

FUNGSI SUB-SISTEM SATELIT MIKRO PENGINDERAAN JAUH

Toto Marnanto Kadri
Peneliti Bidang Informasi LAPAN

ABSTRACT

As an extensive archipelago state with an wide-ranging diversity of natural resources and environment, as well as the dynamic character of its people, it is evident that Indonesia requires space applications to accelerate development process for the people's prosperity. One of the most significant application of space is earth observation by means of remote sensing satellites. The progress on electronics, solid state telecommunications and data processing technology have provided the opportunity on the technology development and production of remote sensing micro satellites that are simple, low-cost and effective. An analysis on the function of various sub-systems for remote sensing micro satellites is performed, related to the integrated function of the satellite in support of the remote sensing sensor payload data acquisition in orbit. Other important function of various satellite sub-systems is to maintain satellite health and safety of satellite operation in orbit as long as the intended satellite lifetime. The presentation is expected to provide a general description on the function of remote sensing satellite sub-systems.

ABSTRAK

Sebagai negara kepulauan yang sangat luas dengan keaneka-ragaman sumber daya alam dan lingkungan, serta dinamika kehidupan masyarakat, sudah jelas bahwa Indonesia memerlukan pemanfaatan antariksa dalam mempercepat proses pembangunan kesejahteraan rakyat. Salah satu pemanfaatan antariksa yang sangat penting adalah pengamatan Bumi oleh satelit penginderaan jauh. Kemajuan teknologi elektronika, telekomunikasi, zat padat dan pengolahan data telah memberikan peluang pembangunan teknologi dan produksi satelit mikro penginderaan jauh yang mudah, dengan biaya rendah serta efektif. Suatu analisis fungsi berbagai sub-sistem satelit mikro penginderaan jauh dilakukan, yang berkaitan dengan seluruh fungsi satelit dalam mendukung operasi perolehan data oleh sensor penginderaan jauh muatan satelit di orbit. Fungsi penting lain berbagai sub-sistem satelit adalah menjaga kesehatan dan keselamatan operasi satelit di orbit selama waktu perkiraan usia satelit. Uraian pembahasan diharapkan dapat memberikan diskripsi tentang seluruh fungsi sub-sistem satelit penginderaan jauh secara umum.

1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah sangat luas yang membentang sekitar 5.150 kilometer sepanjang khatulistiwa dengan lebih dari 81.000 kilometer garis pantai yang terdiri atas beraneka ragam lingkungan hidup dan kekayaan sumber daya alam. Teknologi satelit penginderaan jauh sebagai salah satu bentuk pemanfaatan antariksa

mempunyai peran utama di dalam memberikan informasi ruang wilayah Indonesia baik di darat maupun di laut yang sangat diperlukan dalam mendukung pembangunan bangsa dan negara.

Telah 34 tahun berlalu sejak pertama kali satelit penginderaan jauh *Earth Resources Technology Satellite-1* (ERTS-1) diluncurkan tanggal 23 Juli 1972 yang kemudian dikenal sebagai *Landsat-1*. Sejak itu, era pembangunan teknologi satelit

bagi pemanfaatan pengamatan bumi (*earth observation*) maupun pemanfaatan antariksa lainnya dalam meningkatkan kesejahteraan manusia telah mengalami kemajuan sangat pesat.

Perkembangan teknologi satelit mikro dewasa ini dengan kategori berat antara 10 sampai dengan 100 kg terbukti efektif bagi tugas penginderaan jauh pada orbit rendah atau *low earth orbit* (LEO) sekitar 600 sampai dengan 850 km, dengan biaya dan upaya produksi satelit yang relatif sangat ringan (Klaus Briess, et.al, 2002). Peluang kemajuan teknologi satelit mikro telah memungkinkan lebih banyak pihak-pihak turut mengembangkan teknologi satelit penginderaan jauh, antara lain pemerintahan, badan litbang, perguruan tinggi, industri swasta, dan lain-lain pada negara-negara maju dan berkembang di dunia (H.P. Roser, 2003).

Keberadaan teknologi satelit mikro tersebut merupakan peluang sekaligus tantangan bagi Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional-LAPAN untuk membangun kemandirian di bidang satelit penginderaan jauh bagi Indonesia (LAPAN, 2002). Tantangan tersebut dihadapkan pada kenyataan antara lain sebagai berikut.

- Sebagai negara besar Indonesia memerlukan kemandirian teknologi dan pemanfaatan antariksa untuk memenuhi kebutuhan sesuai keadaan spesifik di Indonesia.
- Keberadaan pemanfaatan data penginderaan jauh antariksa merupakan alat penting di dalam pembangunan nasional.
- Sampai saat ini masih ada ketergantungan Indonesia pada program satelit penginderaan jauh milik asing.

Tantangan lain yang dihadapi LAPAN adalah bahwa penyelenggaraan program satelit harus diikuti pembangunan *kapasitas* Indonesia secara komprehensif dalam memenuhi berbagai kebutuhan pemanfaatan antariksa, antara lain penginderaan jauh, telekomunikasi, navigasi,

penanggulangan bencana, eksplorasi antariksa, litbang iptek dan lain-lain.

Pengenalan berbagai kebutuhan sub-sistem satelit yang digunakan bagi suatu tugas misi satelit diperlukan di dalam rencana rancang bangun sistem satelit. Suatu pengkajian tentang fungsi berbagai sub-sistem satelit mikro penginderaan jauh disajikan pada makalah ini, yang diharapkan dapat memberikan diskripsi secara umum mengenai komposisi dan fungsi sub-sistem satelit mikro penginderaan jauh.

Informasi diskriptif disampaikan tentang fungsi beberapa sub-sistem satelit mikro yang diperlukan untuk mendukung operasi muatan instrumen sensor penginderaan jauh di orbit.

Bila ditinjau dari sisi operasi sub-sistem di orbit dapat dikatakan bahwa kelengkapan fungsi sub-sistem pada wahana satelit mikro sebenarnya tidak jauh berbeda dengan kelengkapan fungsi pada sub-sistem satelit penginderaan jauh eksperimental yang besar, misal satelit Landsat, SPOT dan lain-lain.

Pembahasan pada pengkajian fungsi sub-sistem satelit mikro diharapkan dapat memberikan masukkan informasi rancang bangun satelit mikro penginderaan jauh bagi pengamatan produksi pangan.

Pengkajian dilakukan menggunakan analisis fungsi pada berbagai sub-sistem satelit mikro penginderaan jauh di orbit rendah (*low earth orbit*) secara umum.

Tinjauan analisis berbagai fungsi sub-sistem satelit mikro ditujukan pada sistem pemanfaatan antariksa penginderaan jauh bagi pengamatan sumber alam bumi, khususnya bagi pemantauan pembangunan ketahanan pangan.

Analisis fungsi hanya ditujukan pada sub-sistem wahana satelit saja. Sistem sensor muatan satelit tidak dibahas karena merupakan suatu upaya pengkajian fungsi tersendiri. Sub-sistem struktur satelit juga tidak dibahas dengan alasan sama.

2 SATELIT MIKRO PENGINDERAAN JAUH DENGAN MISI KETAHANAN PANGAN

2.1 Tujuan Misi Ketahanan Pangan

Menurut *World Food Summit 1996* pengertian ketahanan pangan dunia adalah *food security occurs when all people at all times have physical economic access to sufficient, safe and nutritious food to meet their dietary needs and food preferences for an active and healthy life* (Gunawan Prabowo, et.al., 2006).

