

ANALISIS KETERSEDIAAN JASA SATELIT PENENTU POSISI LOKASI GUNA Mendukung PROGRAM PENGEMBANGAN ROKET PENGORBIT SATELIT LAPAN

Alexander Sudibyo

Peneliti Pusat Analisis Sistem dan Informasi Kedirgantaraan, LAPAN

ABSTRACT

Using an experimental rocket, LAPAN will send a nano satellite into outerspace at an equatorial orbit of 300 Km from earth surface. This project needs an appropriate system for identifying the orbital position and location of the satellite. This paper presents various types of system designated for identifying position and location of objects, either those of satellite based or terrestrial based. A gradual eliminations were made to the list, and resulted that the GPS system is to be the suggested one.

ABSTRAK

Dengan menggunakan roket eksperimental, LAPAN akan mengorbitkan satelit nano ke orbit ekuatorial dengan ketinggian 300 Km dari muka Bumi. Proyek ini memerlukan sistem penentu posisi lokasi satelit yang sesuai. Makalah ini menyajikan hasil identifikasi berbagai sistem penentu posisi lokasi baik yang berbasis satelit maupun yang terestris. Eliminasi bertahap dari daftar sistem penentu posisi lokasi yang berhasil diidentifikasi, menghasilkan pilihan jatuh pada sistem GPS.

1 PENDAHULUAN

LAPAN berencana mengorbitkan satelit nano (*berat < 10 Kg*) dalam rangka menguji kinerja (*performance*) roket pengorbit satelit buatan sendiri (Adi Sadewo, 2008). Menurut rencana, satelit yang akan dipergunakan pun juga buatan LAPAN. Ia akan berorbit ekuatorial pada ketinggian sekitar 300 Km dari muka Bumi. Untuk memantau lintasan yang ditempuh, satelit tersebut perlu diperlengkapi dengan fasilitas penentuan posisi lokasi satelit. Secara teoritis penentuan posisi lokasi satelit dapat dilakukan dengan bantuan sistem penentu posisi lokasi berbasis satelit. Deskripsi teoritis mengenai hal ini disajikan pada bagian dua makalah ini.

Di dunia ini dikenal sejumlah sistem penentu posisi lokasi seperti Glonass, GNSS, GPS, Galileo, Beidu, Doris dan lain lain. Makalah ini memuat analisis ketersediaan jasa satelit penentu posisi lokasi yang memungkinkan untuk mendukung experimentasi pengorbitan satelit

yang akan dilakukan oleh LAPAN antara tahun 2014 sampai dengan 2018.

Kriteria yang dipergunakan dalam analisis ada tiga yaitu (1) waktu berlangsungnya eksperimen; (2) jenis dan lintasan orbit satelit LAPAN serta (3) ketersediaan perangkat sistem penentu posisi lokasi di pasaran. Waktu berlangsungnya experimentasi dipergunakan untuk eliminasi sistem yang tidak operasional saat berlangsungnya eksperimen. Jenis dan lintasan orbit satelit LAPAN dipergunakan untuk eliminasi sistem yang tidak melayani wilayah yang akan dilaluinya. Yang paling sesuai adalah yang mampu melayani seluruh jalur orbit yang akan dilalui oleh satelit LAPAN. Kalau ternyata tidak tersedia, perlu dikembangkan alternatif kombinasi sistem penentu posisi lokasi sehingga semaksimal mungkin jalur yang diperkirakan akan dilalui oleh satelit LAPAN dapat dilayani. Ketersediaan perangkat di pasaran, menjadi penting untuk menyederhanakan, dalam arti mengurangi tantangan program pengembangan roket

pengorbit, karena fokus program ini adalah pada pengembangan roket.

Deskripsi teoritis tentang penentuan posisi lokasi suatu objek, baik objek statis maupun yang bergerak (*mobile*) disajikan di butir dua, untuk memberikan gambaran umum bagaimana suatu objek dapat ditentukan posisi lokasinya baik secara horisontal (*lintang dan bujur*) maupun vertikal (*ketinggian*). Penentuan posisi lokasi suatu objek ada yang berbasis satelit ada yang terestris. Pada butir tiga disajikan deskripsi tentang kedua jenis sistem ini baik sistem yang ada (*saat ini operasional*) dan yang akan ada (*dalam taraf pengembangan*). Melalui deskripsi tersebut diyakini dapat menyederhanakan proses identifikasi sistem penentu posisi lokasi yang paling tepat untuk mendukung eksperimentasi LAPAN, sebagaimana dikerangkakan dalam pendahuluan ini.

2 DESKRIPSI PENENTUAN POSISI LOKASI SUATU OBJEK

Dalam penentuan posisi lokasi suatu objek, pendahulu sistem navigasi satelit adalah sistem navigasi terestrial yang mengandalkan pemancar radio gelombang panjang (*longwave radio transmitters*) seperti DECCA, LORAN dan Omega (Joe Kunches, 1995). Sistem navigasi terestrial ini bekerja dengan menyiarkan sinyal radio dari suatu lokasi induk yang diketahui posisi lokasinya, disertai dengan pemancaran sinyal dari sejumlah stasiun pembantu yang juga diketahui posisi lokasinya secara pasti. Tenggang waktu antara penerimaan dan pengiriman sinyal pada stasiun pembantu secara cermat dikontrol, dengan maksud agar penerima dapat memperbandingkan tenggang waktu penerimaan dan tenggang waktu pengiriman. Hasil pantauan terhadap gelombang radio yang dipancarkan oleh stasiun induk dan para stasiun pembantu digunakan sebagai dasar perhitungan posisi lokasi alat penerima.

Sistem navigasi satelit yang pertama adalah Transit (Wikipedia, 2008), suatu sistem yang digelar oleh Militer Amerika Serikat pada tahun 1960 an. Skenario

operasi sistem navigasi Transit didasarkan atas '*Efek Doppler*' yang secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut: satelit yang bergerak pada suatu jalur yang diketahui, memancarkan sinyal radio pada frekuensi tertentu; frekuensi yang diterima akan sedikit bergeser dari frekuensi yang dipancarkan, sebagai akibat dari gerakan satelit terhadap posisi lokasi objek yang ditera (*dimana alat penerima sinyal radio yang dikirim oleh satelit berada*). Dengan memantau pergeseran frekuensi tersebut selama beberapa waktu tertentu yang relatif singkat, perangkat penerima dapat menentukan lokasi dirinya terhadap satelit yang satu serta terhadap satelit yang lain. Dengan melakukan beberapa kali pengukuran maka dapat ditentukan lokasi yang pasti dari posisi perangkat penerima tersebut.

