klasifikasi yang tepat

Sistematika berpikir yang diterapkan untuk memilih dan menguji training dijabarkan dalam tiga sub program, yaitu penentuan *training area*, ekstraksi dan evaluasi data *training* serta modifikasi data *training*.

## 1. Membentuk Ekstraksi dan Evaluasi Training Area

Dalam upaya mendapatkan *training area* yang baik, sebaiknya dilakukan dengan teliti dan hati-hati sehingga variansi sample adalah kecil. Ini bisa didapat dengan mengambil training area yang kecil dengan harapan agar nilainya mendekati homogen. Dari uraian tersebut dapat didefinisikan bahwa training yang spesifik mewakili suatu training area dengan tingkat korelasi antar training area sekecil mungkin dan seluruh informasi yang ada pada citra terwakili dengan baik.

### a. Pengambilan Training Area

Mendapatkan data training tidaklah mudah dan tidak cukup hanya dengan mengambil contoh visual

melalui penampil komposit data RGB. Oleh sebab itu, paket LAIPS2 menyediakan fasilitas agar bisa memperoleh data training dengan cara lain, misalnya melalui hasil olahan indeks vegetasi atau transformasi warna (hue, saturasi dan intensitas) atau menggunakan data transformasi komponen utama. Pada akhirnya semua informasi training area yang ada di komposit untuk mendapatkan satu "file" training area, yang memuat kumpulan sampel dari semua training area yang ada.

### b. Ekstraksi Data Training

Ekstraksi nilai elemen gambar dari setiap *training area* untuk setiap kanal citra dilakukan dengan komposit "file" training area dengan setiap file citra. Nilai elemen gambar yang diperoleh kemudian dipaket dan disimpan dalam suatu file mengikuti aturannya basis data, untuk selanjutnya diberi nama data training. Prosedur penyimpanan data training ke file mengikuti struktur format *training sample*, dengan maksud untuk memudahkan pembacaan kembali informasi yang tersimpan di dalamnya. Data tersimpan memuat informasi tentang jumlah kanal, jumlah training dan nilai elemen gambar pada masing-masing training serta nama setiap *training area*.

### c. Evaluasi Data Training

Evaluasi kualitas data training area dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu metode yang berdasar pada evaluasi jarak dan evaluasi divergensi. Disi lain, melalui perhitungan statistik *univariate* dan *multivariate*, serta dengan asumsi bahwa data training terdistribusi normal, dapat digambar pola *ellipsoid* setiap training area, dan dari padanya dapat diketahui apakah *training area overlap* atau tidak.

Melalui evaluasi jarak dan divergensi dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana korelasi antara training yang ada. Hasil evaluasi disusun berbentuk matrik, yang menginformasikan korelasi suatu training area terhadap training area lainnya. Namun karena algoritma divergensi berkaitan dengan kovarian training area, sehingga hasil evaluasi secara langsung dapat dipakai untuk memprediksi ketelitian hasil proses klasifikasi *mahalanobis* atau *maximum likelihood*.

Hasil evaluasi dipakai sebagai dasar dalam pengambilan keputusan untuk melakukan modifikasi data training atau tidak. Modifikasi data training bisa



dengan cara menghapus data training, menggabung dua atau lebih data training atau menambahkan training area baru. Evaluasi korelasi antara dua training area ditetapkan melalui dua metode yaitu metode transformasi divergensi dan *Jeffries-matushita distance*. Perumusan matematik kedua metode tersebut adalah sebagai berikut:

### 1) Transformasi Divergensi

$$D_{ij} = .5[\text{Tr}((\Sigma_i - \Sigma_j)(\Sigma_i^{-1} - \Sigma_j^{-1})) + \text{tr}((\Sigma_i^{-1} - \Sigma_j^{-1})(m_i - m_j)(m_i - m_j))]^2$$

$$T_{dij} = 2(1 - \exp(-D_{ij}/8))$$

### 2) Jeffries-Matushita

$$\alpha = 25(m_i - m_j)^T ((\Sigma_i + \Sigma_j)/2)^{-1} (m_i - m_j) + 1n(|\Sigma_i - \Sigma_j|) / \sqrt{(|\Sigma_i| * |\Sigma_j|)}$$

$$J_{mij} = 2(1 - \exp(-\alpha/2))$$

Dimana :

- T : Transpose matrik,
- Tr : Fungsi trace aljabar matrik,
- $i, j$  : Dua signature yang dibandingkan,
- $\Sigma_i$  : Matrik kovarian dari signature  $i$ ,
- $m_i$  : Nilai rata vektor untuk signature  $i$ ,
- $|\Sigma_i|$  : Determinan matrik kovarian dari signature  $i$

## 2. Penentuan Metode Klasifikasi

Lazim dipilih satu dari tiga metode klasifikasi supervise, yaitu *maximum likelihood*, *mahalonobis distance* atau *minimum distance*. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan yang dalam beberapa kasus metode yang satu cukup baik dibandingkan yang lainnya.