Menurut UU No.7 Tahun 1996 pengertian ketahanan pangan nasional adalah tersedianya pangan yang cukup baik jumlah maupun mutunya, aman, merata dan terjangkau (Gunawan Prabowo, et.al., 2006). Satelit mikro penginderaan jauh dengan misi ketahanan pangan perlu dirancang sebagai alat yang mampu menjawab kebijakan dan peraturan tentang pembangunan pangan di Indonesia.

Perolehan data sistem satelit Landsat MSS, Landsat TM, SPOT-1 sampai dengan SPOT-4, JERS-1, NOAA AVHRR dan MODIS yang dilakukan LAPAN telah memberikan kontribusi sangat besar dalam pembangunan sumber daya pangan di darat dan di laut Indonesia. Berbagai metoda pemanfaatan data sistem-sistem satelit tersebut telah digunakan oleh instansi-instansi yang terkait di Indonesia. Kelangsungan keberadaan data satelit penginderaan jauh sangat penting bagi pembangunan ketahanan pangan.

Kelangsungan kemampuan perolehan data sumber daya alam bagi pembangunan ketahanan pangan yang berkesinambungan memerlukan penguasaan teknologi wahana dan sensor satelit penginderaan jauh. Peningkatan kemampuan LAPAN membangun kemandirian teknologi satelit mikro adalah alternatif yang baik mengingat peluang (a) alih teknologi satelit mikro dengan kerja sama luar negeri dan (b) ada relatif kemudahan memperoleh sub-sistem dan komponen satelit mikro.

Pengamatan produksi pangan dengan satelit dapat mendukung tiga

sektor pembangunan pangan sebagai berikut (Gunawan Prabowo, et.al., 2006).

- Sektor pertanian dan perkebunan, misal beras, jagung, kedelai, sayuran dan lain-lain. Meliputi pemantauan satelit antara lain pada obyek-obyek :
 - Perubahan tata guna tanah;
 - Fase pertumbuhan tanaman pangan;
 - Keberadaan dan fungsi irigasi, hidrologi dan daerah aliran sungai;
 - Kerusakan lahan pertanian;
 - Bencana banjir dan kekeringan;
 - Tinjauan sinkron optik (sinoptik) luas *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) untuk observasi iklim, kondisi lahan, kondisi tanaman dan lain-lain;
 - Tinjauan mendalam untuk observasi luas tanam, luas panen, kondisi tanaman, produktivitas tanam, kondisi lahan lokal, siklus tanam dan lain-lain;
- * Sektor perikanan, misal perikanan laut dan budidaya pantai dan lain-lain. Meliputi pemantauan satelit antara lain pada obyek-obyek:
 - Budidaya pantai;
 - Konservasi sumber daya dan lingkungan pantai;
 - Zona potensi ikan laut;
 - Perubahan lingkungan dan pencemaran laut.
- Sektor peternakan, misal peternakan daging, susu, unggas, perikanan darat dan lain-lain. Meliputi pemantauan satelit antara lain pada obyek-obyek:
 - Lingkungan danau, sungai dan perairan darat yang mendukung sumber daya pangan dan peternakan perikanan darat;
 - Potensi daerah peternakan.

2.2 Sensor Satelit Mikro Misi Ketahanan Pangan

Kemampuan sensor satelit mikro untuk deteksi tanaman pangan adalah sebagai berikut (Gunawan Prabowo, et.al., 2006).

- Analisa obyek sumber daya pangan, adalah pada tingkat Provinsi dan Kabupaten pada skala 1:50.000 sampai dengan 1:100.000;

- Periode keberulangan (*temporal resolution*) observasi Bumi adalah antara 14 sampai dengan 30 hari untuk identifikasi siklus atau fase tanaman pangan, khususnya tanaman padi;
- Pengamatan tingkat mendalam pada:
 - Estimasi luas tanam dan panen;
 - Identifikasi siklus tanaman;
 - Prediksi produktivitas pertanian;
 - Klasifikasi jenis tanaman;
 - Identifikasi kondisi lahan.

Resolusi ruang (*spatial resolution*) sekitar 10 sampai dengan 30 meter adalah memadai untuk memperoleh skala data citra antara 1:50.000 sampai dengan 1:100.000 (Gunawan Prabowo, et.al., 2006). Lebar cakupan sensor (*swath width*) adalah sekitar 60 sampai dengan 180 kilometer.

Sensor pada satelit mikro menggunakan empat detektor dengan empat *band* spektral, yaitu (a) *band* biru, (b) *band* hijau, (c) *band* merah dan (d) *band* infra merah dekat untuk mengamati objek hutan, perkebunan, pertanian, budidaya pantai dan sebagainya (Gunawan Prabowo, et.al., 2006).

Informasi di atas merupakan hasil studi saat ini tentang program satelit mikro dengan sensor pencitra (*imaging sensor*) bagi misi ketahanan pangan yang dilakukan oleh Pusat Teknologi Elektronika Dirgantara, LAPAN (Gunawan Prabowo, et.al., 2006).

2.3 Teknologi Satelit Mikro Penginderaan Jauh

Satelit mikro adalah kategori satelit dengan berat total satelit antara 10 sampai dengan 100 kg (Klaus Briess, et. al., 2002). Ukuran maksimum satelit pada saat peluncuran (misal panel surya terlipat) adalah sekitar panjang lebih kecil dari 50 cm, lebar lebih kecil dari 50 cm dan tinggi lebih kecil dari 80 cm (Klaus Briess, et. al., 2002). Ukuran maksimum satelit mikro akan dibatasi *envelope* kedudukan satelit mikro pada wahana peluncur untuk muatan tambahan (*auxilliary payload* atau *piggy back payload*).

Sistem satelit penginderaan jauh terdiri atas dua bagian utama, yaitu

- Wahana satelit (*satellite vehicle*), dan
- Sensor penginderaan jauh muatan satelit (*remote sensing sensor payload*).

Sensor penginderaan jauh muatan satelit mikro dibangun berdasarkan kebutuhan misi (*mission requirement*) yang ditetapkan pengguna data penginderaan jauh dan *stakeholder* lainnya.

Berbagai sub-sistem satelit mikro mempunyai fungsi mendukung operasi perolehan data oleh sensor muatan satelit sebagai berikut.

- ^H Menjamin ketersediaan daya listrik;
- Menjaga hubungan telekomunikasi antara satelit mikro dengan stasiun bumi kendali dan sebaliknya selama usia satelit di orbit;
- Mempertahankan sikap satelit yang tepat di orbit menghadap tepat tegak ke Bumi atau ke samping (*nadir or off-nadir pointing*);
- Mempertahankan navigasi posisi lintasan satelit yang tepat pada orbit (koordinat, *apogee*, *perigee*, inklinasi, waktu orbit dan lain-lain);
- » Melakukan program perolehan data sensor;
- Melakukan pengolahan awal data (*data pre-processing*) dan format data sensor;
- Melakukan *encode*, modulasi dan transmisi data telemetri sensor penginderaan jauh ke stasiun bumi telemetri;
- Menjaga keselamatan dan kesehatan seluruh sub sistem satelit mikro dan posisi navigasi lintasan orbit satelit mikro untuk menjamin kelangsungan operasi satelit dan sensor penginderaan jauh selama usia satelit di orbit.