Sebagai bagian dari pengiriman sinyal radio, satelit juga mengirimkan data orbit dirinya. Untuk menjamin kecermatan data orbit satelit, USNO (*United States Naval Observatory*) secara berkesinambungan mengobservasi jalur orbit dengan presisi tinggi atas seluruh anggota konstelasi satelit navigasi. Bila suatu satelit bergeser dari orbit semula, maka USNO akan menginformasikan data tersebut ke satelit yang bersangkutan untuk aktualisasi data diri.

Pada sistem yang lebih modern, proses identifikasi posisi lokasi dapat 'lebih langsung' (Honeywell, 2005). Satelit menyiarkan sinyal yang berisi posisi satelit dan waktu presisi sinyal tersebut disiarkan. Posisi satelit ditransmisikan pada suatu data pesan yang di '*superimpose*' kan pada suatu kode yang mengindikasikan suatu referensi waktu. Satelit mempergunakan suatu jam atomik (*atomic clock*) untuk memelihara sinkronisasi atas semua satelit dalam konstelasinya. Perangkat penerima memperbandingkan waktu penyiaran dengan waktu penerimaan yang diukur dengan suatu jam internal, dengan demikian terukurlah waktu tempuh sinyal dari satelit. Pengukuran seperti itu dapat dilakukan secara bersamaan ke sejumlah satelit, memungkinkan suatu perhitungan posisi

lokasi dengan akurasi tinggi secara seketika (*real time*), melalui suatu perhitungan yang disebut '*continual fix*'.

Setiap perhitungan jarak, tanpa memperhitungkan sistem yang dipergunakan, berarti menempatkan perangkat penerima pada suatu '*spherical shell*' dalam penghitungan jarak dari penyiar (satelit). Dengan melakukan beberapa kali pengukuran tersebut dan kemudian mencari suatu titik dimana mereka bertemu, maka suatu kepastian dicapai. Kondisi inilah yang disebut '*continual fix*'. Namun demikian, dalam hal perangkat penerima bergerak cepat, maka posisi sinyal pun bergerak cepat pula bersamaan dengan penerimaan sinyal dari sejumlah satelit. Tambahan lagi sinyal radio melambat sedikit sewaktu melewati ionosfer, dan pelambatan ini bervariasi dengan sudut penerima terhadap satelit, yang mengakibatkan perbedaan jarak tempuh dalam ionosfer. Perhitungan dasar haruslah menemukan garis langsung yang terpendek tangensial dari keempat kerang kerucut miring (*oblate spherical shells*) yang berpusat pada keempat satelit bersangkutan. Perangkat penerima navigasi satelit memperkecil kesalahan dengan menggunakan kombinasi sinyal dari beberapa satelit dan beberapa korelasi, dan kemudian dengan teknik pemfilteran seperti yang dilakukan oleh Kalman (Kaplan, E.D., C.J. Hegarty, 2006), untuk menggabungkan data yang '*berderau, parsial dan selalu berubah*' menjadi suatu estimasi tunggal tentang posisi, waktu dan kecepatan.

Motif awal pengembangan satelit navigasi adalah untuk kepentingan militer seperti pada operasi '*smart bomb*' (Honeywell, 2005): dengan bantuan satelit navigasi, roket pembawa bahan peledak yang sedang meluncur dibimbing dengan presisi tinggi menuju sasaran. Di samping itu suatu pasukan, kapal atau kendaraan perang lainnya, dapat dengan mudah mengetahui posisi dirinya di medan tempur, padang pasir, hutan atau lautan. Dengan perannya yang demikian strategis, sistem navigasi kadang dipandang mampu

melipatgandakan kemampuan suatu pasukan di medan tempur.

Kemanfaatan sistem navigasi satelit saat ini meliputi berbagai bidang seperti navigasi darat, laut, maupun udara dan antariksa. Alat penerima satelit navigasi yang demikian kecil mudah disesuaikan untuk berbagai wahana seperti roket, motor, mobil, taksi, bus, kereta api, pesawat terbang, kapal tangker, kapal pesiar bahkan kapal nelayan. Di berbagai pesawat terbang komersial tersedia *display* jalur penerbangan yang ditempuh oleh pesawat yang bersangkutan.

Oleh karena besarnya pasar pengguna jasa satelit GPS, banyak tipe dan merk alat penerima sinyal GPS (*Handheld GPS Receiver*) yang dipasarkan, seperti: Garmin, LG, Tomtom, Navigon, Magellan, Mitac Mio dan Lowrange. Hampir setiap merk memiliki variasi tipe. Harga alat penerima GPS bervariasi tergantung merk dan tipe, Garmin (2007) memasang harga antara US\$ 270 hingga US\$ 590, sesuai tipe yang sedang dipasarkan saat ini.



Gambar 2-1: GPSPMAP Garmin 76 CSx, (Sumber: Johnny Appleseed, 2007)

Keterangan gambar: Ukuran fisik: 6.2"x 2.7"x 1.2" berat 0.48 Lbs (0.22 Kg). Sangat sensitif, kompak, tahan air dan mudah dioperasikan. Memori: microSD card 128 MB, kapasitas dapat ditambah. Tersedia basemap, routing otomatis, kompas elektronik serta altimeter yang barometrik,

dan beberapa kemampuan lain, seperti penelusuran 10.000 titik secara otomatis, menyimpan 20 jejak yang masing masing 500 titik

Hal-hal tersebut di atas menunjukkan bahwa navigasi satelit telah menjadi kebutuhan banyak pihak dalam masyarakat modern. Kondisi yang demikian pernah dipergunakan oleh Amerika Serikat untuk mendesak pihak Eropa untuk mengembangkan sistem navigasi satelit (EGNOS) dalam kerangka GNSS, dengan dalih Amerika Serikat akan menutup penggunaan GPS bagi pihak lain di saat-saat darurat perang dan atau kedaruratan yang lain (Honeywell, 2005).

