

OPTIMALISASI AKURASI ANTENA PENJEJAK SATELIT ORBIT RENDAH MENGGUNAKAN MOTOR *STEPPER HYBRID 2 FASA* (OPTIMIZATION OF LOW EARTH ORBIT TRACKING ANTENNA USING STEPPER MOTOR HYBRID 2-PHASE)

Agus Herawan, Chusnul Tri Judianto

Peneliti bidang satelit komunikasi, Pusat Teknologi Satelit, Lapan

e-mail: agus.herawan@lapan.go.id

ABSTRACT

To support the utilization of LAPAN satellites in orbit, it's needed a reliable receiver antenna system at the Ground Station. This antenna system performance is largely determined by the accuracy of its motor beside the RF Front system (LNA, Feed, Cable dan Receiver) used to track the satellite which is moving very fast in low orbit. The movement of satellites in low orbit is about 630 km around 7.5 km/sec. It requires a driving force motor with high accuracy antenna for satellite tracking in light of obtaining the antenna always in the of line of sight to satellite, so that not experiencing any signal losses.

(In order) To obtain a reliable antenna system with a better accuracy, the utilization of the Hybrid stepper motor 2 phase design become compulsory. This standard stepper motor has accuracy of $1.8^\circ/\text{step}$ and by adding a gear ratio of 100:1 so that the antenna accuracy will increases to $0.018^\circ/\text{step}$. Detailed design and implementation of the stepper motor system accuracy will be elaborated in this paper.

Key words: *Stepper motor hybrid, Low earth orbit, Satellite tracking antenna*

ABSTRAK

Untuk mendukung kinerja pemanfaatan satelit Lapan di orbit maka dibutuhkan sistem antena penerima yang handal di stasiun bumi. Kinerja sistem penerima data satelit orbit rendah ini sangat ditentukan oleh akurasi motornya disamping sistem *RF Front* (LNA, *Feed*, *Cable* dan *Receiver*) yang digunakan dalam menjejak satelit yang bergerak sangat cepat pada orbit rendah. Kecepatan pergerakan satelit pada orbit rendah pada ketinggian sekitar 630 km adalah 7.5 km/detik. Dengan kondisi tersebut sistem antena membutuhkan motor penggerak antena dengan akurasi yang tinggi agar penjejukan terhadap pergerakan satelit akan tetap terjaga dan antena selalu dalam posisi *line of sight* tanpa terjadi kehilangan sinyal.

Agar diperoleh sistem antena yang handal dengan akurasi pergerakan motornya yang lebih baik, maka digunakan rancangan *motor stepper Hybrid 2 phase*. Motor *stepper* standar ini memiliki akurasi $1,8^\circ/\text{step}$, dengan menambah rancangan *gear* dengan perbandingan 100:1 sehingga diperoleh akurasi motor $0.018^\circ/\text{step}$. Detail Rancangan dan implementasi sistem motor *stepper* ini akan dibahas dalam tulisan ini.

Kata Kunci: *Motor stepper hybrid, Orbit rendah, Antena penjejak satelit*

1 PENDAHULUAN

Pengembangan Teknologi satelit yang telah dan sedang dilakukan oleh Lapan salah satunya adalah telah diluncurkan dan dioperasikannya satelit mikro pertama Indonesia LAPAN-TUBSAT dengan berat 57 kg yang merupakan

hasil kerjasama LAPAN dengan TU-Berlin Jerman sejak tahun 2007. Satelit tersebut membawa misi survey permukaan bumi (*surveillance*) dengan kemampuan mengambil gambar video analog permukaan bumi menggunakan kamera 1000 mm dan 50 mm yang

memiliki *ground resolution* 5 meter dan 200 meter.

Satelit mikro untuk misi *remote sensing* yang menjadi target pengembangan teknologi satelit oleh Lapan ini ditempatkan pada orbit *Low Earth Orbit* (LEO) dengan ketinggian antara 500 – 1000 km dari permukaan bumi. Satelit yang berada pada ketinggian ini akan memiliki kecepatan rotasi terhadap bumi yang sangat cepat. Satelit LAPAN-TUBSAT yang berada pada ketinggian 630 km, mempunyai kecepatan mengelilingi bumi sebesar 7544,96 m/s. Dengan kecepatan tersebut, maka dibutuhkan stasiun bumi kendali dengan kemampuan penjejukan (*tracking*) dan tingkat akurasi yang tinggi. Untuk mendapatkan pergerakan antena yang baik hingga diperoleh tingkat akurasi *tracking* yang tinggi, maka hal ini sangat berhubungan dengan kemampuan motor penggerak antena dalam mengarahkan antena mengikuti pergerakan satelit tersebut yang menggunakan sistem program *track/autotrack*. Dengan demikian kebutuhan stasiun bumi dengan kemampuan penjejukan dengan akurasi tinggi menjadi mutlak dalam pengoperasian satelit orbit rendah ini.

