

PERANCANGAN ANTENA UNTUK PENERIMAAN SECARA LANGSUNG DATA SATELIT RESOLUSI SANGAT TINGGI

ANTENNA DESIGN FOR VERY HIGH SATELLITE RESOLUTION DATA DIRECT RECEIVING

Muchammad Soleh¹, Ali Syahputra Nasution¹, Arif Hidayat², Hidayat Gunawan¹, Ayom Widipaminto¹

¹Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh – Pustekdata LAPAN

²Stasiun Bumi Penginderaan Jauh LAPAN Parepare Sulawesi Selatan

msoleh76@gmail.com

Abstrak

Data satelit resolusi sangat tinggi/*very high resolution satellite image* (VHRSI) dengan lisensi Pemerintah Indonesia dibutuhkan oleh Kementerian/Lembaga, TNI, Polri, serta Pemerintah Daerah untuk mendukung program prioritas nasional. Saat ini, Indonesia belum memiliki fasilitas penerima data VHRSI secara langsung. Sesuai UU 21/2013 tentang Keantariksaan, LAPAN wajib menyediakan data satelit resolusi tinggi, dan berdasarkan *roadmap* penyediaan data satelit tahun 2017, LAPAN akan menyediakan fasilitas penerimaan data satelit resolusi sangat tinggi secara langsung/*direct receiving system* (DRS). Penyediaan data VHRSI melalui DRS akan jauh lebih efisien dibanding dengan metode lainnya. Prioritas penyediaan data satelit yang dimaksud adalah data Pleiades dan TerraSAR-X yang beroperasi pada kisaran frekuensi 8 GHz (X-Band). Untuk menerima kedua data tersebut dibutuhkan subsistem antena dengan *coverage* optimum seluruh wilayah Indonesia. Parameter untuk memperoleh spesifikasi antena minimum yang diperlukan antara lain Free Space Loss (FSL), Carrier to Noise Ratio (C/No) dan *Antenna Gain to Noise Temperature* (G/T). Hasil perhitungan kebutuhan G/T antena dilakukan untuk kedua satelit berdasarkan parameter satelit serta analisis ketersediaan produk antena di pasaran. Dari parameter satelit diperoleh perhitungan nilai G/T minimum pada elevasi 5 derajat sebesar 27,71 dB/K untuk penerimaan data Pleiades dan nilai G/T minimum sebesar 26,10 dB/K untuk penerimaan data TerraSAR-X. Sedangkan berdasarkan perhitungan produk antena yang tersedia di pasaran diperoleh nilai G/T sebesar 33,45 dB/K untuk pada elevasi 5 derajat dengan diameter antena 7,5 meter. Hasil analisis menunjukkan nilai G/T minimum untuk menerima data Pleiades dan TerraSAR-X adalah 28 dB/K, dan berdasarkan analisis produk antena yang tersedia di pasaran memenuhi spesifikasi kebutuhan minimum dan memungkinkan untuk dapat menerima data kedua satelit tersebut dengan nilai G/T mencapai 33 dB/K pada elevasi 5 derajat jika menggunakan antena berdiameter 7,5 meter. Namun kedua nilai perhitungan tersebut belum diterapkan dan dievaluasi secara langsung terhadap subsistem antena yang akan dipasang di Stasiun Bumi Penginderaan Jauh (SPBJ) Pare Pare, Sulawesi Selatan. Kata kunci: VHRSI, Optik, SAR, Direct Receiving System (DRS), Antena

Abstract

Very high resolution satellite image (VHRSI) data with Indonesian Government license is required by Ministries / Agencies, TNI, Police, and Local Government to support national priority programs. Currently, Indonesia does not have a VHRSI data recipient facility directly. In accordance with Law 21/2013 on Space, LAPAN is required to provide high resolution satellite data, and based on a roadmap for provision of satellite data in 2017, LAPAN will provide a very high resolution satellite data reception facility (DRS). Providing VHRSI data through DRS will be much more efficient than other methods. Priority provision of satellite data in question is data Pleiades and TerraSAR-X operating in the frequency range 8 GHz (X-Band). To receive both data required antenna subsystem with optimum coverage throughout Indonesia. Parameters to obtain the minimum required antenna specifications include Free Space Loss (FSL), Carrier to Noise Ratio (C / No) and Antenna Gain to Noise Temperature (G / T). The calculation of G / T antenna needs is done for both satellites based on satellite parameters and analysis of antenna product availability in the market. From the satellite parameters obtained the calculation of the minimum G / T value at the elevation of 5 degrees of 27.71 dB / K for reception of Pleiades data and the minimum G / T value of 26.10 dB / K for the reception of TerraSAR-X data. While based on the calculation of antenna products available on the market obtained

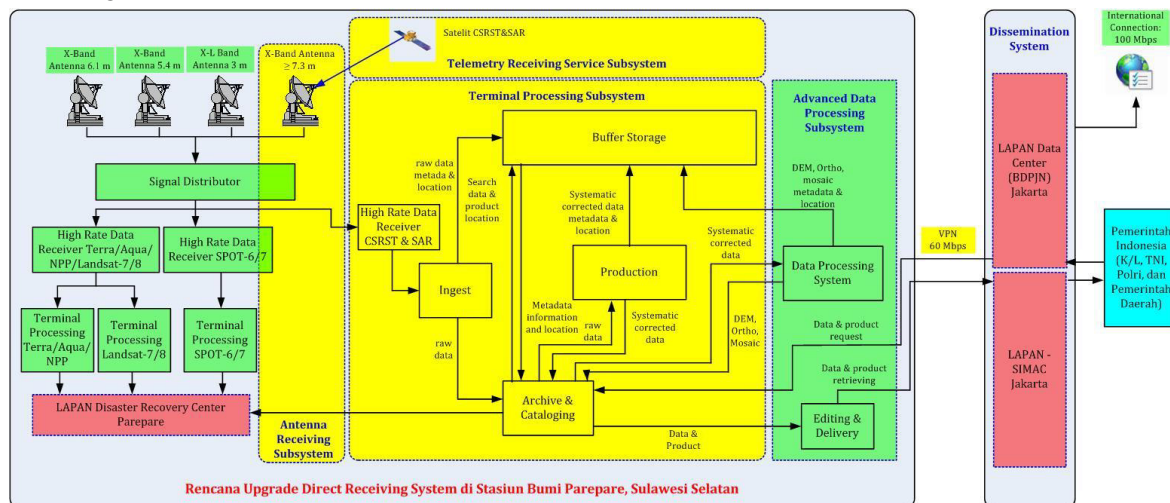
G / T value of 33.45 dB / K for the elevation of 5 degrees with a diameter of 7.5 mm antenna. The analysis results show that the minimum G / T value for receiving the Pleiades and TerraSAR-X data is 28 dB / K, and based on the analysis of antenna products available on the market meets the minimum requirements specification and allows to receive both satellite data with G / T reach 33 dB / K at elevation of 5 degrees if using antenna diameter of 7.5 meter. However, both calculation values have not been applied and evaluated directly to the antenna subsystem to be installed at Pare Pare Remote Earth Station (SPBJ), South Sulawesi.

Keywords: VHRSI, Optic, SAR, Direct Receiving System (DRS), Antenna

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan Citra Satelit Resolusi Sangat Tinggi/*Very High Resolution Satellite Image* (VHRSI, resolusi spasial pankromatik < 1 meter) sudah menjadi kebutuhan prioritas yang tidak dapat ditunda untuk mendukung pelaksanaan kegiatan prioritas nasional. Dalam upaya mendukung program prioritas nasional tersebut hingga tahun 2016 telah dilaksanakan kerja sama dalam pemanfaatan data satelit penginderaan jauh dengan sembilan belas (19) Pemerintah Provinsi. Sedangkan untuk tahun 2017, sepuluh (10) Pemerintah Provinsi direncanakan menjadi mitra kerja sama dalam pemanfaatan data satelit penginderaan jauh. Sehingga pada tahun 2019 seluruh Pemerintah Provinsi di seluruh Wilayah Indonesia dapat terlayani dan memanfaatkan data satelit penginderaan jauh dalam perencanaan dan pemantauan pembangunan.