Teknologi sensor muatan satelit mikro dengan 3 atau 4 band spektral pada orbit sinkron matahari atau *sun-synchronous orbit* (SSO) secara umum dapat dikelompokkan sebagai berikut.

- Satelit penginderaan jauh perkotaan dan tata ruang, pada resolusi ruang rupa bumi lebih kecil dari 5 m dan

cakupan *{swath width}* lebih besar dari 20 km;

- Satelit penginderaan jauh sumber alam, pada resolusi lebih kecil dari 30 m dan cakupan lebih besar dari 100 km;
- Satelit penginderaan jauh lingkungan, pada resolusi lebih kecil dari 500 m dan cakupan lebih besar dari 2.000 km;

3 PERKEMBANGAN TEKNOLOGI ELEKTRONIK, PENGOLAHAN DATA, TELEKOMUNIKASI DAN ZAT PADAT

Perkembangan satelit mikro dimungkinkan karena adanya kemajuan teknologi zat padat *{solid state}*, mikro-elektronik, opto-elektronik, telekomunikasi, robotik, komputer pengolahan data dan perangkat lunak.

Pemanfaatan kemajuan teknologi tersebut memungkinkan untuk :

- Penggunaan *memory chip* dengan kapasitas sangat besar dan biaya rendah, misal 1 GB *memory chip* harganya sangat murah dan ukurannya relatif sangat kecil (digunakan pada *flash disk*);
- Kinerja tinggi komputer pengolahan data dengan ukuran relatif kompak, daya listrik rendah dan biaya rendah;
- Ukuran sub-sistem telekomunikasi yang kompak dengan kemampuan tinggi *{cellular technology}*, dan lain-lain.

Kemajuan teknologi tersebut di atas berperan pada pengembangan teknologi berbagai sub-sistem satelit mikro.

Kemajuan teknologi zat padat, opto-elektronik dan mikro-elektronik menghasilkan detektor optik *Charge Coupled Device* (CCD) sebagai komponen pelarik elektronik *{electronic push broom scanner}* sistem sensor penginderaan jauh. Pelarik elektronik menggunakan CCD linier *{linear CCD array}*, yang terdiri atas 1 baris dengan ribuan elemen foto sensitif berupa foto diode berukuran sekitar 10 μm . 1 baris elemen CCD linier dapat melarik dan merekam data citra dengan kedudukan baris tegak lurus arah orbit satelit. 1 unit CCD linier di-gunakan untuk melarik data citra pada 1 band spektral.

Sebagai contoh, detektor CCD linier terdiri atas 1 baris (10 μm) dan 5.000 elemen foto diode akan mempunyai ukuran elemen foto sensitif sepanjang 5 cm. Bila ditempatkan pada sistem optik dengan resolusi rupa bumi 20 m maka CCD linier akan melakukan pelarikan hingga cakupan 100 km. Pelarikan *push broom* terjadi tanpa ada komponen bergerak atau getaran karena sepenuhnya dilakukan secara elektronik.

Karena ukuran 1 unit CCD linier relatif kompak maka sebanyak 3 sampai dengan 4 CCD linier pada prinsipnya dapat ditempatkan pada 1 bidang gambar kamera. Masing-masing CCD linier diberi filter spektral yang telah ditetapkan untuk perolehan data multi-spektral.

Beberapa satelit mikro menggunakan detektor CCD matrix, di mana elemen foto diode tersusun secara matrix pada detektor. CCD matrix tidak dapat digunakan untuk pelarikan *{scanning}*. Pengambilan data citra dilakukan dengan cara pemotretan digital pada 3 band spektral secara berurutan sepanjang lintasan orbit, sehingga memerlukan kamera dengan beberapa bidang gambar atau beberapa buah kamera. Lebar cakupan *{swath width}* data citra akan terbatas karena CCD matrix biasanya di format untuk kamera video atau fotografi.

Ukuran dan berat satelit mikro akan membatasi ukuran dan berat sensor penginderaan jauh muatan satelit, terutama masa dan panjang vokal lensa sistem optik. Umumnya panjang vokal lensa untuk satelit mikro adalah lebih kecil dari 1 m.

4 BERBAGAI SUB-SISTEM SATELIT MIKRO PENGINDERAAN JAUH

4.1 Sub Sistem Utama Wahana Satelit Mikro Penginderaan Jauh

Wahana satelit mikro yang ditujukan bagi misi penginderaan jauh pada umumnya terdiri atas sub-sistem satelit sebagai berikut (Stephen D. Wall, et. al., 1990).

- *Data handling and storage* (pengaturan, pengolahan dan penyimpanan data);
- *Power supply* (sumber pembangkit tenaga listrik, catu daya tenaga listrik dan pengatur pemakaian tenaga listrik);
- *Attitude control* (kendali atas sikap satelit di orbit);
- *Propulsion* (pendorong satelit di orbit);
- *Telecommunication* (perhubungan transmisi data antara satelit di orbit dengan stasiun bumi kendali dan telemetri);
- *Flight software* (perangkat lunak bagi operasi komputer satelit);
- *Thermal control* (pengatur temperatur di dalam satelit);
- *Flight mechanics* (peralatan mekanik bergerak).

Wahana satelit dinyatakan tidak berfungsi bila salah satu sub-sistem tidak berfungsi dengan baik. Seluruh sub-sistem tersebut mempunyai fungsi utama (a) melayani kebutuhan operasi sensor penginderaan jauh dan (b) menjaga kesehatan dan keselamatan satelit di orbit. Kesehatan satelit adalah keadaan di mana satelit di orbit dapat dikendalikan oleh stasiun bumi dalam melaksanakan misi penginderaan jauh selama perkiraan usia satelit di orbit.

Penjelasan singkat fungsi berbagai sub-sistem satelit mikro secara umum untuk mendukung misi penginderaan jauh, adalah sebagai berikut.

4.2 Sub Sistem OBDH

Sub sistem pengolahan data dan perekaman data pada wahana satelit di orbit atau *on-board data handling and storage* (OBDH) melakukan fungsi sebagai berikut.

4.2.1 Perolehan perintah kendali stasiun bumi

Melakukan *decode* atau menterjemahkan modulasi signal radio berisi perintah kendali (*control command*) yang dikirim dari stasiun bumi kendali ke satelit mikro di orbit (*up-link*). OBDH kemudian meneruskan perintah yang diterima dari stasiun bumi kendali

kepada setiap sub-sistem satelit yang harus melaksanakan perintah tersebut. Perintah stasiun bumi ke satelit mikro dapat berupa *real time* untuk dilaksanakan segera pada saat perintah diterima satelit atau berupa *time-tagged sequence* untuk dilaksanakan satelit sesuai waktu yang telah diprogram;

4.2.2 Penyusunan dan transmisi data telemetri ke stasiun bumi kendali dan telemetri

Melakukan pengukuran dan perekaman berbagai data parameter dan informasi satelit mikro di orbit, antara lain:

- Status kesehatan seluruh sub-sistem satelit;
- Umpan balik (*feedback*) perintah operasi setiap sub-sistem satelit yang diterima dari stasiun bumi kendali dan OBDH;
- Hasil pengukuran reflektansi rupa bumi oleh sensor penginderaan jauh;
- Parameter sub-sistem dan muatan satelit lainnya.