Dalam makalah ini selanjutnya akan dibahas lebih mendalam mengenai sistem motor *stepper* yang diimplementasikan pada sistem antena *S band prime* fokus dengan tujuan untuk mengoptimalkan akurasi pergerakannya sehingga dapat digunakan untuk penjejukan satelit orbit rendah (LEO) pada umumnya dan khususnya untuk satelit LAPAN-TUBSAT, LAPAN-A2 dan LAPAN-A3 dalam penerimaan data misi (*payload*) yang saat ini bekerja pada frekuensi *S band* yang memang membutuhkan pergerakan antena yang lebih halus (*derajat/step*) dan menuntut kestabilan tinggi.

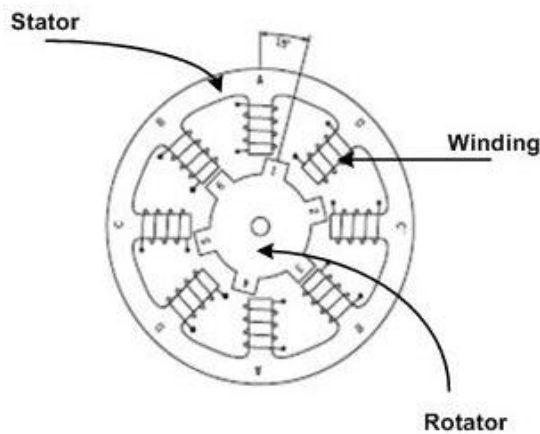
2 SISTEM STEPPER MOTOR

Dalam sistem antena *tracking* yang dikembangkan untuk penerimaan sinyal video satelit Lapan, dibutuhkan

pergerakan antena arah horizontal (*azimuth*) dan arah vertikal (*elevasi*) dimana pergerakannya dapat dilakukan secara simultan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka dibutuhkan dua buah motor *stepper*. Pemilihan penggunaan motor *stepper* ini dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal yaitu:

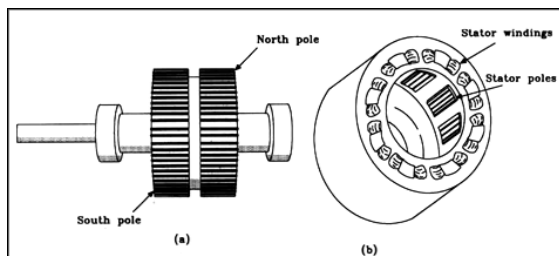
- Rancangan yang sederhana dan biaya yang murah (*cost effective*),
- Sudut putar motornya sebanding dengan *input* pulsa yang diberikan,
- Memiliki ketepatan posisi karena akurasi *step*-nya 3%-5% dan kesalahan *step* ini tidak terakumulasi pada setiap *step*-nya,
- Memiliki respon yang sangat baik saat mulai berputar, berhenti juga berputar balik,
- Perawatan motor yang mudah (*maintenance free*), karena tidak menggunakan *brushes*,
- Sangat handal (*reliable*) karena tidak adanya kontak *brush* pada motornya,
- Menerapkan sistem *Open loop* sehingga tidak membutuhkan perangkat *feed back* yang mahal seperti *optical encoder*.

Motor *stepper* adalah perangkat yang bersifat *electromagnetic*, *rotary* dan *incremental* yang akan merubah pulsa listrik kedalam bentuk gerakan mekanik. Dimana jumlah putaran atau rotasi yang dibuat berbanding lurus dengan jumlah pulsa digital yang di-*input*-kan dan kecepatan rotasinya relatif terhadap besar frekuensi pulsa yang di-*input*-kan. Ada tiga kategori dasar motor *stepper* yang digunakan saat ini yaitu, *Variable Reluctance* (VR), *Permanent Magnet* (PM) dan *Hybrid*. Secara mudah dapat dijelaskan bahwa jenis motor *variable reluctance* memiliki rotor dan stator dengan jumlah gigi yang berbeda dan rotor tidak memiliki magnet permanen. Gambar 2-1 memperlihatkan gambaran lengkap sistem permanen magnet motor *stepper*.



Gambar 2-1: Sistem Variable Reluctance Stepper Motor (VR)

Pada motor jenis *Permanent Magnet*, rotor motor ini menggunakan magnet permanen tetapi tidak memiliki gigi sehingga perputaran per *step*-nya akan 45° atau 90°. Gambar 2-2 memperlihatkan gambaran lengkap sistem *permanent magnet* motor *stepper*. Sedangkan pada motor jenis *hybrid* merupakan gabungan antara motor VR dan PM, dimana rotornya menggunakan magnet permanen. Rotor dan stator memiliki sejumlah gigi yang berbeda. Sehingga motor *stepper* jenis ini sangat akurat pergerakannya.