Penyediaan data melalui pembelian/pengadaan data satelit resolusi sangat tinggi di LAPAN telah dilakukan sejak Januari 2013 hingga Oktober 2016. Adapun data satelit resolusi sangat tinggi yang diadakan meliputi data satelit Pleiades (70 cm), Quickbird (50 cm), GeoEye-1 (41 cm), Worldview-2 (46 cm) dan Worldview-3 (31 cm) dengan tutupan awan < 20%, level data primary, format data Geotiff (Sumber : Airbus DS dan DigitalGlobe). Data VHRSI yang telah diadakan hingga tahun 2016 yang tersedia dalam arsip Bank Data Penginderaan Jauh Nasional (BDPJN) seluas 998.835,21 km² yang didalamnya termasuk data yang *overlap* dengan tujuan untuk mendapatkan data dengan kondisi awan yang seminimum mungkin. Berdasarkan kondisi tersebut, masih dibutuhkan data VHRSI seluas 923.734,79 km² untuk dapat menutupi seluruh wilayah daratan Indonesia dengan total luasan 1.922.570 km². Untuk memenuhi target kebutuhan data tersebut, dibutuhkan penyediaan data dalam periode 3 tahun dengan luasan sekitar 310.000 km²/tahun.



NB. Bagian yang ditandai kuning menunjukkan kebutuhan upgrading penerimaan data CSRST secara langsung melalui sistem stasiun bumi LAPAN

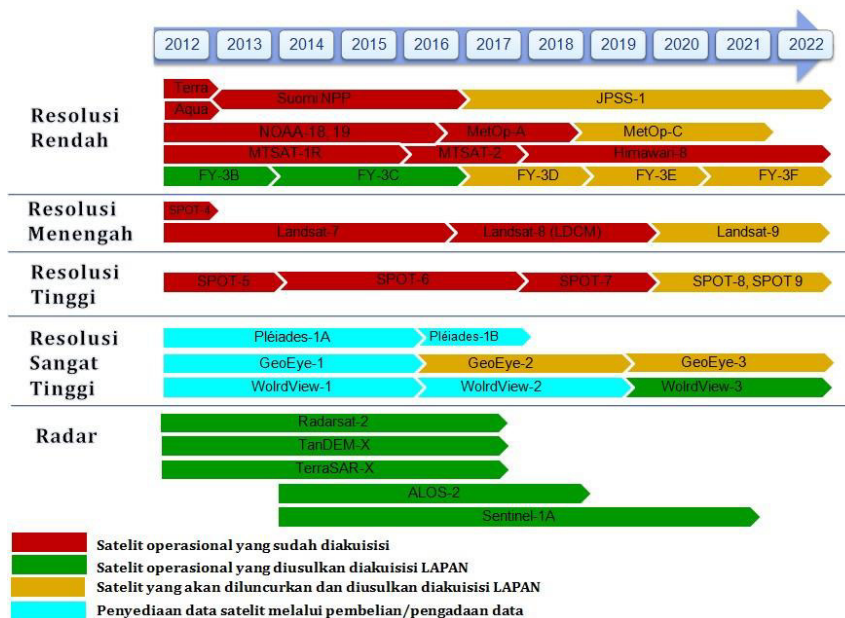
Gambar 1. Arsitektur sistem SPBJ LAPAN Parepare saat ini (gambar berwarna hijau) dan paska penguatan (gambar berwarna kuning)

Kondisi wilayah Indonesia yang beriklim tropis menyebabkan perolehan data satelit optik sebagian besar terkendala dengan keberadaan awan. Untuk itu diperlukan data komplementer berupa data satelit SAR yang memiliki kelebihan dapat menembus awan dan dapat diakuisisi setiap waktu baik siang maupun malam. Saat ini infrastruktur penyediaan data VHRSI optik dan SAR resolusi tinggi secara

langsung belum tersedia di LAPAN. Berdasarkan kondisi saat ini, untuk mempersiapkan sistem akuisisi data VHRSI dan SAR diperlukan penambahan peralatan berupa subsistem antena penerima X-Band seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tujuan yang hendak dicapai dari kegiatan penguatan stasiun bumi ini adalah melaksanakan penyiapan dan operasional akuisisi data secara langsung/*Direct Receiving System* (DRS) untuk mencapai target jumlah luasan data CCRST optik dan SAR resolusi tinggi.

1.1 Akuisisi Data Satelit Penginderaan Jauh Di Stasiun Bumi Lapan

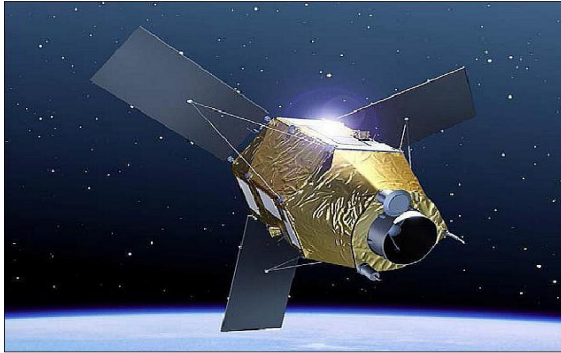
Terkait penyediaan data satelit melalui akuisisi langsung, LAPAN telah memiliki sistem stasiun bumi yang terletak di Parepare, Jakarta/Pekayon, dan Rumpin. Saat ini SPBJ LAPAN Parepare telah memiliki 3 unit sistem antena dan telah beroperasi untuk melakukan akuisisi langsung dan pengolahan dari berbagai data penginderaan jauh satelit antara lain data satelit Terra, Aqua, Suomi NPP, SPOT-6, SPOT-7, Landsat 7, dan Landsat 8. Stasiun Bumi Jakarta/Pekayon beroperasi untuk melakukan akuisisi dan pengolahan data satelit NOAA-18, NOAA-19, METOP-A, dan Himawari-8. Sedangkan Stasiun Bumi Rumpin beroperasi untuk melakukan akuisisi data satelit Terra, Aqua, dan Landsat 7 dan Landsat 8. Direncanakan mulai tahun 2018 SPBJ LAPAN Parepare akan mengakuisisi secara langsung data VHRSI Optik dan resolusi tinggi SAR melalui penambahan subsistem antena baru dengan frekuensi X-Band untuk penerimaan data satelit optik Pleiades dan data satelit radar TerraSAR-X dalam rangka memenuhi target jumlah luasan data VHRSI optik dan resolusi tinggi SAR seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rencana akuisisi data penginderaan jauh satelit oleh Stasiun Bumi LAPAN hingga tahun 2022

1.2 Upaya Penyediaan Data Pleiades dan TerraSAR-X melalui *Direct Receiving System* (DRS)

Satelit Pleiades adalah salah satu satelit pemantauan bumi dengan orbit polar yang memiliki resolusi sangat tinggi yakni 0,5 meter untuk citra pankromatik dan 2 meter untuk citra multispektral seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Satelit Pleiades ini adalah salah satu satelit konstelasi yang dioperasikan oleh *Airbus Defence and Space* yang memiliki 4 buah *spectral bands* yakni *Panchromatic* (480-830 nm), *Blue* (430-550 nm), *Green* (490-610 nm), *Red* (600-720 nm), *Near Infrared* (750-950 nm) (*Eoportal,2017*). Dengan keunggulan sebagai satelit konstelasi tersebut maka Satelit Pleiades dapat mendapatkan data untuk suatu wilayah setiap 1 hari sekali sehingga proses pengamatan wilayah yang ingin diamati dapat berjalan dengan maksimal perubahan, hal ini sangat berguna sekali untuk pengamatan wilayah yang sedang terkena bencana maupun untuk memonitoring suatu wilayah yang sedang dilakukan pembangunan. Satelit Pleiades yang direncanakan untuk diterima datanya di Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Parepare yakni Satelit Pleiades-1 dan Satelit-Pleiades-2.