Kondisi tersebut di atas memberikan pelajaran bahwa ketergantungan pada suatu sistem tertentu milik negara lain dapat merugikan, karena kemampuan untuk menyediakan sinyal navigasi juga berarti kemampuan untuk mengingkari keberadaan konstelasi satelitnya. Operator satelit navigasi secara potensial memiliki kemampuan untuk tidak menyediakan jasa navigasi bagi suatu wilayah tertentu yang dikehendakinya. Seperti terjadi saat berlangsung 'Perang Teluk tahun 2002' sistem satelit GPS tidak melayani kepentingan lain di luar kepentingan Amerika Serikat khususnya militer.

Kemanfaatan konstelasi satelit penentu posisi lokasi pada umumnya (Wikipedia, 2008) adalah:

- **Navigasi**, meliputi jasa bagi mereka yang secara pribadi mengoperasikan peralatan individual untuk *tracking*, hingga peralatan yang disesuaikan untuk mendukung operasi mobil, truk, kapal dan bahkan pesawat udara,
- **Transfer dan sinkronisasi referensi waktu** adalah transmisi dan sinkronisasi referensi waktu, dari satu titik ke titik yang lain. Yang biasa melakukan hal seperti ini adalah sistem navigasi berbasis radio,
- **Jasa yang berbasis lokasi** (*Location Based Services = LBS*) adalah jasa informasi

yang dapat diperoleh dari suatu sistem jaringan komunikasi mobil tentang lokasi suatu perangkat komunikasi mobil yang memerlukan jasa. Contoh aplikasi semacam ini adalah *Enhanced 911* atau *E 911* yang tersedia di Amerika Serikat. Petugas Pemadam Kebakaran, Ambulance Gawat Darurat atau Polisi, langsung dapat memperoleh informasi dimana lokasi dan posisi peminta bantuan walaupun yang bersangkutan tidak sempat memberikan identifikasi lokasi dan posisi dirinya. Sistem ini merupakan salah satu contoh telekomunikasi konvergen,

- **Survei** (*surveying*), menurut ACSM (*American Congress on Surveying and Mapping*). Survei dirumuskan sebagai '*ilmu dan seni untuk melakukan semua pengukuran yang esensial guna menentukan posisi relatif sejumlah titik dan atau rincian tentang objek fisis dan budaya yang berada di atas atau bawah permukaan Bumi, dan mengolah serta menyajikannya sehingga menjadi bentuk yang dapat digunakan dan atau untuk menetapkan posisi dan lokasi titik dan atau rincian yang lain*',
- Memasukkan data ke dalam suatu Sistem Informasi Geografi (SIG atau *GIS= Geographic Information System*),
- Pencarian dan penyelamatan (*Search and Rescue=SAR*),
- Ilmu geofisika (*Geophysical Sciences*),
- Sarana pelacakan binatang pada pengelolaan kehidupan liar (*wild life*).

Di samping sistem navigasi yang berbasis satelit (*GPS, Galileo, Glonass, QZSS, IRNSS, Compass/Beidou*) juga telah dikembangkan sistem navigasi satelit yang berbasis terestris. Contoh jenis kedua ini adalah sistem Doris, walau dasar teoritis sama, yaitu *effect Doppler*, namun sinyal tidak dipancarkan oleh suatu perangkat di satelit tetapi oleh jaringan global Stasiun Doris Beacons, sedangkan perangkat penerima sinyal dipasang di satelit (periksa lebih lanjut pada butir 4.2. Doris).

3 SISTEM SATELIT NAVIGASI SAAT INI

3.1 GNSS

GNSS merupakan kependekan dari *Global Navigation Satellite System* (Zinoviev, A.E 2005), suatu istilah atau sebutan baku untuk sistem navigasi satelit yang mampu secara otomatis memberikan informasi posisi geospasial kepada yang memerlukan dimanapun mereka berada di lingkungan bola Bumi asalkan yang bersangkutan mengoperasikan perangkat yang sesuai untuk keperluan tersebut. GNSS memberi kemungkinan kepada suatu perangkat penerima (*receiver*) elektronik berukuran relatif kecil (dapat digenggam) untuk menentukan posisi lokasi dirinya dalam bujur, lintang dan ketinggian dalam meter. Dasar perhitungan yang dipergunakan adalah waktu dan jarak tempuh sinyal radio yang diterima oleh penerima tersebut dari suatu konstelasi satelit navigasi tertentu. Setiap anggota konstelasi satelit memancarkan sinyal yang memuat identitas dirinya. Variasi waktu datangnya sinyal dari para anggota konstelasi, merupakan informasi dasar bagi perhitungan posisi lokasi yang dimaksud.

Status saat ini GPS (*Global Positioning System*) milik Amerika Serikat merupakan satu-satunya sistem yang berfungsi secara penuh dalam kerangka GNSS (IAC – RSA, 2008). Glonass yang dioperasikan oleh Rusia (semula dikembangkan dan dibangun oleh Uni Soviet), sedang dalam tahap restorasi yang dilakukan bekerjasama dengan Pemerintah India dan diharapkan beroperasi secara penuh pada tahun 2009. GPS (*Galileo Positioning System*) milik Masyarakat Eropa (sedang dalam tahap pengembangan dan diharapkan dapat beroperasi secara penuh pada tahun 2010). Pemerintah China juga berencana memperluas cakupan sistem navigasi satelit regional miliknya (*Beidou Regional Navigation Satellite System*) menjadi bercakupan global (Changsheng

Cai, Yang Gao, 2007). Pemerintah India juga sedang mengembangkan sistem navigasi satelit IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*) yang bersifat regional menjadi global (ISRO, 2006b). Menurut jadwal, sistem yang baru akan beroperasi secara penuh pada tahun 2012.