### a. Metode Maximum Likelihood

Secara umum metode *maximum likelihood* lebih akurat dari metode *minimum distance* atau paralelepiped, dan cukup baik mengatasi masalah kelas overlap yang tak dapat diselesaikan oleh *paralelepiped*. Namun, karena ia menerapkan seluruh ketentuan *Bayesian*, maka waktu prosesnya menjadi lama dan menimbulkan masalah untuk klasifikasi citra berskala besar.

Implementasi metode *maximum likelihood* dilakukan dengan menerapkan ciri matrik kovarian tiap kelas pada setiap kenampakan yang ada dalam ruang acuan. Suatu elemen gambar adalah calon anggota kelas tertentu, jika probabilitas sesungguhnya dari elemen gambar bersangkutan adalah maksimum dan berada dalam batasan jarak tertentu dari mean kelas. Bila suatu elemen gambar menjadi calon anggota untuk beberapa kelas, maka kelas yang paling mungkin yang dipilih. Dengan demikian kaidah dasar ketentuan *Bayesian* yang dipakai adalah:

- Pixel yang hanya mungkin masuk ke dalam satu kelas, maka ditetapkan sebagai anggota kelas tersebut.
- Pixel yang mungkin masuk ke dalam beberapa kelas, maka kelas yang paling mungkin yang dipilih, menggunakan aturan ketentuan Bayesian.
- Pixel yang mungkin dapat masuk ke beberapa kelas dan mempunyai beberapa kelas yang paling mungkin, maka dimasukkan ke dalam kelas null (unclassified).

Asumsi dasar yang diterapkan pada metode *maximum likelihood* adalah probabilitas elemen gambar untuk masuk ke semua kelas adalah sama, dan histogram semua kanal harus memenuhi aturan distribusi normal. Bila prasyarat di atas tidak dapat dipenuhi maka metode *maximum distance* dapat memberikan hasil yang cukup baik. Pada situasi tersebut, pengambilan, keputusan ditinjau dari anggota kelas dengan probabilitas paling maximum terhadap suatu kelas tertentu yang menyebabkan probabilitas setiap kelas menjadi tidak sama, hal tersebut dapat diwakili melalui nilai apriori ( $A_c$ ) yang dalam perumusan *maximum likelihood* ditulis sebagai berikut:

$$P_c = \ln(A_c) - .51n(|\text{Covc}|) - .5\{(X - M_c)^T(\text{Covc}^{-1})(X - M_c)\}$$

Dimana:

- $P_c$  = Probabilitas untuk pixel tertentu
- $C$  = Indeks kelas
- $X$  = Vektor nilai pixel dari calon kelas.
- $M_c$  = Vektor mean sample untuk kelas tertentu.
- $A_c$  = Persentasi apriori untuk kelas tertentu.
- $\text{Covc}$  = Kovarian matrik untuk kelas tertentu.
- $|\text{covc}|$  = Determinan matrik kovarian kelas tertentu.
- $\text{Covc}^{-1}$  = Invers matrik kovarian kelas tertentu
- T = Transpose Matrik.

## b. Metode *Mahalanobis* Distance

Seperti halnya metode *maximum likelihood mahalanobis distance* juga mensyaratkan agar distribusi data masukan harus memenuhi aturan gaussian. Secara matematis, *metode mahalanobis distance* mirip dengan metode *minimum distance*, kecuali pada *minimum distance* tidak melibatkan elemen matrik akan mencirikan variansi dan kovarian matrik akan mencirikan variansi kelompok, dan pada saatnya akan mencirikan variansi kelas bersangkutan.

Dampak penggunaan matrik kovariansi adalah memiliki kecenderungan akan terjadi klasifikasi berlebihan untuk kelas dengan kovarian matrik kelas bersangkutan mencerminkan penyebaran elemen gambar disekitar mean kelas bersangkutan.

Pengambilan keputusan pada algoritma *Mahalanobis Distance* didasarkan pada anggota kelas dengan jarak paling minimum ke mean kelas tertentu, yang secara matematis dirumuskan:

$$M = (X - M_c)^T (\text{Cov } c^{-1}) (X - M_c)$$

## c. Metode *Minimum* Distance

Secara umum, metode ini lebih akurat dari metode *Paralelepiped* dan mampu menyesuaikan masalah penyatuan kelas yang tidak bisa diselesaikan oleh *Paralelepiped*. Dalam kasus tertentu metode ini sama telitinya dengan *maximum likelihood* tetapi memerlukan waktu pengolahan yang lebih sedikit, sehingga bisa dikatakan bahwa metoda *minimum distance* memiliki kesebandingan yang baik antara kecepatan dan ketelitian.