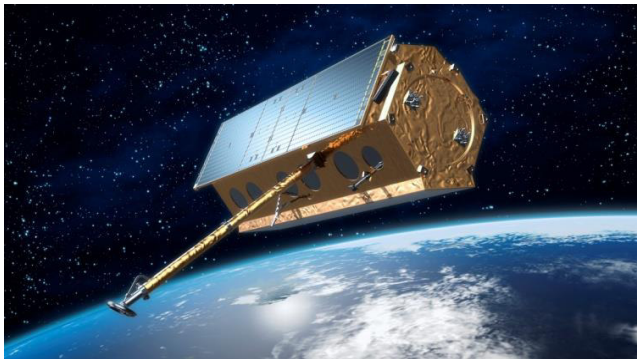


Gambar 3. Satelit Pleiades-1/2 (Eoport,2017)

Product : Panchromatic : 50 cm
 Multispectral : 2 m
Revisit rate : Daily (*constellation*)
Spectral Bands : Panchromatic (470 – 830 nm)
 Blue (430 – 550 nm)
 Green (500 – 620 nm)
 Red (590 – 710 nm)
 Near-infrared (740 – 940 nm)
Swath Width : 20 Km
Processing Level : Primary (1A)
 Ortho (*automatic*) or Tailored Ortho

Satelit TerraSAR-X adalah salah satu satelit radar hasil kolaborasi antara German Aerospace Center (DLR) dan EADS Astrium seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Satelit TerraSAR-X menggunakan sensor aktif berupa radar *onboard* sehingga tidak terganggu cuaca dalam pengambilan data (Eoport, 2017). Satelit ini memiliki 3 mode pencitraan yakni SpotLight, StripMap dan ScanSAR. Mode pencitraan SpotLight memiliki resolusi spasial hingga 1 m dengan dimensi citra dalam sekali potret sebesar 10 km (*width*) x 5 km (*length*). Mode pencitraan StripMap memiliki resolusi spasial hingga 3 m dengan dimensi citra 30 km (*width*) x 50 km (*length*), dan yang terakhir Satelit TerraSAR-X memiliki mode pencitraan ScanSAR, dimana mode pencitraan ini memiliki resolusi hingga 16 m dengan dimensi citra 100 km (*width*) x 150 km (*length*) (Eoport, 2017). Dengan keunggulannya sebagai satelit radar ini maka Satelit TerraSAR-X digunakan pada beberapa aplikasi seperti di bidang pertambangan, eksplorasi minyak dan gas, pemetaan topografi, pertahanan dan keamanan negara, monitoring daerah banjir, rawan gempa, monitoring penggunaan lahan dan lain-lain.

Pengiriman data pada satelit Pleiades dan TerraSAR-X mengirimkan data dengan kapasitas besar mencapai lebih dari 300 Mbps. Untuk menghindari kerusakan data saat pengiriman perlu dihitung *fading margin* sehingga gangguan pada saat transmisi dapat dihindari.



Gambar 4. Satelit TerraSAR-X (Eoport, 2017)

Product : Staring SpotLight : up to 25 cm
 High Resolution Spot Light : up to 1 m
 StripMap : up to 3 m
 Scan SAR : up to 16 m
 Wide Scan SAR : up to 40 m
Revisit rate : 11 days
Polarisation : Single, dual - depending on imaging mode
 quadruple is available as advanced polarisation mode for dedicated acquisition campaigns

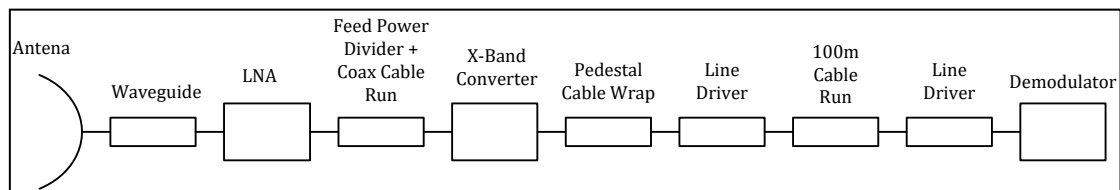
Penyediaan data Pleiades dan TerraSAR-X diatas dapat dilakukan dengan dua alternatif: (1) melalui pembelian/pengadaan untuk multi pengguna (lisensi terbatas); (2) melalui akuisisi langsung/DRS (*Direct Receiving System*) dengan lisensi Pemerintah Republik Indonesia. Penyediaan data melalui pembelian/pengadaan data akan sangat terbatas pada ketersediaan data arsip yang telah diakuisisi oleh operator satelit. Selain itu lisensi yang diberikan biasanya terbatas, dengan maksimum 10 pengguna. Untuk memenuhi target cakupan yang ada, diperlukan pemesanan atau *programming* satelit tentu dengan harga yang lebih mahal hampir 2 kali lipat harga data arsip. Dan untuk memenuhi seluruh kebutuhan K/L dan daerah, lisensi yang terbatas akan membatasi penggunaannya. Namun penyediaan data satelit melalui pembelian/pengadaan untuk multi pengguna (lisensi terbatas) ini, pada awalnya akan lebih murah dan lebih sederhana bila dibandingkan dengan akuisisi data langsung. Melalui pembelian/pengadaan data, tidak perlu meng-*upgrade* sistem antena pengolahan di stasiun bumi.

Jika dilihat untuk jangka panjang, biaya penyediaan data satelit melalui DRS akan jauh lebih hemat dibandingkan melalui pembelian data. Selain itu, akses pengguna untuk seluruh K/L dan pemerintah daerah tidak dibatasi, karena lisensi penggunaannya adalah Lisensi Pemerintah Indonesia. Fleksibilitas

untuk mendapatkan data VHRSI dalam pemenuhan kebutuhan prioritas tinggi yang dapat mencakup seluruh wilayah Indonesia, merupakan keuntungan lain dalam penyediaan melalui DRS. Alternatif pembelian/pengadaan data memiliki risiko tersendiri, dikarenakan data yang dibutuhkan belum tentu tersedia. Melalui akuisisi data langsung atau DRS, data terbaru dapat tersedia dengan cepat dan sesuai prioritas. Keunggulan lain penyediaan data dengan akuisisi data langsung antara lain fleksibel dalam menghasilkan beberapa level data (*bundle product dan/atau pansharpened product*); layanan akses yang lebih baik (*emergency tasking, priority tasking, standard tasking dan/atau data arsip*); jaminan operasional akuisisi oleh beberapa satelit, luasan data yang lebih luas dibandingkan dengan pembelian data arsip (untuk jumlah anggaran yang sama), dan data dengan lisensi Pemerintah Republik Indonesia. Selain itu juga ada keuntungan lain, yaitu diperoleh peluang akuisisi data SAR yang dapat digunakan sebagai data komplemen data optik karena kemampuannya menembus awan. Hal tak kalah penting lainnya dengan akuisisi data langsung, LAPAN akan dapat melakukan akuisisi data satelit Optik dan Radar sehingga data yang disediakan dapat memenuhi kebutuhan pengguna sesuai dengan prioritasnya.