Gambar 2-2: Permanent Magnet (PM) stepper Motor (a) Rotor (b) Stator

Motor *hybrid* standar akan memiliki 200 gigi sehingga jumlah rotasi/*step* adalah 360°/200 atau sama dengan 1.8°, bahkan dapat mencapai 3.6°- 0.9°. Untuk mendapatkan kecepatan rotasi motor *hybrid* ini, dapat digunakan pendekatan sebagai berikut:

$$N = [\Psi \times (s/s)]/6 \tag{2-1}$$

Keterangan:

N = kecepatan motor (rpm)

Ψ = Step angle (degree)

s/s = jumlah step per detik

Sedangkan hubungan antara *step angle*, jumlah gigi pada rotor dan stator dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan perhitungan di bawah ini:

$$\Psi = [(Ns - Nr) / (Ns \times Nr)] \times 360^\circ \tag{2-1}$$

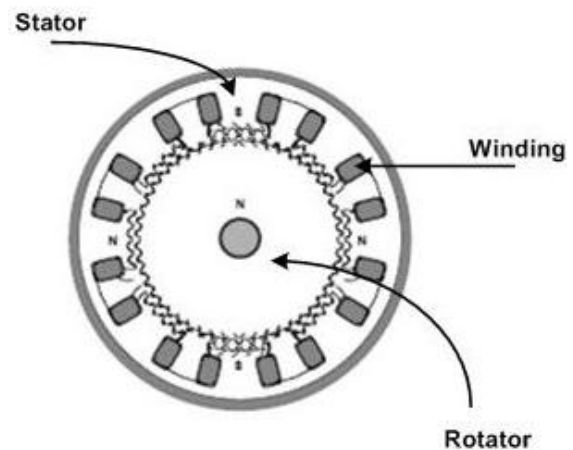
Keterangan:

Ns = jumlah gigi pada stator

Nr = jumlah gigi pada rotor

Ψ = step angle (degree)

Rancangan motor *stepper Hybrid* 2 phase dapat dilihat pada Gambar 2-3.



Gambar 2-3: Motor stepper tipe hybrid

3 PERANCANGAN

Perancangan diawali dengan Instalasi *interface* untuk komunikasi yang dimulai dari *stepper* motor ke SERS, *driver* dilakukan dengan pemasangan kabel-kabel pada masing-masing phase pada motor, serta kabel *brake* yang berfungsi sebagai *brake system* motor. Selain itu juga dibuat koneksi *encoder* dari motor *stepper* dengan menggunakan UTP kabel.

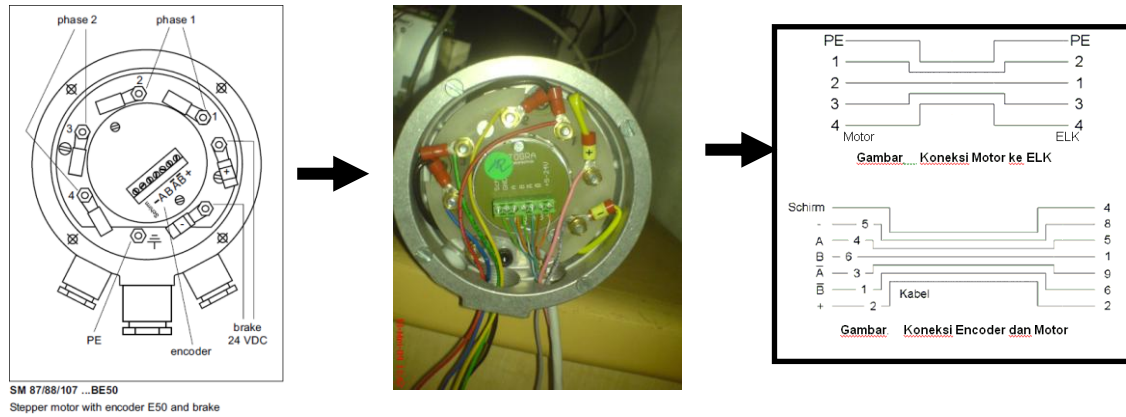
Setelah instalasi koneksi motor *stepper* dengan SERS selesai, kemudian dilanjutkan dengan mengkoneksikan antara SERS dengan PC melalui RS232.

Sehingga setelah semua komponen telah terintegrasi, maka hasil akhir dari instalasi komunikasi *interface* motor dengan SERS dan SERS dengan PC disajikan pada Gambar 3-3. (1.1)

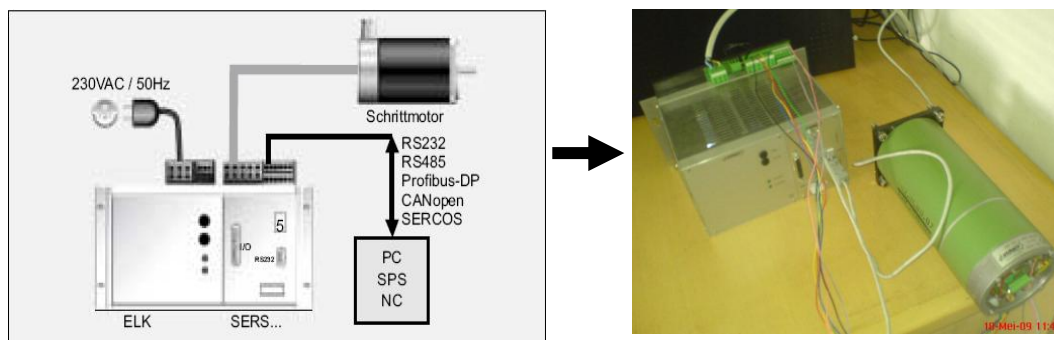
Perancangan selanjutnya yakni perancangan *pedestal system* dimana sistem ini mempunyai 2 *axis mounting* yakni *elevation axis* dan *azimuth axis*.