Sampai dengan tahun 2008, sekurang-kurangnya telah dapat diidentifikasi adanya dua generasi sistem navigasi satelit:

Generasi I : mencakup sistem navigasi satelit saat ini (**GPS** dan **Glonass** yang berliputan global) beserta **SBAS** (*Satellite Based Augmentation Systems*) dan **GBAS** (*Ground Based Augmentation Systems*). Di samping memiliki liputan global, saat ini juga terdapat sistem navigasi satelit yang memiliki liputan regional misalnya QZSS (**Quasi-Zenith Satellite System**) milik Japan, IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*) milik India dan Beidou (*Beidou Navigation Satellite System*) milik China.

Berkenaan dengan SBAS dikenal ada dua kategori yaitu **Global SBAS** dan **Regional SBAS**. Contoh Global SBAS adalah *Omnistar* dan *StarFire*, sedangkan contoh Regional SBAS adalah WAAS (*Wide Area Augmentation System*) milik Amerika Serikat, EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) milik Masyarakat Eropa, MSAS (*Multi-Functional Satellite Augmentation System*) milik Jepang dan GAGAN (*GPS Aided Geo Augmented Navigation*) milik India. Seperti halnya SBAS, pada GBAS pun dikenal ada tiga kategori yaitu yang berskala kontinental, regional dan lokal. Yang berskala kontinental, misalnya GRAS (*Ground-Based Regional Augmentation System*) milik Australia dan DGPS (*Differential Global Positioning Systems*) milik Amerika Serikat. Yang berskala regional, misalnya: CORS Networks (*Continuously Operating Reference Stations Networks*) milik Amerika Serikat (*National Geodetic Survey*). Yang lokal bercirikan adanya satu stasiun referensi GPS yang

mengoperasikan fasilitas koreksi RTK (*Real Time Kinematic*) contohnya LAAS (*Local Area Augmentation System*) milik Amerika Serikat.

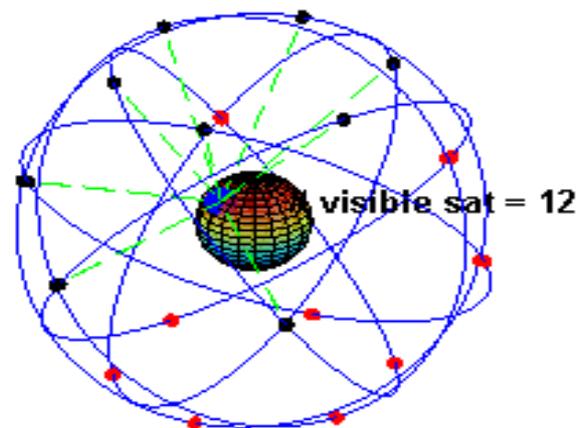
Generasi II sistem satelit navigasi yang secara independen menyediakan suatu sistem navigasi satelit sipil, kecuali GPS_EU. Generasi II akan menyediakan jasa pemantauan yang penting dengan kecermatan dan integritas bagi navigasi sipil. Sistem ini mempergunakan frekuensi L1 dan L2 untuk keperluan navigasi sipil dan frekuensi L5 untuk sistem integritas. Masih dalam pengembangan kemungkinan penggunaan frekuensi L2 dan L5 pada sistem navigasi satelit.

Masih terkait GNSS, sejak tahun 1994 telah terbentuk suatu federasi sukarela institusi-institusi pendukung GNSS yang disebut IGS yaitu International GNSS Service. Federasi ini memiliki sekitar 200 anggota yang berasal dari berbagai belahan Bumi, yang memiliki komitmen untuk menyediakan data dengan kualitas tinggi untuk mendukung riset kebumihan, aplikasi multi disiplin dan pendidikan. Saat ini IGS terintegrasi dengan sistem GPS dan GLONASS dan sedang mempersiapkan diri untuk sistem-sistem dalam GNSS generasi mendatang.

3.2 GPS

GPS adalah sistem satelit navigasi yang dikembangkan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat (*United States Department of Defense*), dan dikelola oleh *United States Air Force 50th Space Wing*. Nama asli sistem satelit ini adalah Navstar GPS, tetapi kemudian lebih populer dengan sebutan GPS. Untuk memelihara kelangsungan hidup sistem ini Pemerintah Amerika Serikat mengalokasikan dana sebesar US\$ 750 juta per tahun, termasuk biaya litbang dan penggantian perangkat yang menua (Zinoviev, 2005).

Pada awalnya konstelasi satelit ini dirancang hanya mempergunakan tiga bidang orbit dan pada masing masing bidang orbit ditempatkan 8 buah satelit, namun kemudian diubah; mempergunakan enam bidang orbit dengan masing masing bidang orbit ditempatkan 4 satelit. Oleh adanya kebutuhan peningkatan ketelitian, kemudian diubah lagi, kondisi saat ini mempergunakan enam bidang orbit, dan pada masing masing bidang orbit ditempatkan 8 buah satelit. Status pada tanggal 21 April 2008 sebagaimana dilaporkan oleh IAC (periksa Tabel 3-1) keseluruhan satelit yang beroperasi 32 buah satelit, menempati 6 bidang orbit, sehingga memungkinkan dari suatu tempat dapat tampak 12 buah satelit yang dapat dipergunakan sebagai referensi penentuan posisi lokasi (periksa Gambar 3-1). Dengan jumlah satelit yang banyak maka tidak lagi berlaku uniformitas tatanan, dan berlakulah tatanan yang nonuniform. Secara relatif, kondisi ini dapat meningkatkan reliabilitas, ketersediaan dan kecermatan jasa sistem, kalau dibandingkan dengan yang sistem uniform, terutama bila terjadi sejumlah satelit yang mengalami gangguan fungsi.