Seluruh data tersebut kemudian di susun menurut aturan urutan komunikasi, di *encode* dan di modulasi untuk dikirim sebagai aliran data transmisi telemetri dari satelit ke stasiun bumi kendali (*down-link*).

4.2.3 Mengambil alih kendali satelit dalam keadaan anomali satelit

Mengambil alih kendali satelit bila karena suatu alasan satelit kehilangan hubungan telekomunikasi dengan stasiun bumi kendali. Pada keadaan demikian OBDH secara terprogram mengatur dan menjaga kelangsungan operasi semua sub-sistem satelit yang vital dan melakukan prosedur *recovery* dari kegagalan komunikasi sesuai perangkat lunak terpasang. OBDH akan terus berusaha mendapatkan kembali hubungan antara satelit mikro dengan stasiun bumi kendali. Kendali OBDH atas satelit dilakukan atas prosedur perangkat lunak, termasuk algoritma logika *causal* pada *artificial intelligence*;

4.2.4 Penyimpanan data telemetri

Menyimpan data dan parameter yang belum dapat ditransmisi ke stasiun bumi kendali melalui telekomunikasi telemetri pada lintasan yang sedang berlangsung untuk dikirim pada kesempatan lintasan yang berikutnya.

Wahana satelit mikro yang berorbit harus mempunyai kemampuan beroperasi sendiri (*autonomous operation*) di orbit. Kemampuan beroperasi sendiri tersebut sampai pada setiap tingkat sub-sistem satelit-mikro.

Untuk melaksanakan fungsi-fungsi di atas, sub-sistem OBDH terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut.

- *On-Board Computer* (OBC) bagi fungsi pengolahan data dan penghitungan parameter kendali operasi satelit mikro;
- Pengatur urutan (*sequencing*) perintah dari stasiun bumi kendali dan OBDH yang ditujukan ke berbagai sub-sistem satelit;
- *Data relay units* untuk meneruskan dan membagi perintah dan data pada berbagai sub-sistem satelit;
- *Decoders, encoders* dan *format* data untuk menterjemahkan dan menyusun format logik data dan parameter operasi satelit agar terbaca berbagai sub-sistem satelit. Aturan susunan format logik data terutama digunakan pada telekomunikasi antara satelit mikro di orbit dan stasiun bumi kendali;
- *On-board data recorder* untuk melakukan fungsi sebagai berikut.
 - Merekam data parameter dan status sub-sistem satelit;
 - Merekam hasil perolehan data sensor penginderaan jauh;
 - Menyimpan perangkat lunak bagi operasi sub-sistem OBDH dan sub-sistem lainnya pada satelit mikro.

Satelit mikro memakai perekam data elektronik *solid state memory* karena ukuran fisik dan penggunaan daya sangat kecil, serta operasi penyimpanan dan pengambilan data sepenuhnya secara elektronik (tidak ada mekanik bergerak).

4.3 Sub-Sistem Catu Daya

Satelit di orbit biasanya menggunakan sumber tenaga listrik (a) panel matahari, (b) baterai kimia dan (c) reaktor nuklir. Pada satelit mikro digunakan kombinasi panel surya foto voltaik dan baterai kimia. Baterai kimia adalah jenis yang dapat diisi ulang (*rechargeable*), yaitu tenaga listrik yang disimpan baterai dapat diisi kembali setelah digunakan. Sub-sistem catu daya satelit terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut.

- Pembangkit listrik (*power supply*);
- Pengatur daya listrik (*power regulator*);
- Penyimpan daya listrik (*power storage*).

Sub-sistem catu daya satelit berfungsi untuk mengatur pemakaian daya listrik pada satelit di orbit sebagai berikut.

- Pembangkitan daya listrik;
- Pengaturan kualitas daya listrik;
- Pengaturan penggunaan dan pembagian daya listrik,
- Penyimpanan daya listrik;
- Disipasi kelebihan energi listrik;
- Menjaga ketersediaan energi listrik secara berlanjut;
- Menjaga usia baterai dan sumber listrik lainnya;
- Manajemen program daya listrik.

4.4 Sub-Sistem Pengatur Sikap Satelit

Beberapa sistem pengatur sikap satelit di orbit (*attitude control*) adalah sebagai berikut.

4.4.1 Stabilisasi satelit dengan bandul

Stabilisasi satelit pada sumbu tegak secara pasif dengan bandul sentrifugal (*gravity boom stabilized attitude control*). Bandul sentrifugal yang diletakkan di bagian atas satelit menjulur ke arah antariksa atau arah berlawanan gaya tarik bumi. Dengan cara demikian sensor satelit penginderaan jauh dan antena telekomunikasi dapat selalu menghadap ke arah bawah, yaitu ke arah permukaan bumi. Biasanya dapat terjadi sedikit ayunan bandul, terutama kalau satelit melalui badai matahari.

4.4.2 Stabilisasi satelit dengan diputar

Stabilisasi satelit dapat dilakukan dengan cara diputar pada sumbu satelit berbentuk silinder (*spin-stabilized attitude control system*). Cara stabilisasi ini banyak digunakan pada satelit telekomunikasi jenis lama di orbit geo-sinkron, misal seri satelit *Palapa-A* dan *Palapa-B*, tetapi juga dapat digunakan pada jenis satelit lain dan pada orbit lainnya pula. Efek stabilisasi terjadi karena gaya putar membuat satelit stabil pada sumbu putar satelit, yaitu mirip efek putar pada permainan gangsing. Posisi sumbu putar satelit selanjutnya dapat diatur, misal dengan *gravity boom*;

4.4.3 Stabilisasi satelit dengan kendali pada 3-sumbu satelit

Sistem stabilisasi dengan kendali sikap pada tiga sumbu satelit (*three axis attitude control*) di orbit menggunakan *gyroscope* dan roda momentum (*momentum wheel*). Stabilisasi satelit demikian adalah yang terbaik dalam memperoleh orientasi sensor penginderaan jauh muatan satelit untuk mengamati sasaran obyek penginderaan jauh secara tepat pada berbagai sudut *nadir* dan *off-nadir*. Satelit telekomunikasi geostasioner misal *Palapa-C*, *Telkom-1* dan *Telkom-2* menggunakan kendali stabilisasi satelit pada tiga sumbu satelit untuk mengarahkan telapak antena (*antenna footprint*) pada wilayah jangkauan telekomunikasi sistem secara tepat di permukaan bumi. Stabilisasi satelit dengan kendali pada 3 sumbu satelit merupakan sistem aktif.

Satelit penginderaan jauh pada umumnya menggunakan pengaturan sikap satelit dengan *three axis attitude control*. Beberapa satelit mikro menggunakan *gravity boom stabilized attitude control*. Kelemahan *gravity boom* adalah dapat terjadinya osilasi kecil ayunan bandul di orbit.

Pada *three axis attitude control* data tentang orientasi wahana satelit diperoleh beberapa sub-sistem satelit, misal *gyroscope*, kamera bintang atau sensor

matahari yang menunjukkan sikap satelit yang sebenarnya. Penyimpangan sikap satelit di deteksi dengan perhitungan data selisih posisi satelit yang diminta dengan kedudukan satelit yang sebenarnya. Data selisih perhitungan pada ketiga sumbu satelit dikirim ke OBDH untuk menempatkan satelit pada kedudukan sikap yang seharusnya di orbit. Perbaikan sikap satelit dapat dilakukan dengan menggunakan sub-sistem (a) propulsi pendorong atau *thruster*, (b) roda momentum (*momentum wheel*) dan *gyroscope* atau (c) gabungan kedua sub-sistem *thruster* dan *momentum wheel* pada satelit besar.