Kesalahan klasifikasi cenderung terjadi untuk data masukan dengan jarak intensitas yang cukup lebar sehingga tidak memenuhi aturan *euclidean distance*. Tetapi akan sangat baik bila histogram masing-masing kanal sangat mirip satu dan lainnya sehingga tidak memiliki perbedaan orientasi (*distinguished orientation*).

Berkaitan dengan hal tersebut klasifikasi berlebihan ber-peluang terjadi untuk kelas dengan variansi yang tinggi, seperti untuk kelas penutup lahan. Sebaliknya untuk kelas dengan variansi yang rendah, air misalnya, maka situasi sebaliknya yang terjadi. Algoritma *minimum distance* akan mengklasifikasi citra berdasar jarak yang paling dekat ke nilai rata-rata kelas tertentu. Sehingga idelnya semua pixel akan terklasifikasi sesuai rumus:

$$S_{dxyc} = 1 / \left[ \sum_{l=1}^N (m_{ci} - X_{xyi})^T (m_{ci} - X_{xyi}) \right]$$

dimana :

- $S_{dxyc}$  = jarak spektral dari pixel x, y ke kelas c,
- C = indeks kelas
- T = transpose matrik
- N = jumlah kanal (band)
- l = indeks kanal tertentu
- $X_{xyi}$  = nilai pixel x, y kanal ke i
- M = mean data file kanal i untuk sample c

## d. Ambang Batas dan Eliminasi Pixel yang Tidak Terklasifikasi

Pada prinsipnya kemunculan pixel tidak terklasifikasi tak diharapkan dalam proses klasifikasi citra. Namun hal ini akan selalu ada karena pixel bersangkutan tidak terwakili pada saat pengambilan training sample. Namun di sisi lain disadari bahwa obyek dengan variansi yang cukup tinggi seperti urban misalnya, berpeluang memberikan hasil yang salah.

Untuk mengurangi kesalahan bagi pixel yang tidak terprediksi tersebut, paket LAIPS menyediakan utiliti optimasi dan ambang batas. Pada metoda *maximum likelihood* dan *mahalanobis*, nilai ambang batas diterapkan melalui pendekatan *chi square*, sementara pada metoda *minimum distance* dan metoda jarak lainnya ditentukan melalui suatu besaran cakupan (coverage) dari deviasi standarnya.

Kita ketahui bahwa setiap metoda mensyaratkan pra kondisi spesifik, dengan tingkat ketelitian hasil yang berbeda. Sebagai contoh bila histogram data citranya memenuhi aturan distribusi normal (gaussian) maka metoda *maximum likelihood* atau *mahalanobis* dapat memberikan hasil baik. Tetapi bila kondisi tersebut tidak terpenuhi maka mungkin lebih baik memakai metoda *minimum distance*, walau ada kemungkinan terjadi klasifikasi berlebihan.

Di lain pihak bila kecepatan proses yang menjadi pertimbangan utama, maka metoda *paralelepipedum* adalah jalan keluarnya, walau tingkat kepercayaannya cukup kecil. Tetapi pemilihan metoda klasifikasi sangat terpulung pada bagaimana pola histogram data citra yang akan diklasifikasi, tingkat ketelitian yang diharapkan serta waktu proses yang tersedia.

## e. Test Data Training

Sebelum melakukan klasifikasi terutama untuk citra berskala besar, langkah baiknya dilakukan

evaluasi atas data training untuk memperkirakan tingkat ketelitian klasifikasi. Informasi yang disajikan tidak langsung dapat dijadikan referensi karena pertimbangan kontribusi dan kualitas data training, namun telah cukup memberi gambaran awal tentang output proses. Informasi ini disajikan dalam bentuk matrik yang menggambarkan kontribusi pixel dari tiap training area untuk masuk ke kelas yang tersedia.

Semakin rendah persentase data training untuk masuk ke kelas yang diharapkan berarti semakin kecil pula tingkat ketelitian klasifikasi secara keseluruhan. Jika keadaan ini kurang memenuhi syarat, alangkah baiknya melakukan kaji mundur beberapa tahap hingga

proses modifikasi data training atau sampai pada pembuatan training area baru.

Namun perlu dicatat walau hasil evaluasi mengindikasikan lain yaitu mungkin terdapat sejumlah pixel yang tidak terwakili pada sampel yang ada. Terhadap pixel ini tersedia pilihan optimasi, yaitu apakah pixel yang tidak masuk kelas dipaksakan masuk ke kelas yang tersedia atau tetap pada keadaan unclassified. Ide optimasi diturunkan dari suatu asumsi bahwa training sample diambil oleh operator secara langsung (interaktif) sehingga idealnya tidak ada pixel yang tidak masuk pada kelas yang tersedia.

### Sistematika Penyusunan Program Klasifikasi Terawasi