Gambar 3-1: 12 buah Satelit Yang Tampak dari 45° LU, (Sumber: IAC – RSA, 2008)

Tabel 3-1:STATUS KONSTELASI GPS PADA TANGGAL 21 APRIL 2008

Plane	Slot	PRN	NORAD	Type SC	Launch date	Input date	Outage date	Active life (months)	Notes
A	1	9	22700	II-A	26.06.93	20.07.93		176.4	
	2	31	29486	IIR-M	25.09.06	13.10.06		18.2	
	3	8	25030	II-A	06.11.97	18.12.97		124.1	
	4	7	32711	IIR-M	15.03.08	24.03.08		0.9	
	5	25	21890	II-A	23.02.92	24.03.92		190.2	
	6	27	22108	II-A	09.09.92	30.09.92		186.2	
B	1	16	27663	II-R	29.01.03	18.02.03		61.9	
	2	30	24320	II-A	12.09.96	01.10.96		137.9	
	3	28	26407	II-R	16.07.00	17.08.00		92.2	
	4	12	29601	IIR-M	17.11.06	13.12.06		16.1	
	5	5	22779	II-A	30.08.93	28.09.93		174.1	
C	1	6	23027	II-A	10.03.94	28.03.94		168.1	
	2	3	23833	II-A	28.03.96	09.04.96		143.0	
	3	19	28190	II-R	20.03.04	05.04.04		48.4	
	4	17	28874	IIR-M	26.09.05	13.11.05		28.0	
	6	29	32384	IIR-M	20.12.07	02.01.08		3.6	
D	1	2	28474	II-R	06.11.04	22.11.04		41.0	
	2	11	25933	II-R	07.10.99	03.01.00		99.6	
	3	21	27704	II-R	31.03.03	12.04.03		60.2	
	4	4	22877	II-A	26.10.93	22.11.93		172.9	
	5	24	21552	II-A	04.07.91	30.08.91		199.6	
E	1	20	26360	II-R	11.05.00	01.06.00		94.6	
	2	22	28129	II-R	21.12.03	12.01.04		51.3	
	3	10	23953	II-A	16.07.96	15.08.96		139.4	
	4	18	26690	II-R	30.01.01	15.02.01		86.0	
	5	32	20959	II-A	26.11.90	10.12.90		160.0	
F	1	14	26605	II-R	10.11.00	10.12.00		88.3	
	2	15	32260	IIR-M	17.10.07	31.10.07		5.7	
	3	13	24876	II-R	23.07.97	31.01.98		122.5	
	4	23	28362	II-R	23.06.04	09.07.04		45.3	
	5	26	22014	II-A	07.07.92	23.07.92		188.8	

(Sumber: IAC-RSA - 2008)

Ke enam bidang orbit satelit GPS membentuk inklinasi sebesar 55° terhadap bidang ekuator Bumi, dan masing masing terpisah 60° satu terhadap yang lain

dipandang dari satu titik referensi tertentu terhadap perpotongan orbit dengan bidang ekuator Bumi (Bruyninx, C, 2007). Satelit mengorbit sirkular pada ketinggian sekitar

20.200 Km dari muka Bumi, dan setiap satelit menempuh dua kali jalur orbitnya setiap hari sidereal, demikian pula jejak jalur orbitnya di Bumi diulang dua kali setiap hari sidereal. Hal ini sangat menguntungkan pada tahap pengembangan, sebab walau hanya dengan 4 satelit yang tampak dari suatu tempat di muka Bumi, fungsi utama penentuan posisi lokasi telah dapat berfungsi dengan baik. Untuk operasi militer, jejak jalur orbit yang berulang-ulang lebih memberikan jaminan liputan tentang suatu zone perang tertentu.

Pengendalian satelit GPS dilakukan oleh stasiun-stasiun Angkatan Udara Amerika yang berada di Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, and Colorado Springs, Colorado; bersama-sama dengan stasiun-stasiun yang dioperasikan oleh NGA (*National Geospatial-Intelligent Agency*). Hasil pemantauan dikirim ke Stasiun Pengendali Utama (*Master Control Station*) milik USAF (*United States Air Force Space Command*) yang berada di *Schreiver Air Force Base*, Colorado Springs, yang dioperasikan oleh 2SOPS (*2nd Space Operations Squadron*) USAF.

3.3 GLONASS

Glonass adalah sistem navigasi satelit yang dikembangkan dan dioperasikan oleh Uni Soviet. Nama Glonass merupakan kependekan dari *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* yang artinya sistem navigasi satelit global (Sergey, K., R. Sergey, T. Suriya, 2007). Glonass dikembangkan oleh Uni Soviet sejak tahun 1976, tetapi baru enam tahun kemudian (12 Oktober 1982) pengorbitan satelit dimulai dan seluruh konstelasi satelit beroperasi secara penuh baru tahun 1995. Untung tidak diraih malang berdatangan, kemunduran ekonomi yang diikuti bubarnya Uni Soviet, mengakibatkan Glonass tidak terpelihara dengan baik. Pemerintah Rusia yang bertugas mengoperasikan Glonass baru pada tahun 2001 berketetapan untuk melakukan restorasi terhadap Glonass. Pada tahun 2004, Pemerintah India sepakat bekerjasama dengan Pemerintah

Rusia dalam rangka restorasi Glonass, dengan target operasi penuh pada tahun 2010 (*MosNews*, 2004). Sedang institusi yang disertai tanggung jawab mengoperasikan Glonass adalah KNITs pada Kementerian Pertahanan Republik Federasi Rusia.

Ruas antariksa Glonass terdiri dari 24 satelit, 21 operasional dan 3 cadangan (*RSA*, 2008). Satelit menempuh orbit sirkular pada ketinggian sekitar 19.100 Km dari muka Bumi, dengan inklinasi terhadap bidang ekuator sebesar 64.8° . Ke 24 satelit tersebut terbagi dalam 3 bidang orbit yang satu bidang terhadap yang lain berjarak 120° , sedang jarak antar satelit di jalur orbitnya adalah 45° . Tiap satelit menyelesaikan satu kali jalur orbitnya selama 11 jam 15 menit.

Ruas Bumi untuk kendali Glonass tersebar dibekas wilayah Uni Soviet dengan Pusat Kendali dan Standar Waktu berada di Moskow, sedangkan TTS (*Telemetry and Tracking Station*) berada di St. Petersburg, Ternopol, Eniseisk dan Komsomolsk-na-Amure.

4 SISTEM NAVIGASI SATELIT YANG SEDANG DALAM PENGEMBANGAN

4.1 COMPASS

Pemerintah Cina telah menetapkan suatu program untuk memperluas jangkauan sistem satelit navigasi regional yang dimilikinya, yang biasa disebut *Beidou* atau *Big Dipper*, menjadi mencakup global (*Wikipedia*, 2008). Dengan cakupannya yang bersifat global sistem satelit navigasi Cina ini kemudian disebut Compass. Menurut rencana sistem satelit Compass mempergunakan 35 buah satelit yang 30 buah berorbit MEO (*Medium Earth Orbit*) sedang yang 5 buah berorbit GSO (*Geostationary Satellite Orbit*).