Mengingat dimensi dan berat relatif kecil maka pengaturan sikap satelit mikro di orbit terutama menggunakan gabungan sub-sistem *momentum wheel* dan *gyroscope* serta kamera bintang. Komponen ketiga sub-sistem tersebut dapat dibuat relatif kecil untuk ditempatkan pada satelit mikro. Putaran 3 unit *momentum wheel* pada 3-sumbu satelit (sumbu x, y dan z) yang lebih dipercepat atau lebih diperlambat akan mengalihkan sebagian momen putar pada wahana satelit sehingga mengubah orientasi sikap satelit di orbit. Arah gaya *momentum wheel* yang dialihkan pada wahana satelit merupakan reaksi berlawanan dengan arah percepatan atau perlambatan *momentum wheel*.

Biasanya satelit mikro juga dapat membawa kumparan magnetik (*magnetic coil*) untuk mengubah orientasi sikap satelit berdasarkan gaya magnetik satelit terhadap medan magnet bumi. Kumparan magnetik hanya digunakan sebagai sub-sistem sekunder, karena kurang efektif sebagai sub-sistem primer.

Momentum wheel dapat mengalami saturasi, bila kecepatan putarannya sudah terlalu tinggi sehingga tidak dapat digunakan lagi untuk mengatur sikap satelit di orbit. Bilamana hal tersebut terjadi maka putaran *momentum wheel* harus diperlambat atau di-desaturasi (*desaturation*). Bila ada upaya memperlambat *momentum wheel* maka gaya perlambatan tentu dapat menyebabkan satelit mengalami perubahan orientasi sikap. Oleh

karena itu, perlambatan *momentum wheel* dilakukan secara berhati-hati dengan memberi gaya kompensasi untuk mempertahankan sikap satelit. Gaya kompensasi diperoleh dengan menggunakan pengatur sikap satelit lainnya (sub-sistem sekunder) di orbit, misal sub-sistem (a) pendorong *thruster* atau (b) *magnetic coil*. Orientasi sikap satelit dibuat tidak terlalu banyak berubah selama proses desaturasi *momentum wheel* dilakukan.

4.5 Sub-Sistem Telekomunikasi

Sub-sistem telekomunikasi frekuensi radio (RF) diperlukan agar OBDH satelit dan seluruh sub-sistem satelit dapat berhubungan secara timbal-balik dengan stasiun bumi kendali dan telemetri. Berbagai bagian sub-sistem telekomunikasi pada satelit mikro (dan stasiun bumi kendali dan telemetri) adalah sebagai berikut.

- Antena *directional* pada satelit (antena *tracking* pada stasiun bumi kendali);
- Pemancar (*transmitter*) energi signal RF;
- Penerima (*receiver*) energi signal RF;
- Penguat (*amplifier*) daya signal RF;
- Modulator signal data RF;
- De-modulator signal data RF;
- Encoder signal data;
- Decoder signal data;
- Generator waktu satelit, dan lain-lain

Sub-sistem telekomunikasi diperlukan satelit untuk dapat berhubungan dengan stasiun bumi kendali dan sebaliknya pada daerah frekuensi telekomunikasi RF serta kecepatan aliran dan format transmisi data yang telah ditetapkan.

Untuk menjaga kelangsungan dan kehandalan telekomunikasi antara satelit mikro di orbit dengan stasiun bumi kendali dan sebaliknya diperlukan sinkronisasi pemancar RF dan penerima RF (*Tx and Rx synchronization*) mengingat keadaan lingkungan di antariksa serta dinamika orbit satelit mikro.

Pergeseran frekuensi telekomunikasi RF yang diakibatkan oleh efek *Doppler*

karena gerakan satelit di orbit relatif terhadap stasiun bumi harus diupayakan tidak mengganggu hubungan komunikasi antara satelit mikro dan stasiun bumi kendali. Efek Doppler pada hubungan telekomunikasi RF antara satelit di orbit dan stasiun bumi kendali selalu bervariasi. Ini disebabkan karena apabila satelit diamati oleh stasiun bumi pada berbagai kedudukan orbit maka kecepatan satelit akan selalu berubah atau bervariasi. Pergeseran frekuensi telekomunikasi juga dapat disebabkan perubahan temperatur sekeliling alat pemancar RF atau penerima RF pada satelit mikro di orbit.

Proses mencocokkan (*matching*) hubungan telekomunikasi pemancar RF dan penerima RF antara stasiun bumi kendali dan satelit mikro disebut *locking up*. Seringkali upaya *locking up* tidak mudah untuk dilakukan, tetapi teknologi tersebut juga semakin maju.

4.6 Sub-Sistem Perangkat Lunak

Kemajuan pada kinerja prosesor komputer dan tingginya kapasitas penyimpanan data pada *solid state memory* memberikan kemampuan pemakaian perangkat lunak dengan fungsi luas dan lebih lengkap pada satelit mikro, sehingga lebih banyak proses kendali satelit mikro yang dapat dilakukan oleh OBDH. Perkembangan tersebut membuka peluang untuk mengalihkan lebih banyak tugas-tugas operasi rutin stasiun bumi kendali pada perangkat lunak satelit mikro di orbit (*micro-satellite flight software*).

Sub-sistem perangkat lunak mempunyai peran dan fungsi pada kendali operasi satelit, antara lain sebagai berikut.

- Mengatur operasi satelit sesuai perintah terprogram yang dikirim oleh stasiun bumi kendali atau yang dilakukan OBDH satelit mikro secara mandiri (*autonomous*) bagi operasi seluruh sub-sistem satelit;
- Melakukan tugas perolehan, pengolahan, penyimpanan, pengaturan dan pengiriman data telemetri dari semua sub-sistem satelit dan sistem sensor

penginderaan jauh muatan satelit ke stasiun bumi kendali dan telemetri;

- Mengatur dan menjaga kendali sikap (*attitude control*) satelit di orbit;
- Mendeteksi anomali satelit dan melakukan perlindungan satelit dari gangguan (*fault protection*) secara *autonomous* bila terjadi anomali satelit;
- Mengamati keadaan dan parameter kritis satelit dengan deteksi dan pemulihan (*recovery*) antara lain, sebagai berikut.
 - Anomali pada setiap sub-sistem dan pada sensor muatan satelit,
 - Kehilangan hubungan telekomunikasi antara satelit dan stasiun bumi;
 - Perubahan ekstrem temperatur di luar parameter operasional satelit;
 - Penyimpangan sikap satelit di orbit;
 - Penyimpangan navigasi satelit di orbit.
- Melakukan perlindungan secara otonomi (*autonomous protection*) untuk menjaga kelangsungan operasi dan kendali sistem satelit pada saat terjadi anomali, misal
 - Mengarahkan antena satelit mikro selalu ke permukaan bumi;
 - Mematikan sub-sistem yang tidak kritis untuk menghemat tenaga;
 - Meminta bantuan pertolongan stasiun bumi kendali;
 - Melakukan sendiri manuver orbit yang diperlukan;
 - Menjalankan *algorithm* untuk menjaga kesehatan dan keselamatan satelit;
 - Melakukan operasi rutin satelit mikro di orbit, dan lain-lain.