Penguatan sistem stasiun bumi untuk penerimaan langsung (DRS) data VHRSI optik dan resolusi tinggi SAR dibagi menjadi 3 subsistem pokok yaitu *Telemetry Receiving Service Subsystem (TRSS)*, *Antenna Receiving Subsystem (ARS)* dan *Terminal Processing Subsystem (TPS)*. Penelitian ini membatasi hanya untuk mengkaji dan menganalisis terkait subsistem *Antenna Receiving Subsystem (ARS)* yang rencananya akan diterapkan di SPBJ LAPAN Parepare melalui DRS untuk penerimaan data satelit optik Pleiades dan data satelit radar TerraSAR-X. SPBJ LAPAN Parepare dipilih karena lokasinya yang mampu meng-*cover* hampir seluruh wilayah Indonesia.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2. komponen utama subsistem ARS untuk akuisisi data VHRSI optik dan resolusi tinggi SAR meliputi beberapa subsistem antara lain yaitu bagian RF yang terdiri dari antenna X-Band, LNA dan *Feed-Power* dan bagian IF yang terdiri dari X-Band *Down-Converter*, *Line Driver* hingga Demodulator. Keseluruhannya harus mampu diintegrasikan dengan sistem antenna yang sudah ada di SPBJ LAPAN Parepare.

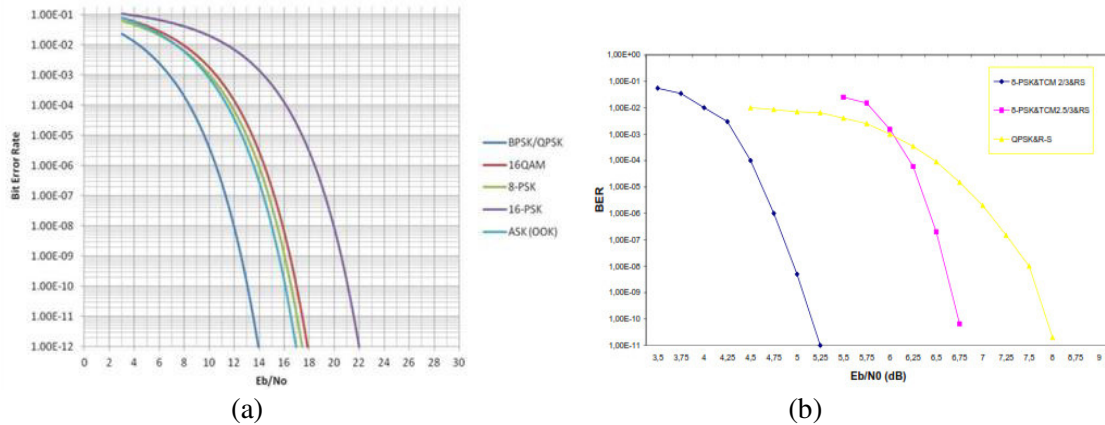


Gambar 5. Komponen sistem utama antenna pada ARS (*Antenna Receiving Subsystem*)

1.3 Parameter Satelit Resolusi Tinggi

Sistem komunikasi *low earth orbit satellite* selama ini menggunakan sistem komunikasi *single carrier* (Hidayat, 2006). Dimana pengiriman data dikirim dalam satu kanal, sehingga apabila terjadi kerusakan maka data tersebut tidak diterima dengan baik. Transmisi *single carrier* memiliki kerentanan terhadap gangguan distorsi akibat *interference* maupun sinyal *multipath*. Selain itu kesalahan akibat *error pointing* dalam penjejakan dapat menjadi salah satu penyebab gangguan penerimaan di penerima (Hidayat dkk., 2017), (Hidayat, 2014). Untuk itu diperlukan sebuah perhitungan yang cermat agar seluruh sistem dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan.

Untuk mendapatkan parameter G/T antenna yang dibutuhkan diperlukan nilai EB/No satelit yang akan diterima (Judianto, 2012). Parameter EB/No dapat dilihat pada Gambar 6(a) dan (b). Nilai parameter untuk Gambar 6(a) adalah EB/No tanpa *coding gain* sedangkan 6(b) menggunakan *error control coding gain* (Propagation.ece, 2017), (Thales, 2012). *Error control coding* berfungsi sebagai kontrol apabila terjadi kerusakan ataupun kesalahan bit informasi yang diterima oleh demodulator (Haykin, 2007). Dengan menggunakan *error control coding* dapat mengurangi energi bit yang dibutuhkan oleh pemancar satelit.



Gambar 6. Grafik BER Terhadap EB/No. (a) Tanpa Error Control, (b) Dengan Error Control 3/4 Trellis Code

Penggunaan *error control* mengurangi jumlah bit informasi yang ditransmisikan karena diperlukan bit koreksi apabila terjadi kesalahan. Menurut Symon Haykin tahun 2007 nilai bit rate dapat di hitung dengan Persamaan

$$Data\ Rate = \log\ 2\ (Modulation) * Bandwidth \dots\dots\dots (1)$$

Namun demikian apabila menggunakan bit *control* maka perhitungan tersebut dikalikan lagi dengan *coding rate*. Perhitungan nilai data rates berdasarkan nilai *coding gain* 8 PSK dikalikan dengan *bandwidth* efektif dikalikan dengan faktor *coding gain* (Hidayat, 2006).

$$Data\ Rate = Modulation * Bandwidth * Coding\ Rate \dots\dots\dots (2)$$

Data teknis satelit Pleiades dapat dilihat di Tabel 1. Data satelit tersebut diperoleh dari UK Space Agency. Satelit pleiades adalah satelit yang memiliki 2 konstelasi yaitu Pleiades 1 dan Pleiades 2. Satelit Pleiades 1 dan Pleiades 2 memiliki 3 *channel downlink*, dengan EIRP 15.3 dB pada ketinggian 694 km dengan modulasi 8 PSK. Nilai EB/No yang dibutuhkan adalah 8.9 dB. Dari data satelit tersebut akan ditentukan nilai C/No sistem dan G/T di demodulator antenna. Berikut parameter *downlink* satelit Pleiades menurut UK Space Agency 2017 dan Thales 2017:

Tabel 1. Parameter Downlink Pleiades (UK Space Agencies, 2017)

No	Parameter	Pleiades 1	Pleiades 2
1	Apoge & Perigee	694 km	694 km
2	Inclination	98.3 Degree	98.3 Degree
3	Carrier Frek Ch 1	8165.5 MHz	8165.5 MHz
4	Carrier Frek Ch 2	8295.5 MHz	8295.5 MHz
5	Carrier Frek Ch 3	8353.5 MHz	8353.5 MHz
6	Bandwidth Ch1, Ch2, Ch3	105 MHz total 315 MHz	105 MHz total 315 MHz
7	EIRP ch 1,Ch2,Ch3	15.3 dB	15.3 dB
9	Modulasi	8 PSK	8 PSK
10	BER	Min 10E-11	Min 10E-11
11	EB/No Dengan Coding Gain	8.9 dB	8.9 dB
12	Data Rate at 8 PSK	155 Mbps Single Channel	155 Mbps Single Channel
13	Data Rate at 8 PSK	465 Mbps Full Channel	465 Mbps Full Channel

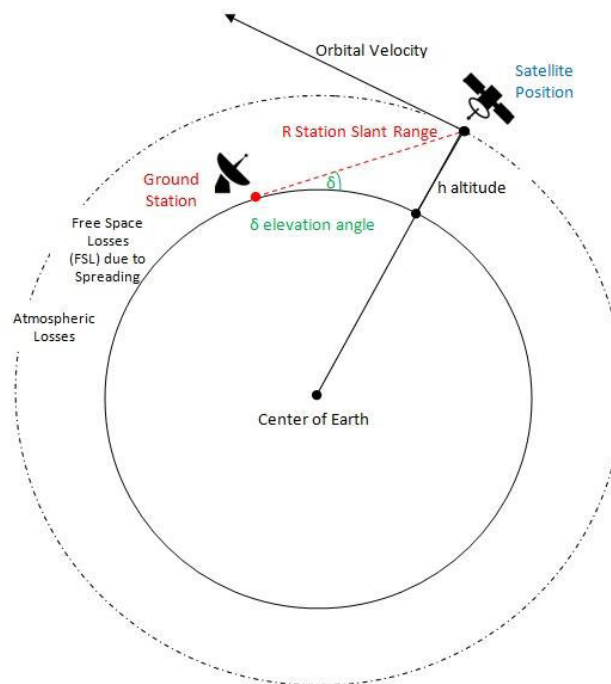
Adapun data teknis satelit TerraSAR-X dan Tandem-X dapat dilihat di Tabel 2.2. Satelit TerraSAR-X adalah satelit yang dibuat di Jerman. Satelit ini memiliki kemampuan sensor aktif SAR. Parameter *downlink* dari satelit ini ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Parameter *Downlink* TerraSAR-X dan Tandem-X (UK Space Agency, 2017).