4.2 DORIS

Doris merupakan kependekan dari '*Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite*'. Sistem navigasi berbasis satelit ini dikembangkan oleh Perancis, kerjasama antara CNES (*Centre*

National D'Etude Spatiale), IGN (Institute de Geographie Nationale), dan GRDS (Groupement de Research Geodetique Spatiale) (Wikipedia, 2008). Sistem Doris memiliki dua komponen utama yang ditempatkan di satelit terdiri dari antena (Gambar 4-1), DGxx Instrument (Gambar 4-2) dan Osilator (Gambar 4-3), sedangkan yang berada di permukaan Bumi berupa jaringan global Stasiun Doris Beacons, yang pada tahun 2008 terdiri dari 61 buah, yang tersebar di berbagai penjuru dunia (Gambar 4-5) dan salah satu di antaranya berada di Cibinong dioperasikan oleh Bakosurtanal. Gambar 4-6 menampilkan perangkat elektronik pada stasiun Doris Beacons, sedangkan Gambar 4-7 menampilkan antena stasiun Doris Beacons. **Keterangan:** Gambar 4-1 sampai dengan 4-8 bersumber dari Wikipedia (2008).



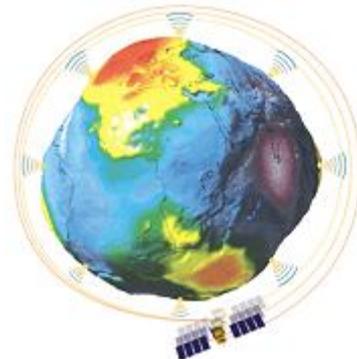
Gambar 4-2: Doris DGxx Instrument
401.25 MHz/2036.25 MHz
18 kg 390 x 370 x 165 (mm)



Gambar 4-3: Doris Ultra Stable Oscillator
Frequency Short Term Stability
 $2 \cdot 10^{-13}$ over 10 seconds



Gambar 4-1: Doris Antena 2 kg h 420 x
Ø160 (mm)



Gambar 4-4: Skema Hubungan Satelit dan Stasiun Doris Beacons



Gambar 4-5: Distribusi Posisi Stasiun Doris Beacons di muka Bumi. Salah satu diantaranya di Cibinong (Bakosurtanal)

Seperti halnya sistem navigasi lainnya (seperti Omega dan Transit) Sistem Doris bekerja berdasar *effect Doppler* yaitu terjadinya pergeseran antara frekuensi dipancarkan oleh pemancar (*transmitter*) dan frekuensi yang diterima oleh penerima (*receiver*). Frekuensi akan meningkat bila antara pemancar dan penerima terjadi pergerakan relatif ke arah saling mendekat satu terhadap yang lain dan frekuensi akan menurun bila terjadi pergerakan sebaliknya, saling menjauhi.

Setiap Stasiun Doris Beacons memancarkan dua pita frekuensi yang berbeda yaitu 2,036.25 MHz dan 401.25 MHz. Alat penerima di satelit menganalisa sinyal-sinyal yang diterimanya untuk menghitung kecepatan satelit relatif kepada Bumi. Hasilnya akan menjadi masukan bagi model untuk determinasi posisi orbit satelit dengan tingkat ketelitian hingga Cm pada jarak vertikal.



Gambar 4-6: Doris Beacons Electronic



Gambar 4-7: Doris Beacons Antenna

Sistem Doris telah banyak dipergunakan pada sejumlah satelit untuk berbagai kepentingan. Gambar 4-8 menampilkan *barchart* tentang sejumlah program aplikasi Doris pada sejumlah satelit untuk tahun 1990 hingga 2020.

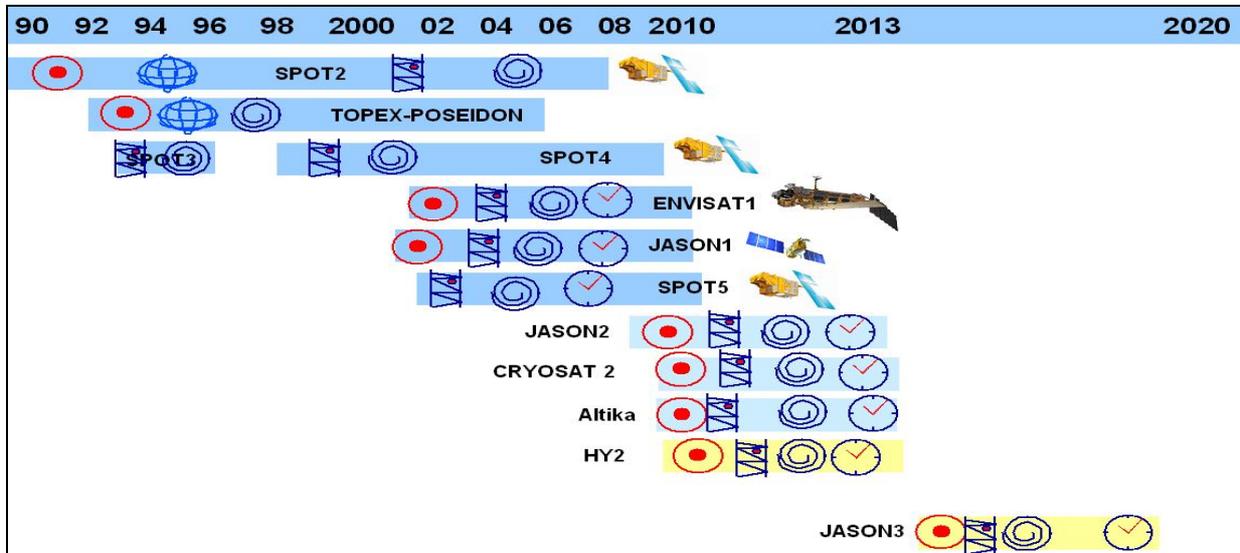
Pada gambar ini ditampilkan lima jenis aplikasi yaitu altimetri, penentuan posisi dengan jaringan stasiun Doris Beacons, pemantauan gerakan Kutub Bumi, pemantauan dalam rangka kontribusi pada ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) serta pemantauan gerakan lempeng tektonik. Di samping itu sistem Doris juga diaplikasikan untuk penyempurnaan model medan gravitasi Bumi dan Geoid serta pengukuran waktu baik yang di satelit maupun dalam kerangka kerja TAI (*Time Atomic International*).