Di dalam *pedestal* antenna ini, telah dilakukan desain terhadap *Azimuth Pedestal System* dan *Elevasi Pedestal System*. Komponen-komponen dalam *Azimuth pedestal* ini terdiri dari Pipa diameter 204 mm, Pipa diameter 165 mm,

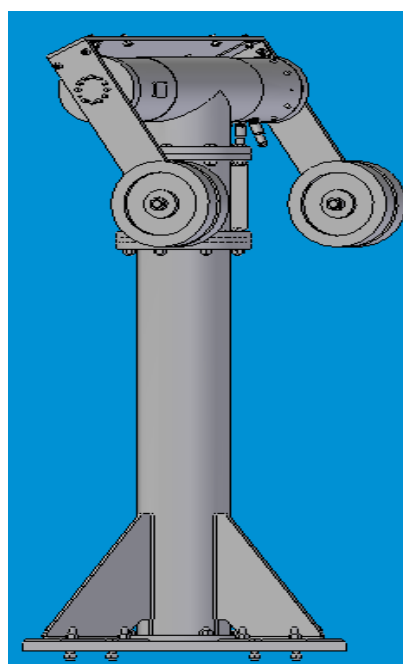
Motor Stoegra, Gear, Dudukan Motor *Stepper*, Penutup Pipa Kecil berbentuk lempengan plat dengan tebal 20 mm, Kuping Gear serta dudukan Pipa Kecil. Sehingga hasil rancangan untuk sistem *pedestal* ini disajikan pada Gambar 3-4.



Gambar 3-1: Koneksi *Stepper* Motor Ke SERS



Gambar 3-3: Integrasi *Sers driver* dan Motor *Stepper*



Gambar 3-4: Hasil rancangan sistem *pedestal antenna*

4 IMPLEMENTASI ANTENA MOTOR STEPPER HYBRID 2 PHASA





Sistem motor antenna yang dibangun menggunakan *stepper* motor presisi tinggi dengan akurasi pergerakan $0.018^\circ/\text{step}$. Akurasi ini diperoleh karena jumlah *step* motornya adalah 200 *step*, maka *step angle* motor tersebut adalah $360^\circ/200 = 1.8^\circ/\text{deg}$. Sementara *Gear* yg digunakan memiliki perbandingan 100:1 sehingga akurasi *step angle* menjadi $1.8^\circ/100 = 0.018^\circ/\text{step}$.

Spesifikasi elektrik dan mekanik motor stepper yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Sistem ini menggunakan 2 buah motor sebagai penggerak utamanya yaitu motor penggerak *azimuth axis* dan *elevation axis*. Seluruh Desain mekanik menggunakan *software Solid Edge*. Seperti terlihat pada Gambar 3-1, hasil desain penampang elevasi dan azimuth beserta implementasi fisik hasil rancangan sistem yang dibuat.

Tabel 4-1: SPESIFIKASI ELEKTRIK DAN MEKANIK DIGUNAKAN

NO	KOMPONEN	SPESIFIKASI ELEKTRIK	NILAI	SPESIFIKASI MEKANIK	NILAI
1	MOTOR STEPPER HYBRID 2 PHASE				
		<i>Current per phase</i> (bipolar)	10 A	<i>Bearing thrust load</i>	420 N
				<i>Bearing over hang load</i>	650 N
				<i>Step Numbers</i>	200 step
				<i>Step Angel</i>	1.8 deg
2	ENCODER				
		<i>Voltage</i>	5 – 24 VDC	<i>Output</i>	2X50 Pulsa/rev
		<i>Current</i> (bipolar)	35 – 100 mA		
		<i>Pulses frequency</i>	Min 20 KHz		

NO	NAMA SUBSYSTEM	HASIL DISAIN	HASIL MANUFAKTUR
1	Azimuth motor pedestal		
2	Elevation motor pedestal		

Gambar 4-1: Desain dan Impelementasi Motor Elevasi dan Azimuth

Untuk melakukan pengujian gerak *stepper* motor digunakan sistem *interfase* SERS *controller* yang terhubung dengan Motornya. Dalam pengujian ini digunakan dua buah SERS *control* yakni SERS *control* untuk Azimuth dan Elevasi, seperti yang terlihat pada Gambar 4-2.