No	Parameter	TerraSAR X	Tandem X
1	Apoge & Perigee	514.8 km	514.8 km
2	Inclination	98.3 Degree	98.3 Degree
3	Carrier Frek	8150.0MHz	8150.0MHz
4	Bandwidth	225.0 MHz	225.0 MHz
5	EIRP	23dB	23dB
6	Modulasi	QPSK	QPSK
7	BER	10 E-11	10 E-11
8	EB/No tanpa <i>coding gain</i>	12 dB	12 dB
9	Bitrate	450 Mbps	450 Mbps

1.4 Geometri Penerimaan Data Satelit dan Kebutuhan Daya di Demodulator Antena

Posisi satelit terhadap antena stasiun bumi dilukiskan pada Gambar 7 di bawah ini. Elevasi antena dan posisi satelit terhadap antena stasiun bumi berpengaruh terhadap jarak satelit terhadap stasiun bumi. Semakin rendah posisi antena terhadap horizon semakin jauh posisi satelit terhadap stasiun bumi. Satelit LEO (*Low Earth Orbit*) bergerak cepat mengelilingi bumi sesuai dengan kecepatan rotasi. Jarak antar satelit dengan bumi bervariasi sangat cepat. Waktu *tracking* hanya 5 sampai dengan 30 menit tergantung dari elevasi antena terhadap garis horizon.



Gambar 7. Ilustrasi Posisi Satelit Terhadap Antena Stasiun Bumi

Perhitungan jarak *slant range* dari elevasi tertinggi sampai dengan batas elevasi 5 derajat dilakukan untuk memperoleh Redaman Ruang Bebas/*Free Space Losses* (FSL) yang akan digunakan sebagai perhitungan C/No dan G/T antena. Jarak satelit dengan antena ($R_{Station\ Slant\ range}$) dapat dihitung berdasarkan jari jari bumi sudut pusat bumi dengan satelit menggunakan Persamaan 3 (Judianto, 2012).

$$R_{station\ slant\ range} = R_{earth} \left[\sqrt{\frac{(h+R_{earth})^2}{R_{earth}^2} - \cos^2(\delta)} - \sin(\delta) \right] \dots\dots\dots(3)$$

dimana : $R_{station\ slant\ range}$ = Distance from Satellite to Antenna (km)

h = Altitude (km)

R_{earth} = Jari-jari Bumi (km)

δ = Elevation Angle (degree)

Untuk mendapatkan jarak maksimum perlu dilakukan perhitungan menggunakan geometri satelit. Sehingga didapat jarak maksimum pada saat elevasi 5 derajat. Menurut Judianto 2012, perhitungan jarak satelit terhadap stasiun bumi terdiri dari beberapa komponen yaitu jarak satelit terhadap permukaan bumi, jari jari bumi, sudut elevasi antena, sudut satelit dengan pusat bumi.

Untuk mengukur daya yang hilang di ruang bebas tanpa hambatan maka ditentukan nilai FSL. FSL tergantung pada dua parameter yaitu frekuensi sinyal carrier (f) dan jarak transmisi nirkabel (h). Nilai FSL diperoleh dari Persamaan 4 berikut ini:

$$Free\ Space\ Losses\ (FSL) = 32.44 + 20\ \log(h) + 20\ \log(f) \dots\dots\dots(4)$$

dimana : FSL = Free Space Losses/Redaman Ruang Bebas (dB)

h = Altitude (km)

f = Carrier Frequency (MHz)

Nilai kebutuhan Carrier to Noise Ratio (C/No) di antena penerima diperoleh dengan mengalikan Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio (Eb/No) dengan Bitrate dibagi (Rb) dengan Bandwidth (B) (Hidayat, 2014). Secara matematis C/No di antena penerima dalam bentuk logaritmik dinyatakan dalam Persamaan 5 berikut ini (Judianto, 2014):

$$\frac{C}{No} = \frac{Eb}{No} + Rb - B \dots\dots\dots(5)$$

dimana : $\frac{C}{No}$ = Carrier to Noise Ratio (dB)

$\frac{Eb}{No}$ = Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio (dB)

Rb = Bit Rate (dB)

B = Bandwidth (dB)

Hubungan antara $\frac{C}{No}$ dengan G/T dinyatakan dalam Persamaan 6 berikut ini:

$$\frac{C}{No} = EIRP + \frac{G}{T} - FSL - L - K - B \dots\dots\dots(6)$$

Parameter terakhir yang dihitung adalah nilai performansi antena (G/T). G/T adalah ukuran kemampuan antena untuk memperoleh data satelit dimana G adalah Gain Antenna dan T adalah System Noise Temperature, sehingga $\frac{G}{T}$ adalah rasio perbandingan antara Gain Antenna terhadap System Noise Temperature. Jika hubungan antara $\frac{C}{No}$ dengan $\frac{G}{T}$ dinyatakan dalam Persamaan 6 berikut ini:

$$\frac{C}{No} = EIRP + \frac{G}{T} - FSL - L - K - B \dots\dots\dots(6)$$

Maka nilai G/T dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{G}{T} = \frac{C}{No} - EIRP + FSL + K + B \dots\dots\dots(7)$$

dimana : G/T = Antenna gain-to-noise-temperature (dB)

$EIRP$ = Effective (or Equivalent) Isotropic Radiated Power (dbW)

FSL = Free Space Losses (dB)

K = Boltzman Constant ($1.38064852(79) \times 10^{-23}$ J/K)

B = Bandwidth (dB)

L = Loss Margin (dB)

1.5 Kebutuhan Teknis ARS untuk Akuisisi Data VHRSI Optik dan Resolusi Tinggi SAR

Secara umum kebutuhan teknis ARS yang akan diterapkan di SPBJ LAPAN Parepare ditunjukkan pada Tabel 3. Antena beroperasi pada kanal X-Band (8-12 GHz), diameter antena minimum 7.3 meter, polarisasi antena RHCP/LHCP (*Right/Left Hand Circular Polarisation*), antena diperuntukan untuk bisa menerima secara langsung (DRS) data Pleiades dan TerraSAR-X.