4.3 GALILEO

Masyarakat Eropa dan ESA (*European Space Agency*) pada bulan Maret 2002 telah menyepakati perlunya memiliki sendiri suatu sistem GPS yang kemudian diberi nama *Galileo Positioning System* yang kadang juga diidentifikasi sebagai GPS, namun kemudian lebih dikenal dengan sebutan Galileo. Biaya yang disepakati untuk keperluan ini sebesar £2.4 billion (RSA, 2007), dan diharapkan telah beroperasi dengan penuh pada tahun 2012. Satelit experimental pertama telah diluncurkan pada tanggal 28 Desember 2005. Galileo dirancang *compatible* dengan GPS yang telah dimodernisasikan, dalam arti perangkat penerima dapat mengkombinasikan sinyal baik dari Galileo maupun GPS, sehingga dapat diperoleh ketelitian yang tinggi.

4.4 IRNSS

IRNSS adalah kependekan dari *Indian Regional Navigational Satellite System* (ISRO, 2006 a dan b). Nama sistem satelit navigasi ini baru diperkenalkan pada bulan Mei 2006. Sistem ini dirancang mampu menyediakan jasa informasi posisi lokasi dengan ketelitian yang lebih baik dari 20 meter, bagi seluruh wilayah India dan sekitarnya (radius 1.500 hingga 2000 Km). Menurut rencana keseluruhan sistem satelit ini baik ruas antariksa maupun ruas buminya termasuk alat penerima yang dioperasikan oleh pengguna sistem, akan dibuat di India. Sistem ini diharapkan dapat beroperasi secara penuh pada tahun 2013.



Gambar 4-8: Sejumlah program aplikasi Doris tahun 1990 – 2020

Keterangan Gambar 4-8

- Altimetri, determinasi orbit dengan presisi tinggi.
- Penentuan posisi presisi tinggi dengan Doris Becons. Dalam hal ini sistem Doris termasuk salah satu teknik yang diadopsi pada IERS (International Earth Rotation System Service).
- Pemantauan gerakan kutub Bumi
Pemantauan dalam rangka ITRF (International Terrestrial Reference Frame)
Pemantauan gerakan lempeng tektonik
- Penyempurnaan model medan gravitasi Bumi dan Geoid.
- Pantauan dalam rangka penentuan waktu baik yang berkenaan dengan jam atom yang ada di satelit maupun dalam rangka TAI (Time Atomic International)

4.5 QZSS

QZSS merupakan kependekan dari *Quasi-Zenith Satellite System* (Wikipedia, 2008), suatu sistem satelit navigasi yang terdiri dari tiga buah satelit, yang dikembangkan dan dioperasikan khusus dalam rangka peningkatan kualitas jasa GPS di wilayah Jepang. Satelit pertama dijadwalkan mengorbit pada tahun 2008.

5 ANALISIS

Tabel 5-1 menunjukkan bahwa sejumlah sistem satelit penentu posisi lokasi berpeluang untuk dapat mendukung eksperimentasi LAPAN dalam pengorbitan satelit di tahun 2014-2018. Kalau ditilik waktu operasi, terbuka peluang untuk memanfaatkan Glonass, GPS, Compass, Doris dan Galileo maupun IRNSS dan QZSS. Namun dua yang terakhir tidak dapat mendukung seluruh jalur yang akan dilalui satelit LAPAN, karena keduanya bersifat regional.

Tabel 5-1: KETERSEDIAAN DUKUNGAN SISTEM SATELIT PENENTUAN POSISI LOKASI BAGI SATELIT LAPAN PADA TAHUN 2014-2018

Sistem Satelit Navigasi	Status Saat Ini	Perkiraan Status 2014-2018	Pantauan thd Orbit Sat.LAPAN	Alat Penerima (2014-2018)
GLONASS	Renovasi	Operasional	Penuh	GPS compatible G2
GPS	Operasional	Operasional Terbatas	Penuh	GPS compatible G2
Beidu	Operasional	Digantikan Compass	-----	-----
COMPASS	Pengembangan	Operasional	Penuh	Belum tersedia info
DORIS	Pengembangan	Operasional	Penuh	Khusus Doris
GALILEO	Pengembangan	Operasional	Penuh	GPS compatible G2
IRNSS	Pengembangan	Operasional	Sebagian	Khusus India
QZSS	Pengembangan	Operasional	Sebagian	GPS compatible G2

Kalau ditilik dari alat penerima sinyalnya, yang sesuai dengan sistem masa depan di antara kelima sistem yang mungkin (Glonas, GPS, Compass, Doris dan Galileo) ada dua macam. Yang pertama sistem GPS Generasi ke 2 yang mempergunakan frekuensi L1 dan L2 untuk keperluan navigasi sipil dan frekuensi L5 untuk sistem integritas. Yang kedua adalah sistem Doris. Kedua sistem ini sama-sama dikembangkan berdasar *Effect Doppler*, namun di satu pihak jaringan pemancar berupa konstelasi satelit (*GPS, Galileo, Compass dan Glonas*), sedang yang lain berupa jaringan global stasiun beacons. Ditilik dari tingkat ketelitian dalam pengukuran/pengamatan, sistem Doris lebih unggul, karena mampu mencapai tingkat ketelitian dalam skala cm, sedangkan GPS masih dalam skala Meter. Disamping itu sistem Doris memiliki kemanfaatan yang lebih bervariasi (periksa Gambar 4-8) (1) determinasi posisi orbit satelit presisi tinggi. (2) determinasi posisi dan lokasi suatu obyek dengan presisi tinggi (3) pemantauan Bumi, baik yang berkenaan dengan gerakan kutub, pantauan gerakan lempeng tektonik, pantauan dalam rangka ITRF yang sangat penting bagi pemetaan, (4) perbaikan model medan gravitasi Bumi maupun model Geoid, serta (5) partisipasi pada

program TAI. Sedangkan sistem GPS terbatas yang berkenaan dengan kepentingan navigasi termasuk posisi lokasi.