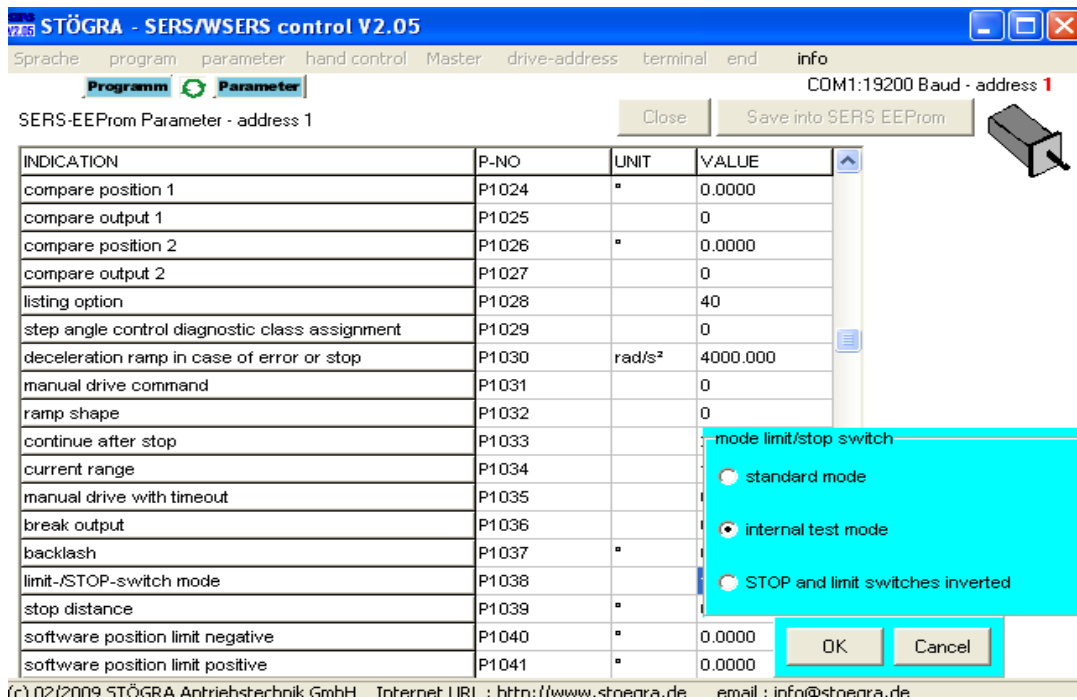
Gambar 4-2: SERS Control

Dalam SERS ini digunakan parameter untuk mengontrol posisi yang diperlihatkan pada Gambar 3-3. Dalam pengontrolan ini, *baudrate* yang digunakan pada *output com 1* sebesar 19200. Untuk menggerakkan motor, parameter yang digunakan pertama kali yaitu P1038, yang berfungsi sebagai pengerem motor, sesuai posisi maksimum yang di-input-kan oleh operator.

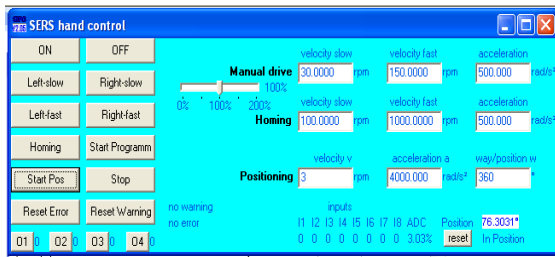
Di dalam *software* SERS, pengontrolan sepenuhnya berada dalam SERS *hand control*. Disini bisa dilakukan

pengontrolan berdasarkan posisi dan arah. Untuk arah, motor dapat digerakkan ke kiri dan ke kanan baik secara cepat ataupun lambat cepat atau lambat tergantung angka yang dimasukkan pada *velocity* dan akselerasi gerak motor yang ada pada *manual drive* di dalam *hand control*. Dalam *manual drive* terdapat 4 command berbeda yaitu *manual drive right slow*, *manual drive right fast*, *manual drive left slow*, *manual drive left fast*. Parameter yang digunakan pada *manual drive* yaitu: akselerasi *drive control* (P1018), *velocity manual drive control fast* (P1019) dan *velocity manual drive slow* (P1020).

Manual drive akan bekerja jika dilakukan pengiriman instruksi *right slow*, *right fast*, *left slow* dan *left fast* yang ada pada serial *interface* SERS. Sedangkan untuk posisi menggunakan parameter *acceleration* (Syntax: A), *velocity* (Syntax: V), *way/relatif positioning and position/absolute positioning* (Syntax: W). Kemudian dilakukan *execute* posisi, sehingga motor akan bergerak ke arah posisi yang diinginkan. Program kendali SERS *hand control* dapat dilihat pada Gambar 4-4.