Tabel 3. Kebutuhan Teknis Antenna Receiving Subsystem (ARS)

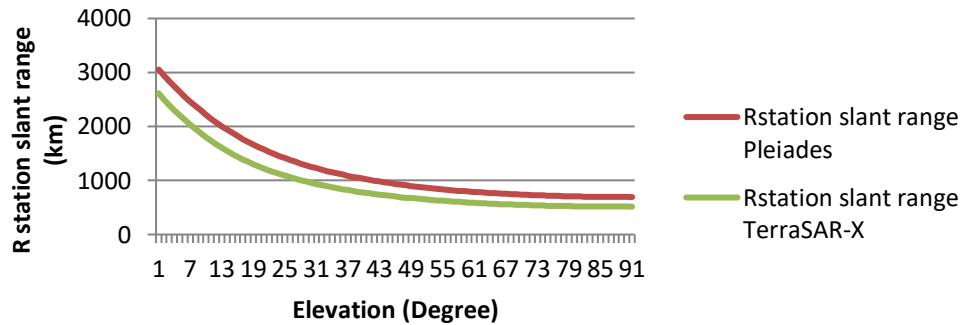
Parameter	Spesifikasi
Ukuran/Diameter Reflektor	Minimal 7.3 m
Material Panel & Trusses Reflektor	Aluminium
Tipe Feeder	Cassegraine
Kemampuan Tracking	Program Track & Autotrack
Polarisi	
Data Channel	Simultaneous RHCP/LHCP
Tracking Channel	Selectable RHCP/LHCP
Frekuensi	X-band only
G/T	
Data Channel	Minimum 32.5 dB/K @ 5 degree elevation
Tracking Channel	Minimum 31.0 dB/K @ 5 degree elevation
Akurasi	
Autotracking	Maksimal 0.05° rms BRE
Pointing	Maksimal 0.10° rms BRE
Insertion loss	Maksimal 0.20 dB
Passband ripple	Maksimal ± 0.05 dB
Axis Support	Az/EI/Train atau Az/EI/Tilt
Akurasi Posisi	0.025° rms
Frekuensi Tengah IF	720 MHz (1200 MHz preferable)
Ketersediaan Down Converter (DC)	Minimum 3 unit (Dual channel data reception, 1 channel tracking)
Ketersediaan Up Converter (DC)	Minimum 1 unit
Tipe Converter	Block/Modular
Temperature Outdoor	
Operational	-40°C to +55°C
Storage	-40°C to +65°C
Wind	
Operational	72 km/hr Gusting to 85 km/h
Survival	200 km/hr, sustained
Radome	Optional
Jaminan ketersediaan maintenance dan spare part	Minimal 10 tahun
Support satelit	Dapat menerima data satelit optik resolusi sangat tinggi seperti Pleiades, serta data satelit Radar seperti TanDEM-X, TerraSAR-X
Dapat diintegrasikan dengan perangkat eksisting SPBJ LAPAN Parepare	Wajib

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Analisis Free Space Loss dan Kebutuhan G/T Antena

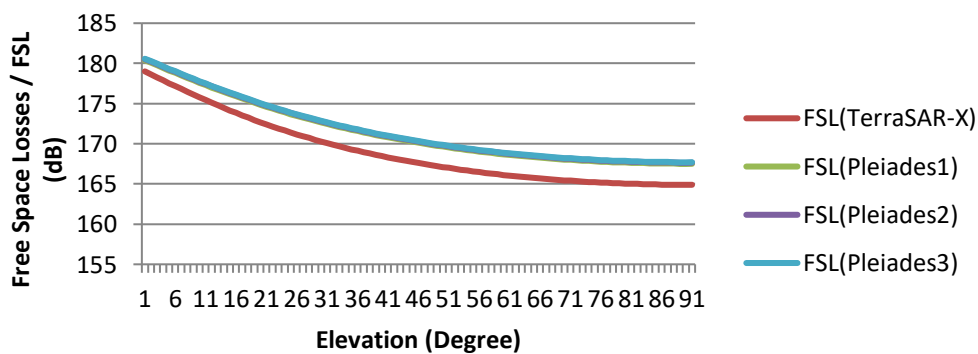
Hasil perhitungan $R_{station\ slant\ range}$ untuk Pleiades dan TerraSAR-X ditunjukkan pada Gambar 8 $R_{station\ slant\ range}$ menunjukkan jarak satelit terhadap antena stasiun bumi. Gambar tersebut diplot menggunakan Persamaan 3. Dapat dilihat bahwa jarak pada elevasi tinggi, jarak *slant range* untuk kedua satelit cenderung lebih dekat dengan satelit dan mendekati nilai yang sama, dimana untuk satelit Pleiades 694 km dan 514,8 km untuk TerraSAR-X. Sedangkan hasil perhitungan pada elevasi rendah, jarak *slant range* untuk kedua satelit cenderung menunjukkan perbedaan yang jauh dan jarak *slant range* antara

satelit dan stasiun bumi sangat signifikan, dimana untuk satelit Pleiades 3.055,231382 km dan 2.613,792417 km untuk TerraSAR-X. Dalam hal ini, penulis menggunakan nilai acuan elevasi antena sebesar 5 derajat, dimana untuk Pleiades $R_{station\ slant\ range} = 2549,502483$ km dan untuk TerraSAR-X $R_{station\ slant\ range} = 2116,362379$ km. Perhitungan nilai elevasi antena digunakan karena pada umumnya sinyal transmisi satelit akan mulai ditangkap oleh antena dengan posisi *lock* pada elevasi 5 derajat. Selain itu juga menghindari sinyal transmisi satelit mengalami *multipath fading* dan gangguan dari *obstacle* di sekitar stasiun bumi pada elevasi sangat rendah (umumnya < 3 derajat) (Hidayat, 2017).



Gambar 8. Jarak Satelit Pleiades dan TerraSAR-X terhadap Antena Stasiun Bumi

Gelombang elektromagnet yang dipancarkan ke bumi dengan frekuensi X-Band mengalami rugi rugi daya karena ruang hampa dan udara. Rugi rugi daya tersebut dapat dihitung berdasarkan fungsi jarak dan frekuensi (Haykin, 2007). Dari parameter jarak *slant range*, dapat diturunkan perhitungan untuk mencari nilai parameter *Free Space Losses* (FSL). Hasil perhitungan FSL ditunjukkan pada gambar 9 Nilai FSL untuk TerraSAR-X tampak lebih rendah dibandingkan dengan Pleiades, salah satunya disebabkan jarak *slant range* TerraSAR-X lebih kecil dibandingkan dengan Pleiades. Dan berdasarkan elevasinya, nilai FSL kedua satelit akan lebih besar pada elevasi rendah dan semakin kecil nilai FSL-nya pada elevasi tinggi. Namun pada elevasi 5 derajat, nilai FSL Pleiades (1,2, dan 3) dan TerraSAR-X relatif sama, dimana masing-masing bernilai 178.81, 178.95, 179.00 dan 177.17 dB.



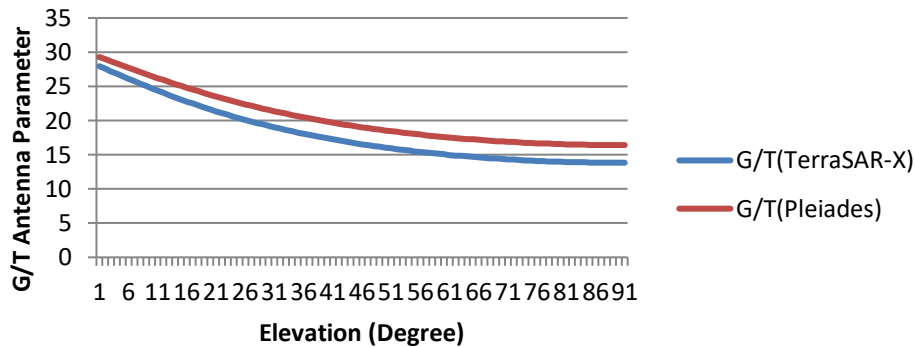
Gambar 9. Free Space Loss (FSL) untuk Satelit Pleiades dan TerraSAR-X

Parameter lain yang diperlukan untuk menghitung kebutuhan G/T antena adalah *Carrier to Noise Ratio* (C/No). C/No dapat di tulis sebagai daya pancar satelit ditambah dengan penguatan terhadap derau dikurangi rugi-rugi dikurangi konstanta *Boltzman* dan *Banwidth* total dalam bentuk logaritmik sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 5. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4 berikut ini. Satelit TerraSAR-X memiliki nilai C/No yang lebih besar dibandingkan dengan Pleiades walaupun menggunakan modulasi QPSK karena tidak menerapkan *error control code*.