4.7 Sub-Sistem Pengatur Temperatur

Pada permukaan luar wahana satelit mikro di orbit yang menghadap ke arah matahari dan permukaan luar satelit yang menghadap ke arah berlawanan matahari (bagian kegelapan antariksa) akan terdapat perbedaan temperatur sampai ratusan derajat Celsius.

Perbedaan temperatur yang ekstrem tersebut dapat berpengaruh pada kinerja komponen-komponen satelit mikro, terutama komponen elektronik. Pengaturan temperatur di dalam wahana satelit

penting dilakukan mengingat peralatan elektronik dan mekanik harus ditempatkan pada parameter temperatur lingkungan kerja tertentu agar dapat bekerja dengan baik dan memberi hasil optimal.

Perlindungan terhadap komponen elektronik satelit yang sensitif temperatur dari gangguan atau kerusakan dilakukan dengan berbagai cara, yaitu antara lain, sebagai berikut.

- Memberikan selimut pelindung radiasi pada bagian luar satelit;
- Memasang radiator pembuang panas di dalam dan di luar satelit;
- Memberi warna, bahan lapisan dan cermin permukaan luar satelit yang memantulkan energi radiasi;
- Memasang *jendela* yang dapat dibuka dan ditutup untuk mengatur temperatur di dalam wahana satelit;
- Menempatkan pemanas di dalam satelit;
- Memberi warna hitam di luar permukaan wahana satelit yang membuang panas.

Pada umumnya parameter temperatur kerja peralatan elektronik adalah sekitar -25°C sampai dengan 80°C , dengan nilai temperatur kerja ideal pada 25°C (Texas Instruments, 1984). Di luar parameter temperatur kerja tersebut peralatan elektronik akan mengalami kerusakan, khususnya komponen zat padat (*solid state*).

Pengaturan temperatur di dalam wahana satelit mikro pada umumnya adalah dengan cara sebagai berikut.

- Memberi selimut termal atau pelindung radiasi lainnya di bagian luar satelit,
- Memberi warna hitam di permukaan luar wahana satelit yang membuang atau mengemisikan panas;
- Memasang radiator di bagian luar wahana satelit untuk membuang panas.

4.8 Sub-Sistem Mekanik

Sub-sistem mekanik (*flight mechanics*) antara lain terdiri atas:

- Mekanik penggerak bertenaga mesin listrik;

- Mekanik penggerak non-mesin, misal pegas, tekanan gas dan sebagainya;
- Gigi dan tuas penggerak;
- Lengan siberetik, robotik dan lain-lain.

Penggunaan sistem mekanik dimaksudkan untuk membuat bagian tertentu satelit dapat digerakkan secara terpisah dari bagian lainnya untuk menjalankan fungsi tertentu yang diharuskan, misal membuka lipatan panel surya. Beberapa sub-sistem mekanik memerlukan sensor untuk memantau gerakan, misal pada pemutaran cermin pelarik mekanik dalam sistem sensor penginderaan jauh.

Sub-sistem mekanik rentan terhadap masalah terutama pada bagian yang bergerak, sehingga pemantauan atas status komponen mekanik dilakukan sebagai upaya untuk menghindari dan mengantisipasi terjadinya gangguan dan masalah pada komponen tersebut. Pada prinsipnya rancang bangun satelit akan menghindari adanya sub-sistem mekanik.

Gaya gerakan mekanik yang dilakukan pada wahana satelit harus dikompensasi dengan gaya sama dan berlawanan, karena setiap gaya yang ditimbulkan oleh gerakan mekanik dapat mengubah sikap satelit di orbit.

Sub-sistem mekanik yang digunakan pada satelit mikro umumnya terdiri atas antara lain (a) *gyroscope* dan *momentum wheel* pada sub-sistem *attitude control*, (b) pembuka panel surya (*deployable solar panel*), (c) pembuka *gravity boom* bila diperlukan dan lain-lain.

4.9 Sub-Sistem Propulsi

Sub-sistem propulsi (mesin pendorong satelit di orbit) diperlukan satelit penginderaan jauh operasional atau komersial, misal satelit *Landsat*, *SPOT*, *JERS-1*, *MODIS*, *Ikonos* dan lain-lain. Sub-sistem propulsi pada sistem satelit penginderaan jauh digunakan untuk kendali sikap satelit (*attitude control*) di orbit dan menjaga posisi satelit pada orbit sinkron matahari (*sun-synchronous*

orbit). Tujuan untuk melakukan kendali sikap satelit dan posisi navigasi orbit satelit terutama untuk menjaga kualitas data citra penginderaan jauh, misal iluminasi dan sudut matahari yang tetap pada perolehan data oleh sensor penginderaan jauh serta ketepatan arah sensor ke obyek di muka bumi yang diamati (Oliver Montenbruck, et.al, 2005).

Pada satelit besar sub-sistem propulsi dapat berupa mesin roket (*thruster*), termasuk bahan bakar, tangki, katup, regulator, pipa aliran dan peralatan kendali. *Thruster* pada satelit menggunakan bahan bakar jenis *mono-propellant*, misal *hydrazine* (N_2H_4). Sampai dengan temperatur sekitar $250^\circ C$ cairan *hydrazine* berada dalam keadaan stabil, tetapi bila diberi katalisator (temperatur tinggi atau dinyalakan) maka komposisinya akan terurai dengan melepas panas dan pemuaiian (tekanan) gas tinggi (George P. Sutton, et.al., 2001). Besarnya tekanan gas (daya dorong) dapat diatur dengan kendali aliran *hydrazine* ke *thruster*, dan sub-sistem propulsi satelit tersebut dapat dinyalakan serta dimatikan setiap waktu.

Bahan bakar satelit harus dapat disimpan selama perkiraan usia satelit di orbit untuk sewaktu-waktu siap digunakan. *Hydrazine* cair dapat disimpan di dalam tangki khusus sampai 15 tahun (George P. Sutton, et. al., 2001).

Sub-sistem propulsi satelit mikro juga dapat menggunakan gas bertekanan tinggi yang dilepas pada *nozzle* atau *thruster* kecil. Jenis gas yang digunakan adalah Nitrogen, Krypton, Argon, Freon 14, udara kering dan lain-lain. Tangki gas umumnya berbentuk bola (George P. Sutton, et.al., 2001).

Penggunaan gas bertekanan tinggi pada sub-sistem propulsi satelit hanya memberikan daya dorong rendah. Apabila daya dorong lebih besar diperlukan maka harus menggunakan *thruster* berbahan bakar *mono-propellant* (George P. Sutton, et.al. 2001).

Sub-sistem propulsi pada satelit digunakan antara lain, sebagai berikut.

- *Orbit insertion* atau manuver penempatan satelit ke orbit yang telah ditetapkan pada saat satelit diluncurkan;
- Kendali sikap satelit di orbit;
- Koreksi orbit satelit;
- Modifikasi orbit satelit.

Ukuran dan kekuatan sub-sistem propulsi pada satelit tergantung antara lain pada:

- Besar daya dorong yang diperlukan;
- Jumlah pemakaian selama perkiraan usia satelit;
- Lama waktu setiap kali digunakan, misal untuk kendali sikap satelit atau manuver satelit pada orbit selama perkiraan usia satelit.