Kalau ditilik dari kesesuaiannya dengan satelit yang akan diorbitkan oleh LAPAN dapat didasarkan atas dua pandangan. Yang pertama dari segi konsep kerja, yang kedua dari segi fisik. Kalau mendasarkan diri pada konsep kerja bahwa yang akan dipantau adalah satelitnya, maka yang paling sesuai adalah sistem Doris. Tetapi kalau ditilik secara fisik maka yang paling sesuai adalah sistem GPS. *Handheld GPS* secara lengkap beratnya sekitar 0.22 Kg (*Garmin 76CSx*), apalagi kalau tanpa casing pasti lebih ringan. Diperiksa Gambar 4-1 hingga 4-3, berat sistem Doris yang ditempatkan di satelit mencapai lebih dari 20 Kg, padahal satelit yang akan diorbitkan adalah satelit nano yang beratnya < 10 Kg.

6 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang disajikan pada butir 5 dapat ditarik tiga buah kesimpulan pokok sebagai berikut:

- Tersedia dua jenis sistem penentu posisi lokasi yang berpeluang untuk dapat mendukung eksperimen pengorbitan satelit LAPAN. Kedua sistem ini duaduanya mendasarkan diri pada *Effect*

Doppler. Sistem pertama disebut berbasis satelit, karena perangkat pemancar sinyal ditempatkan di sejumlah satelit yang membentuk suatu konstellasi, misalnya GPS, Galileo, Glonass, Compass, IRNSS dan QZSS. Sistem kedua berbasis terestris karena perangkat pemancar sinyal ditempatkan di sejumlah stasiun yang tergabung dalam suatu jaringan global. Sistem kedua ini diterapkan oleh sistem Doris,

- Di antara kedua sistem tersebut ditinjau dari waktu eksperimen keduanya memungkinkan, tetapi ditinjau dari pemenuhan kebutuhan untuk pelayanan seluruh jalur satelit LAPAN yang ekuatorial, maka dapat dieliminasi IRNSS dan QZSS yang masing-masing hanya bersifat regional,
- Kalau ditinjau dari perangkat penerimanya, baik ditinjau dari ukuran fisik maupun ketersediaan di pasaran, sistem GPS paling sesuai untuk kebutuhan eksperimen pengorbitan satelit LAPAN kali ini. Di samping ukuran fisik perangkat penerima dan ketersediaannya di pasaran, perangkat penerima GPS masa depan dimungkinkan untuk dapat mengakses beberapa jenis konstelasi satelit sehingga dapat memberikan tingkat ketelitian yang tinggi, serta bebas dari ketergantungan pada satu sistem tertentu.

DAFTAR RUJUKAN

Adi Sadewo Salatun, (2008). *Panduan Perancangan Sistem Pengorbit Satelit*, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. Handout presentasi tgl. 30 Januari 2008.

Bruyninx, C., 2007. Comparing GPS-only with GPS+GLONASS Positioning in a Regional Permanent GNSS Network. *GPS Solution*, 11:97-106, 2007.

Changsheng Cai, Yang Gao, 2007. *Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations*. *Journal of Global Positioning Systems* (2007) Volume 6 No.1 p 13-22.

Garmin, 2007. *Handheld GPS*, Booklet.

Honeywell, 2005. Honeywell to Develop GRAS GPS Air Nav For Airservices Australia. Website aero-defense. ihs.com. Accessed 21-04-2008.

IAC – RSA, 2008. *GPS constellation status for 21.04.08 under the analysis of the almanac accepted in IAC*. Information Analytical Centre (IAC) - Russian Space Agency (RSA) Website, accessed 21-04-2008.

ISRO, 2006a. *Raytheon complete tests for GAGAN Satellite Navigational System*. India Defence Website. Accessed 20 June 2006.

ISRO, 2006b. *SATNAV Industry Meet 2006*. ISRO Space India Newsletter. April-September 2006 Issue.

Joe Kunches, 1995. *Navigation*. in *Space Environment Topics*, SE 11. Available in <http://www.swpc.noaa.gov/info/Navigation.pdf>, captured May 2008.

Joe Mehaffey, 2006. *Is it Safe to use a handheld GPS Receiver on a Commercial Aircraft?*. Website accessed May 15, 2006.

Johnny Appleseed, 2007. *Garmin Handheld GPS*. Available in http://www.jag-ps.com.au/garmin_handheld.html.1, captured December 2007.

Jonathan E. Nuechterlein and Philip J. Weiser, 2005. *Digital Crossroads: American Telecommunications Policy in the Internet Age*, 2005, p. 222.

K.N. Suryanarayana Rao and S. Pal, 2004. *The Indian SBAS System – GAGAN*. Abstract from the India-United States Conference on Space Science, Applications, and Commerce. June 2004.

Kaplan, E.D., C.J. Hegarty (2006). *Understanding GPS: Principles and Applications*. 2nd Edition. Artech House.

MosNews, 2004. *Russian Space Agency Plans*. Accessed 21-04-2008.

NOAA, 2008. *What_is_CORS*. Website accessed 21-04-2008.

RSA, 2007. *GLONASS Constellation Status*. Website accessed 6 April 2007.

RSA, 2008. *GLONASS Constellation Status*. Website, accessed 15 May 2008.

Sergey, K., R. Sergey, T. Suriya, 2007. *GLONASS as a Key Element of the Russian Positioning Service*. *Advances in Space Research*, 39:1539-1544.

Sudiby, 2008. *Catatan Hasil Pertemuan: Penyusunan Roadmap Pengembangan Roket Pengorbit Satelit LAPAN*. tidak diterbitkan.

Wikipedia, 2008. *GNSS, Glonass, GPS, Doris dan Compass Navigation System*. Website accessed 21-04-2008.

Zinoviev, A.E, 2005. *Using GLONASS in Combined GNSS Receivers: Current Status*. *Proceedings of ION GNSS 2005, Long Beach, CA, September 13-16, 2005*.