Gambar 4-3: Parameter kendali motor pada *Interface* SERS



Gambar 4-4: SERS hand control

4.1 Integrasi dan Pengujian Sistem Antena

Proses *Assembly Integration and Test* (AIT) dilakukan secara mandiri dengan beberapa pengujian seperti mekanik, *close loop signal test* pada bagian *front end* sistem antena dan *signal test* melalui satelit. Implementasi pengujian mekanik dan *signal test* yang dilakukan untuk melihat akurasi pergerakan antena terhadap pergerakan target (satelit) dengan mengamati kuat *signal* yang diterima menggunakan target diam (*fix target*) satelit DFS yang menggunakan frekuensi S band frekuensi pada posisi GEO Orbit dan target bergerak menggunakan satelit LAPAN-TUBSAT dan satelit IRS.

A. Pengujian Akurasi Antena Menggunakan Satelit GEO

Satelit DFS digunakan sebagai acuan karena mempunyai posisi yang tetap berada di orbit geostasioner. Posisi antena terhadap satelit DFS terletak pada Azimut 270° dan elevasi 75° dan menggunakan frekuensi 2237 MHz.

Pengujian dilakukan dengan mengarahkan antena ke posisi satelit DFS dengan azimuth sebesar 270° dan

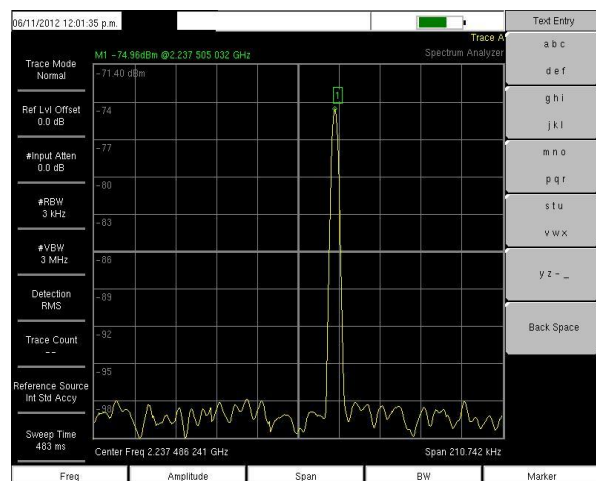
elevasi 75° . Hasil kuat sinyal yang diterima sebesar -74.96 dBm. Hasil pengamatan kuat sinyal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-5

B. Pengujian Akurasi Antena Menggunakan Satelit LEO

Ujicoba selanjutnya dilakukan terhadap satelit orbit rendah IRS-P6. Satelit IRS-P6 merupakan satelit observasi bumi (*Earth Observation Satellite*) milik India yang berada pada ketinggian 817 km pada inklinasi $98,7^\circ$ dengan *local time of equator crossing* pada pukul 10.30 AM. Hasil yang dapat diperoleh adalah kuat sinyal sebesar -80.20 dBm pada frekuensi 2249 MHz. Pengujian ini dilakukan secara otomatis dimana antena bergerak secara kontinu mengikuti pergerakan satelit sesuai *program track* (data TLE) yang di-inputkan dalam sistem *software*. Hasil pengujian penerimaan *signal* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-6.

C. Pengujian Akurasi Antena Menggunakan Satelit LAPAN-TUBSAT

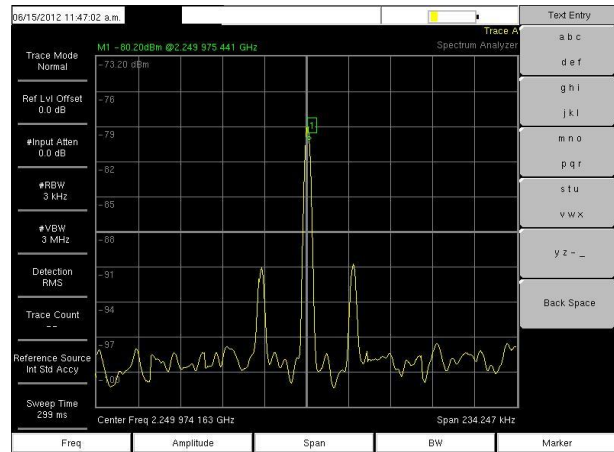
Pengujian lainnya adalah menggunakan satelit LAPAN-TUBSAT yang juga berada pada orbit rendah di ketinggian 630 km. Pengujian dilakukan pada elevasi max 40° dan satelit berada di sebelah barat stasiun bumi Rancabungur. Hasil yang diperoleh adalah kuat sinyal sebesar -58.50 dBm dengan frekuensi operasi 2220 MHz. Kuat sinyal hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4-7.