Sistem propulsi satelit sangat diperlukan pada kejadian badai matahari di mana efek atmosfer dapat berpengaruh lebih besar pada satelit di orbit. Badai matahari menyebabkan atmosfer atas bergejolak dan berombak. Bergejolaknya atmosfer atas dapat menimbulkan gesekan (*fictiori*) lebih besar antara satelit di orbit dengan molekul atmosfer yang lebih rapat saat badai matahari berlangsung. Gesekan dengan molekul atmosfer yang lebih rapat pada satelit akan memperlambat kecepatan satelit di orbit yang menyebabkan peluruhan ketinggian orbit satelit. Kejadian peluruhan orbit satelit dapat membuat usia satelit lebih pendek karena satelit dapat lebih cepat jatuh ke muka bumi.

Apabila satelit masih dapat berfungsi dengan baik dan masih sangat diperlukan maka satelit tersebut harus diupayakan untuk ditempatkan kembali pada lintasan orbit yang benar. Upaya pemulihan satelit di orbitnya memerlukan daya dorong dengan sub-sistem propulsi.

Sub-sistem propulsi satelit mikro memakai perangkat *nozzle* yang bekerja dengan gas bertekanan tinggi atau *mini-thruster* dengan bahan bakar *mono-propellant*. Aliran gas bertekanan tinggi atau bahan bakar *hydrazine* dapat diatur secara tepat untuk mendapat daya

dorong pada *nozzle* atau *mini-thruster* yang diinginkan, yaitu sebesar koreksi orbit atau orientasi sikap satelit yang diperlukan.

5 KESIMPULAN

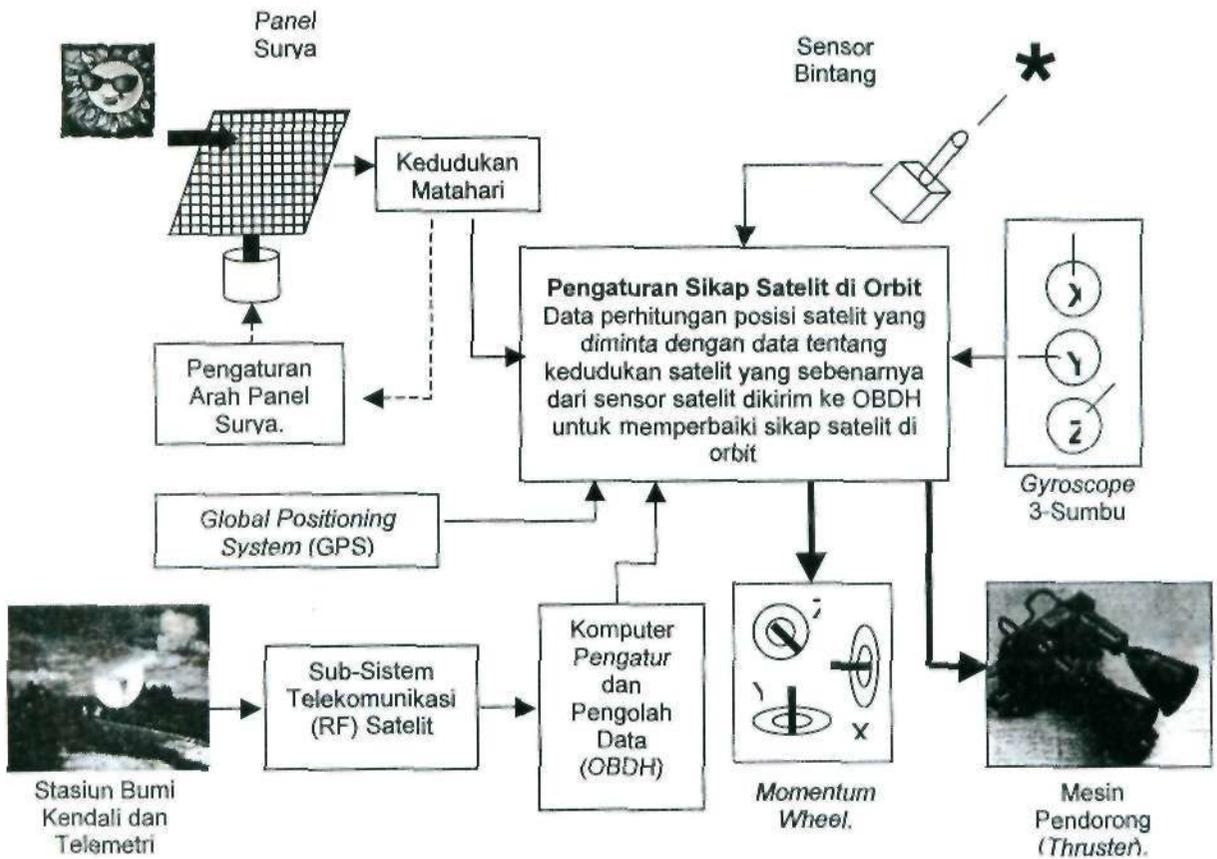
- Teknologi satelit mikro merupakan peluang membangun sistem pengamatan bumi dari antariksa yang murah, mudah dan efektif;
- Indonesia sebagai negara kepulauan dengan wilayah sangat luas, kekayaan sumber alam, keaneka ragaman lingkungan dan dinamika pembangunan tata ruang sangat memerlukan penguasaan teknologi pengembangan dan pembangunan satelit;
- Pengembangan, rancang bangun, integrasi dan operasi seluruh sub-sistem satelit mikro ditujukan agar wahana satelit secara optimal dapat memberikan pelayanan operasi sensor penginderaan jauh yang menjadi muatan satelit di orbit dengan misi spesifik, misal ketahanan pangan;
- Perencanaan dan pembangunan wahana satelit berikut seluruh fungsi sub-sistem baru dapat dimulai setelah seluruh data parameter teknik dan operasi sensor penginderaan jauh muatan satelit telah dapat dipastikan;
- Peluang pengembangan sub-sistem wahana satelit mikro dengan misi penginderaan jauh dimungkinkan oleh kemajuan teknologi zat padat (*solid state*), mikro-elektronik, opto-elektronik, robotik, komputer pengolahan data, telekomunikasi dan perangkat lunak;
- Kinerja satelit mikro berikut seluruh fungsi sub-sistem untuk misi penginderaan jauh adalah serupa dengan satelit penginderaan jauh operasional;
- Keadaan fisik sensor penginderaan jauh muatan satelit dibatasi oleh dimensi satelit mikro dengan keseluruhan berat satelit lebih kecil dari 100 kg. Pembatasan ini terutama berpengaruh pada dimensi lensa kamera bila bermaksud memperoleh resolusi sensor sangat tinggi pada muka bumi, yaitu

panjang fokus lensa kamera f lebih kecil dari 1 m;

- Wahana satelit mikro dan sensor muatan satelit sangat potensial untuk dibangun bagi keperluan misi penginderaan jauh tata ruang, sumber alam dan lingkungan;
- Wahana satelit mikro secara terintegrasi dan pada seluruh tingkat sub-sistem harus dapat beroperasi secara *autonomous*, serta dapat mendukung fungsi operasi harian satelit mikro di orbit;
- Wahana satelit harus mampu untuk dapat melakukan pemulihan bila terjadi anomali pada salah satu atau lebih fungsi sub-sistem di orbit dengan pembangunan perangkat lunak OBDH bagi tugas tersebut.
- Pembangunan sensor pelarik bagi perolehan data citra penginderaan jauh optik multi-spektral adalah dengan detektor CCD linier.