Tabel 4. Perhitungan Nilai Carrier to Noise Ratio (C/No) Satelit Pleiades dan TerraSAR-X

No	Satelit	C/No (dB)
1	Pleiades	10.59
2	TerraSAR-X	15.01

Dari parameter FSL dan C/No yang diperoleh, maka nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung kebutuhan minimum G/T antenna berdasarkan parameter *downlink* satelit berdasarkan Tabel 1 dan 2. seperti ditunjukkan pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Kebutuhan G/T Antena Untuk Setiap Elevasi Berdasarkan Parameter *Downlink* Satelit

Semua nilai G/T pada Gambar 10 di atas dinyatakan dalam bentuk logaritmik yang diturunkan berdasarkan parameter *downlink* satelit. Menurut R. Metzger, 2011 dan Klugel, 2012 antenna yang digunakan untuk sistem penerimaan data di Jerman menggunakan antenna dengan G/T 32 dB/K. Pada bagian ini akan dihitung secara real berapa kebutuhan G/T pada antenna penerima di stasiun bumi berdasarkan parameter satelit yang sudah dihitung sebelumnya yaitu kebutuhan C/No demodulator, FSL, EIRP satelit, *Bandwidth* frekuensi dan redaman kabel dan konektor (*Loss Margin*) berdasarkan Persamaan 6. Pada elevasi 5 derajat, kebutuhan minimum G/T Pleiades adalah 26.10 dB/K dan untuk TerraSAR-X adalah 27.71 dB/K. Adapun hasil perhitungan G/T antenna berdasarkan seluruh parameter *downlink* satelit dirangkum pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Parameter Penerimaan Data Satelit Pleiades dan TerraSAR-X pada Elevasi 5 Derajat

<i>Downlink</i> (Satellite to station)	Pleiades 1	Pleiades 2	Pleiades 3	TerraSAR-X	Unit
C/No Requirement di Demodulator	10.59	10.59	10.59	15.01	dB
EIRP	15.3	15.3	15.3	23.0	dBW
Loss Margin	2.0	2.0	2.0	2.0	dB
Bolzmant	228.6	228.6	228.6	228.6	dBW
Free Space Losses	178.81	178.95	179.00	177.17	dB
Bandwidth (B)	80.2118	80.2118	80.2118	83.5218	dB
G/T	26.10	26.53	27.14	27.71	dB

2.2 Analisis Perhitungan Kebutuhan G/T Antena berdasarkan Ketersediaan Produk Antena

Perhitungan lain untuk menentukan kebutuhan G/T antenna untuk penerimaan data VHRSI adalah dengan mengkaji berdasarkan spesifikasi produk yang tersedia di pasaran. Parameter input antenna yang diperhitungkan antara lain : diameter antenna, efisiensi antenna, frekuensi, *Sky Temperature*, *Waveguide*, LNA, *Feed Power Divider + Coax Cable Run*, *X-Band Converter*, *Pedestal Cable Wrap*, *Line Driver*, *100m Cable Run* dan Demodulator. Jika diameter antenna 7.5 meter dengan efisiensi sebesar 71.72% dan frekuensi sinyal 8 GHz, maka panjang gelombang sinyal (λ) yang ditransmisikan adalah $\lambda = \frac{c}{f} = 0.0375$ meter dan *Gain* Antena $G = \frac{4\pi DF}{\lambda^2} \times efficiency$ yang dihasilkan sebesar 54.52 dBi. Dengan memperhitungkan rugi-rugi akibat derau/temperature noise pada sistem antenna (T_{sys}) sebesar 21.06 dB/K, maka diperoleh nilai G/T antenna sebesar 33.45 dB/K. Tabel 6 berikut adalah rangkuman perhitungan untuk menentukan nilai G/T antenna dengan mempertimbangkan beberapa parameter input seperti disebutkan di atas.

Tabel 6. Perhitungan G/T Antena berdasarkan Ketersediaan Produk Antena di Pasaran

No	Parameter	Nilai	Satuan	No	Parameter	Nilai	Satuan
Input Parameter :				Hasil Perhitungan (Output) :			
1	Antenna Diameter	7,5	meter	1	Panjang Gelombang Sinyal	0,0375	meter
2	Antenna Efficiency	71,72	%	2	Hasil Perhitungan Gain Antena	283139,2111	
3	Operating Frequency Antenna	8000	MHz	3	Hasil Perhitungan Gain Antena	54,5200	dB
4	Sky Temperature	52,8	Kelvin	4	Noise Contribution From Antena	46,7341	Kelvin
5	Waveguide Temperature	290	Kelvin	5	Noise Contribution From Waveguide	33,3165	Kelvin
6	Waveguide Gain	-0,53	dB	6	Noise Contribution From LNA	45,0000	Kelvin
7	LNA Temperature	45	Kelvin	7	Noise Contribution From Coax Cable Run	0,0241	Kelvin
8	LNA Gain	45	dB	8	Noise Contribution From X-Band Converter	2,6115	Kelvin
9	Feed Power Divider + Coax Cable Run Temperature	290	Kelvin	9	Noise Contribution From Pedestal Cable Wrap	0,0096	Kelvin
10	Feed Power Divider + Coax Cable Run Gain	-5,6	dB	10	Noise Contribution From Line Driver	0,0443	Kelvin
11	X-Band Converter Temperature	290	Kelvin	11	Noise Contribution From 100m Cable Run	0,0002	Kelvin
12	X-Band Converter Gain	8	dB	12	Noise Contribution From Line Driver	0,0000	Kelvin
13	X-Band Converter Noise Figure	19	dB	13	Noise Contribution From Line Driver	0,0662	Kelvin
14	Pedestal Cable Wrap Temperature	290	Kelvin	14	System Noise Temperature (T_{sys})	127,8066	Kelvin
15	Pedestal Cable Wrap Gain	-4,5	dB	15	System Noise Temperature (T_{sys})	21,0655	dB K
16	Line Driver Wrap Temperature	290	Kelvin	16	System G/T	33,4545	dB K
17	Line Driver Gain	25	dB				
18	Line Driver Noise Figure	6	dB				
19	100m Cable Run Temperature	290	Kelvin				
20	100m Cable Run Gain	-6,5	dB				
21	Line Driver Temperature	290	Kelvin				
22	Line Driver Gain	0	dB				
23	Line Driver Noise Figure	0	dB				
24	Demodulator Temperature	290	Kelvin				
25	Demodulator Gain	0	dB				
26	Demodulator Noise Figure	25	dB				

Hasil perhitungan kebutuhan G/T antena dilakukan untuk kedua satelit berdasarkan parameter satelit serta analisis ketersediaan produk antena di pasaran. Dari parameter satelit diperoleh perhitungan nilai G/T minimum pada elevasi 5 derajat sebesar 27,71 dB/K untuk penerimaan data Pleiades dan nilai G/T minimum sebesar 26,10 dB/K untuk penerimaan data TerraSAR-X. Sedangkan berdasarkan perhitungan produk antena yang tersedia di pasaran diperoleh nilai G/T sebesar 33,45 dB/K untuk elevasi 5 derajat dengan diameter antena 7,5 meter. Hasil analisis menunjukkan nilai G/T minimum untuk menerima data Pleiades dan TerraSAR-X adalah 28 dB/K, dan berdasarkan analisis produk antena yang tersedia di pasaran memenuhi spesifikasi kebutuhan minimum dan memungkinkan untuk dapat menerima data kedua satelit tersebut dengan nilai G/T mencapai 33 dB/K pada elevasi 5 derajat jika menggunakan antena berdiameter 7,5 meter. Oleh karena itu secara teknis dapat dinyatakan bahwa kebutuhan minimum G/T antena untuk menerima data Pleiades dan TerraSAR-X dimungkinkan untuk dilaksanakan di SPBJ Parepare. Namun kedua hasil perhitungan tersebut perlu diuji dan dievaluasi secara langsung terhadap subsistem antena X-Band yang rencananya akan dipasang di Stasiun Bumi Penginderaan Jauh (SPBJ) Parepare, Sulawesi Selatan.