Gambar 4-5: Pengujian penerimaan sinyal satelit DFS

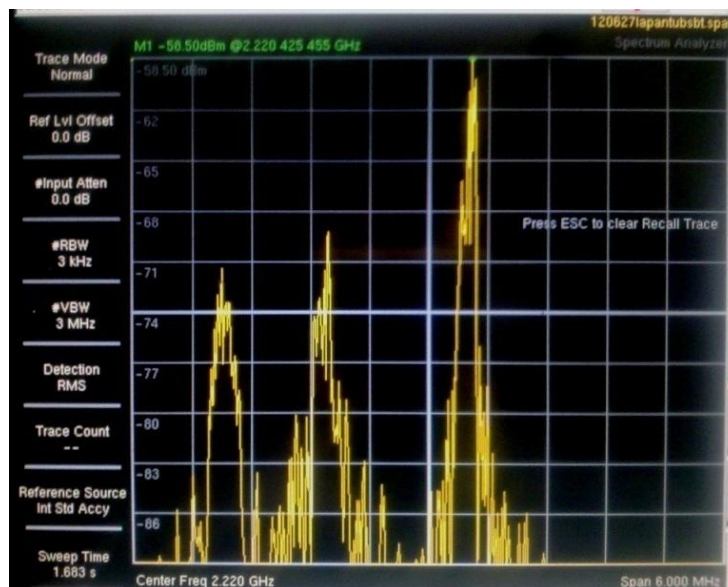


(a)



(b)

Gambar 4-6: (a) *Tracking* satelit IRS ketika berada di azimuth 300° dan elevasi 45° dan (b) Hasil penerimaan sinyal dari satelit IRS



Gambar 4-7: Hasil penerimaan sinyal video dari satelit LAPAN-TUBSAT

5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Ada beberapa parameter penting yang dianalisis untuk mendapatkan rancangan dan implementasi sistem motor dan antena yang sesuai kebutuhan dalam proses penjejakan (*tracking*) satelit orbit rendah yaitu:

- Kecepatan satelit pada Orbit Rendah (LEO)

Kecepatan satelit yang berada di orbit rendah pada ketinggian 500-1000 km akan bergerak sangat cepat, untuk itu perlu diantisipasi kemampuan motor dalam melakukan penjejakan (*tracking*) terhadap satelit tersebut. Kecepatan gerak satelit (*circular velocity*) satelit LAPAN-TUBSAT pada ketinggian 630 km dapat dihitung sebagai berikut:

$$V^2 = \frac{GM}{r} \quad (5-1)$$

$$V = [3,986 \times 10^{14} (1/r)]^{1/2} \text{ m/s}$$

Keterangan:

V = Kecepatan satelit [m/s]

G = Konstanta Gravitasi [$6,672 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ Kg}^{-2}$]

M = Masa bumi ($5,98 \times 10^{24} \text{ Kg}$)

r = Jarak antara pusat bumi dengan satelit (m)

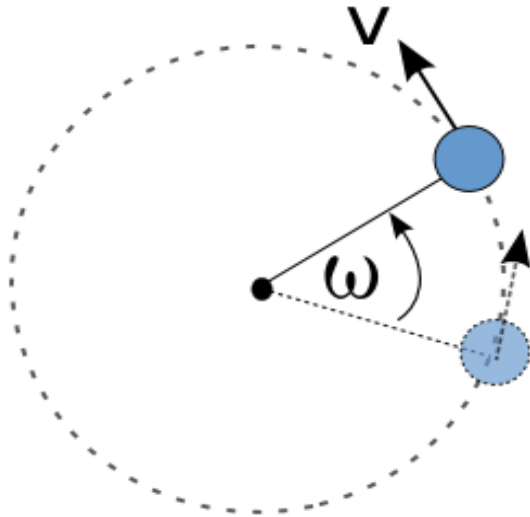
R = Radius Bumi [6378137](m)

Untuk satelit amatir LAPAN-TUBSAT yang berada pada ketinggian orbit 630 km, maka kecepatan satelit tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$V = 7545,31 \text{ m/s}$$

- Maksimum *Angular Rate*

Kecepatan *Angular* ini adalah kecepatan sudut yang ditimbulkan karena pergerakan satelit dalam melintasi orbit mengelilingi bumi dengan perubahan sudut dan kecepatan yang beraturan. Sehingga kecepatan sudut ini merupakan kecepatan antena dalam melakukan penjejakan terhadap gerak satelit.



Gambar 5-1: Geometri kecepatan sudut (*angular rate*)

Max Angular Rate antena (AR) adalah:

$$AR = \frac{2\pi r}{hP} \quad (5-1)$$

$P = 97,228$ Menit,
maka diperoleh AR sebesar
 $0,725$ °/detik.

Untuk mengetahui kemampuan motor *stepper* yang akan digunakan agar dapat mengatasi besar beban antena yang digunakan maka salah satu bagian penting yang perlu diperhitungkan adalah berat (massa) *reflector* yang digunakan.