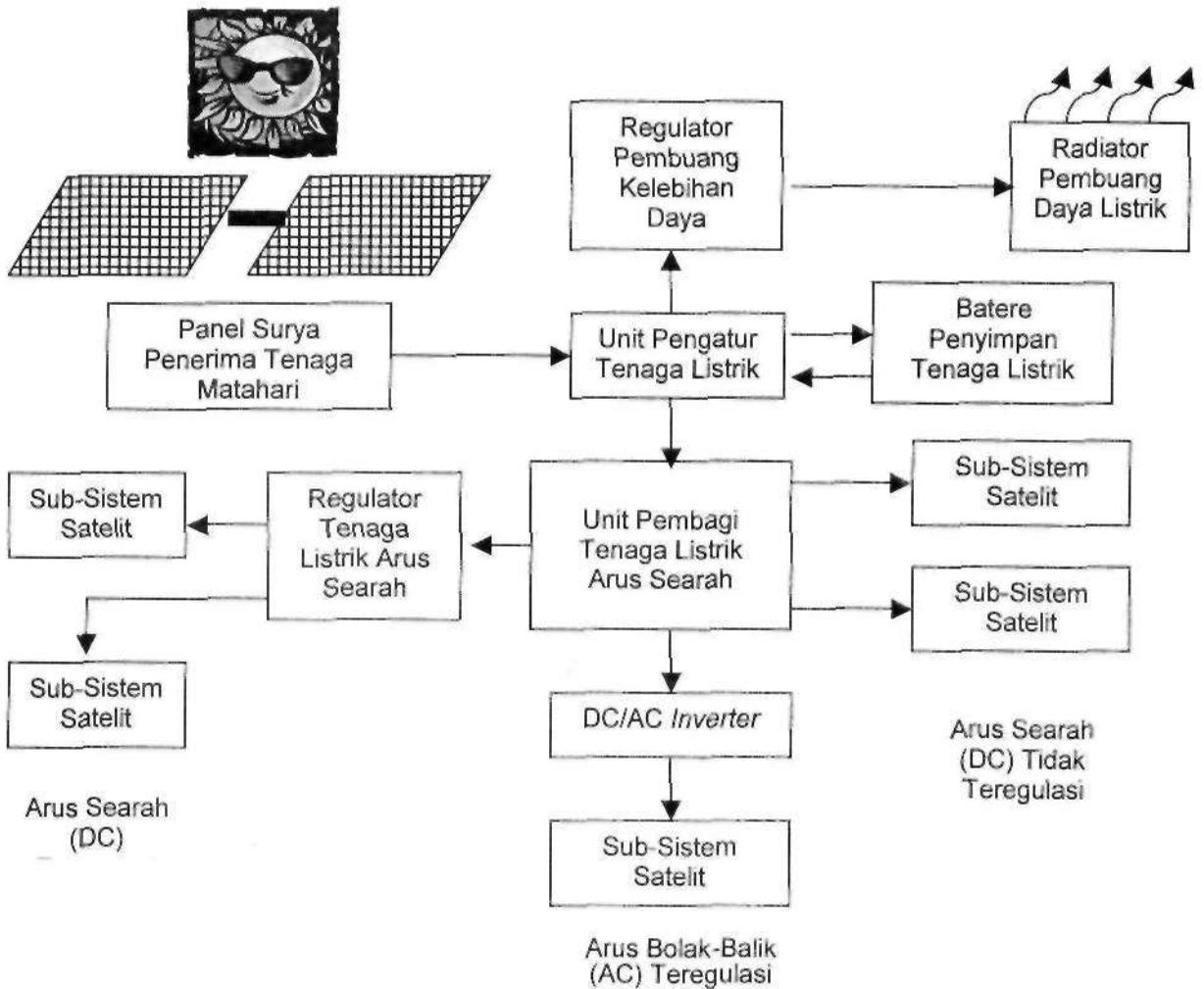
DAFTAR RUJUKAN.

- George P. Sutton, et. al., 2001. *Rocket Propulsion Elements*, John Wiley & Sons. Inc..
- Gunawan Prabowo, et.al., 2006. *Pengembangan Satelit Generasi II*, Pustek-elegan, LAPAN.
- H. P. Roser, 2003. *Small Satellites for Earth Observation*, 4th International Symposium, IAA.
- Klaus Briess, et. al., 2002. *Outline of a Remote Sensing Micro-Satellite for Food Sustainability in Indonesia*, DLR Berlin.
- LAPAN, 2004. *Development of LAPAN-TUBSAT Micro-Satellite, Technical Document, Project Manager, Space Telecommunication and Information, System Technology Design and Development*.
- Oliver Montenbruck, et.al., 2005. *Satellite Orbits: Models, Methods. Applications*, Springer.
- Optoelectronic Data Book: Infrared, 1984. Imaging and Visible Products*, Texas Instruments.
- Stefan Schultz, et.al, 2000. *DLR-TIJBSAT: A Microsatellite for Interactive Earth Observation*, TU Berlin.
- Stephen D. Wall et.al., 1990. *Design of Mission Operations System for Scientific Remote Sensing*, Taylor & Francis.
- W.G. Rees, 2005. *Physical Principles of Remote Sensing*, Second Edition, Cambridge University Press.
- Willi Hallmann, et.al, 1999. *Handbuch Raumfahrt-technik*, 2. Auflage, Hanser Verlag.



Gambar 4-1:Skema fungsi pengaturan sikap satelit

Berbagai sub-sistem satelit yang digunakan di dalam pengaturan sikap satelit (*attitude control*) dan hubungan kerja antar sub-sistem. Stasiun bumi kendali meminta satelit ditempatkan pada sikap tertentu. Perintah tersebut diterima oleh sub-sistem *on-board data handling* (OBDH), yang kemudian membaca parameter sikap satelit yang sesungguhnya dari sensor bintang, panel surya atau gyroscope. OBDH kemudian menghitung selisih parameter kedudukan satelit yang sesungguhnya dengan parameter yang diminta stasiun bumi, dan dari selisih perhitungan tersebut menempatkan satelit pada sikap yang diminta oleh stasiun bumi. Pengaturan sikap satelit dilakukan dengan momentum wheel atau thruster. Panel surya juga dapat digunakan untuk memeriksa sikap satelit dari informasi arah posisi matahari yang menghasilkan daya listrik maksimum.



Gambar 4-2: Fungsi sub-sistem catu daya

Denah di atas menggambarkan fungsi sub-sistem catu daya sistem satelit. Panel surya digunakan sebagai generator tenaga listrik untuk mengisi batere dan menjalankan sub-sistem satelit. Tenaga satelit diperoleh dari panel surya dan batere. Operasi ini dikendalikan oleh unit pengatur tenaga listrik, yang terutama bertugas melakukan (a) menjaga usia batere, (b) mengatur kualitas sumber daya listrik pada berbagai sub-sistem satelit dan (b) mengelola dan membagi tenaga listrik yang diperlukan bagi pengoperasian semua sub-sistem satelit. Bila batere sudah terisi penuh sehingga terdapat kelebihan arus listrik dari panel surya maka kelebihan arus listrik tersebut dibuang ke antariksa melalui radiator pembuang daya listrik.