Terkait dengan permasalahan pengkabelan dan power yang dibutuhkan untuk mengoperasikan antena X-Band, maka diusulkan rencana penempatan antena baru X-Band berdiameter 7,5 meter di

stasiun bumi penginderaan jauh LAPAN Parepare sesuai dengan hasil kajian yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut. Dimana garis berwarna merah menunjukkan jalur kabel untuk *power* dan garis berwarna kuning adalah jalur kabel IF (*Intermediate Frequency*).



Gambar 11. Rencana alokasi antena X-Band berdiameter untuk akuisisi data VHRSI

3. KESIMPULAN

Telah dilakukan kajian dan analisis tentang subsistem antena untuk penerimaan data VHRSI optik dan data resolusi tinggi SAR secara langsung/Direct Receiving System (DRS) untuk memenuhi kebutuhan jumlah data dalam rangka mendukung program prioritas nasional. Hasil kajian tentang DRS menunjukkan melalui akuisisi data langsung atau DRS, data terbaru dapat tersedia dengan cepat dan sesuai prioritas. Hasil perhitungan parameter antena untuk mendukung system DRS menunjukkan nilai G/T minimum untuk menerima data Pleiades dan TerraSAR-X adalah 28 dB/K, dan berdasarkan analisis produk antena yang tersedia di pasaran memenuhi spesifikasi kebutuhan minimum dan memungkinkan untuk dapat menerima data kedua satelit tersebut dengan nilai G/T mencapai 33 dB/K pada elevasi 5 derajat jika menggunakan antena berdiameter 7,5 meter. Oleh karena itu secara teknis dapat dinyatakan bahwa kebutuhan minimum G/T antena untuk menerima data Pleiades dan TerraSAR-X dimungkinkan untuk dilaksanakan di SPBJ Parepare. Namun kedua hasil perhitungan tersebut perlu diuji dan dievaluasi secara langsung terhadap subsistem antena X-Band yang rencananya akan dipasang di Stasiun Bumi Penginderaan Jauh (SPBJ) Parepare, Sulawesi Selatan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada LAPAN, khususnya Kapustekdata, Kabid Program dan Fasilitas serta Kelompok Penelitian (Poklit) Teknologi Akuisisi dan Stasiun Bumi Penginderaan Jauh (SBPJ) LAPAN yang telah memberikan masukan terkait kajian dan rencana implementasi sistem stasiun bumi untuk penerimaan dan perekaman data satelit penginderaan jauh optik resolusi sangat tinggi dan SAR resolusi tinggi.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Airbus, Inc. "LAPAN Multi-Mission Direct Receiving Service Upgrade for High Resolution Optical & Radar Imagery", 2006.
- [2] DigitalGlobe, Inc. "Imagery Intelligence on COMmand Direct Access Program & Imagery Solutions," 14 December 2016.
- [3] Clinton, E, et.al. (2017). Xband Communication, diunduh 15 September 2017 dari <http://propagation.ece.gatech.edu/ECE6390/project/Sum2015/team5/x-band-communication.html>
- [4] Eoportals (2017). Pleiades-HR (High-Resolution Optical Imaging Constellation of CNES), diunduh 15 September 2017 dari <https://eoportals.org/web/eoportals/satellite-missions/p/pleiades>.
- [5] Eoportals (2017). TSX (TerraSAR-X) Mission, diunduh 15 September 2017 dari <https://eoportals.org/web/eoportals/satellite-missions/p/pleiades>.
- [6] Haykin, S (2007), *Communication System 4 Edition*. John Wiley And Sons, New York.
- [7] Hidayat, A. et.al. , (2014). Desain dan Implementasi Sistem Pakar Analisis Performansi Antena Seaspace Axyom 5.1 Berbasis Web. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 12 (20), 154-162.
- [8] Hidayat, A. et.al. (2014)., Analisis Carrier to Interference Transmisi Gelombang Mikrowave Link X Band dengan *Downlink* Satelit Penginderaan Jauh. Paper presented at the Seminar Nasional Inderaja:LAPAN, Bogor, Indonesia
- [9] Hidayat, A. et.al. (2014), *Calibration Directions Antenna Method Sun Pointing At Antena 3 Axis*, Paper presented at the Seminar Nasional Inderaja:LAPAN, Bogor, Indonesia.
- [10] Hidayat, A., Munawar, S.T.A, Suprijanto, A., Setyasaputra, N. (2014). *Integration System for Receiving and Recording NPP Satellite Data at Remote Sensing Ground Station*. Paper presented at the Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI) IEEE:UNHAS, 26-30 November 2014, Makassar, Indonesia.
- [11] Hidayat, A., Munawar, S.T.A, Syarif, S., Andani, A., (2017). *LEO Antenna Ground Station Analysis Using Fast Fourier Transform*, Paper presentend at The 7 th International Anual engineering Seminar (IEEE: UGM), 1-2 Agustus, Yogyakarta, Indonesia.
- [12] Hidayat, A., Ramadhan, P.R., Suprijanto, A., Munawar, S.T.A., (2017). Kajian Kebutuhan Spesifikasi Antena Untuk Penerimaan Data Resolusi Sangat Tinggi. Paper presented at the Seminar Nasional Inderaja 2017:LAPAN, Depok, Indonesia.
- [13] Hidayat, A (2006). *Pemodelan Perencanaan Jaringan Wimax Untuk Daerah Urban dan Sub Urban*. Tugas Akhir, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom (STTTelkom) Bandung.
- [14] Instruksi Presiden Nomor 6 Tahun 2012 tentang Penyediaan, Penggunaan, Pengendalian Kualitas, Pengolahan dan Distribusi Data Satelit Penginderaan Jauh Resolusi Tinggi.
- [15] Integrasia, SISS, "KOMPSAT Direct Receiving Station", April 2017.
- [16] Judianto, CT, (2012). Analisis Potensi Stasiun Bumi Sateli LAPAN-TUBSAT Kototabang Untuk Pengawasan Jalur Strategis Selat Malaka, *Jurnal Teknologi Dirgantara* Vol. 10 No. 1 Juni 2012 : 13-23

- [17] Klügel T, et all. (2014). Earth and space observation at the German Antarctic Receiving Station O'Higgins. electronic Publication Information Center, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Bremerhaven, Germani
- [18] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 79 tahun 2017 tentang Rencana Kerja Pemerintah (RKP) Tahun 2018
- [19] R. Metzig, E. Diedrich, R. Reissig, M. Schwinger, F. Riffel, H. Henniger, B. Schättler. (2011). *The tanDEM-X Ground Station Network*. [Geoscience and Remote Sensing Symposium \(IGARSS\), 2011 IEEE International](#) 24-29 July 2011, Vancouver, BC, Canada
- [20] Setyasaputra, N., Hidayat, A., Hadiyanto, A.L., dan Munawar, S.T.A. (2015). Analisis Kebutuhan Integrasi Antena Orbital 3.0 dengan Sistem yang Telah Beroperasi di Stasiun Bumi Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Parepare. Seminar Nasional Penginderaan Jauh (Sinasinderaja) 2015, IICC Bogor, Indonesia.
- [21] Thales (2012). 8 PSK Data *Downlink* Subsystem, diunduh 17 September 2017 dari <https://www.thalesgroup.com/>
- [22] UK space Agency (2017). *Scfg X Band Database* diunduh dari <https://www.ofcom.org.uk>