Volume reflektor antena dengan diameter (r) tinggi cekungan (h) adalah:

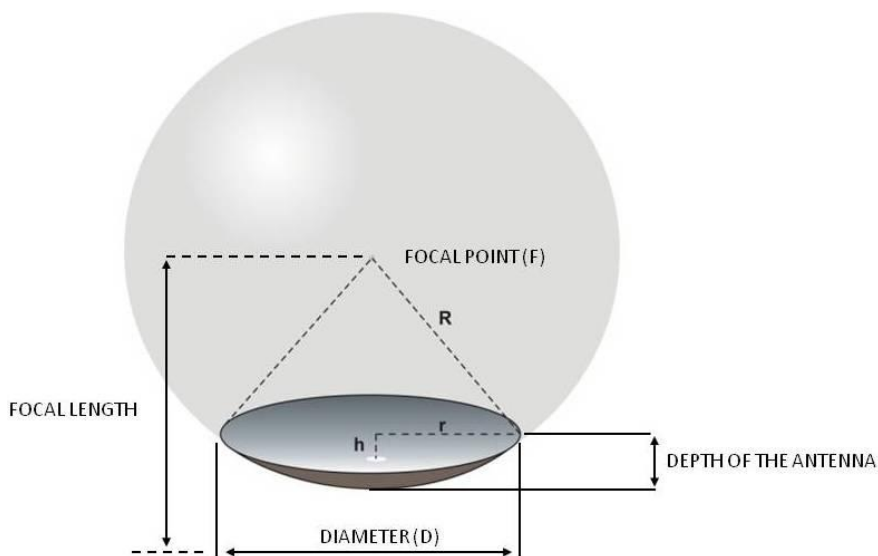
$$V = \frac{\pi}{6} h (3r^2 + h^2) \quad (5-2)$$

Untuk $h = 0,6$ m dan $r = 3$ m, maka:

$$V = 3,67 \text{ m}^3$$

Sistem pada motor *stepper* harus demikian digeneralisasikan, terutama jika beban inersianya tinggi atau

terdapat variasi yang besar dari beban sehingga tidak terdapat kemungkinan motor akan kehilangan *step*. Selama sudut beban $< 1,8^\circ$, *stepper* motor akan dioperasikan dalam *mode loop* terbuka. Operasi motor *stepper* dalam keadaan *open-loop* harus memberikan *step* (langkah putaran) sesuai dengan perintah atau kontrol yang diberikan pada motor *stepper* tersebut. Jika beban terlalu besar motor tak dapat bergerak normal atau diam sama sekali, hal ini disebabkan karena boleh jadi tidak cukup torsi (*torque*) untuk melakukan *stepping*. Dalam keadaan demikian, mungkin rotor dapat bergerak sedikit ketika mendapat *step pulse* (pulsa) tetapi kemudian jatuh kembali ke posisi semula. Keadaan ini disebut *stalling*. Jika tidak digunakan *feedback* (umpan balik), kontroler tidak dapat mengetahui apakah terjadi kegagalan *stepping*. Semakin besar beban inersia, semakin lama waktu yang dibutuhkan motor untuk mempercepat atau memperlambat beban itu. Dalam sistem *loop* terbuka, motor tidak tahu jika inersia berlebihan telah membuat motor kehilangan atau keuntungan satu atau lebih langkah, sehingga mempengaruhi akurasi posisi. beban inersia harus dibatasi untuk kinerja tinggi (relatif cepat) sistem. *Stepper* motor tidak sebagus motor servo dalam mempercepat beban. Mencoba untuk mempercepat beban terlalu cepat dimana *stepper* tidak dapat menghasilkan cukup torsi untuk pindah ke langkah berikutnya sebelum pulsa *drive* berikutnya akan menghasilkan langkah dilewati dan kerugian dalam posisi. Jika akurasi posisi sangat penting, baik beban pada motor tidak boleh melebihi torsi atau *stepper* harus dikombinasikan dengan posisi *encoder* untuk memastikan akurasi posisi. *Stepper* motor yang digunakan memiliki max torsi sebesar 12 Nm, sementara beban *reflector* sebesar 10 kg. sehingga hasil implementasi dilapangan dengan beban *reflector* 10 kg, motor *stepper* ini masih mampu berputar.



Gambar 5-2: Geometri reflektor antenna

• Kecepatan maksimum Motor Stepper Antena

Motor *stepper* ini memiliki akurasi 1.8 derajat/*step* dan untuk meningkatkan kemampuan akurasi antena untuk penjejakan satelit, maka dibuat sistem gear yang akan meningkatkan tingkat akurasinya dengan perbandingan *gear* dengan motor *stepper* 100:1, sehingga total akurasi kecepatan motor antena menjadi $1,8/100 = 0,018$ derajat/*step*.

Pada motor *stepper* umumnya tertulis spesifikasi N_p (pulsa/rotasi). Sedangkan kecepatan pulsa diekspresikan sebagai pps (pulsa per second) dan kecepatan putar umumnya ditulis sebagai ω (rotasi/menit) atau rpm . Kecepatan putar motor *stepper* (rpm) dapat diekspresikan menggunakan kecepatan pulsa (pps) sebagai berikut:

$$\omega = 60 \frac{pps}{N_p} \tag{5-3}$$

Keterangan:

- Ω = Rotasi/menit (rpm)
- N_p = *Step*/putaran (pulsa/rotasi)
- pps = Pulsa per detik

Kecepatan putaran motor berhubungan erat dengan jumlah langkah per detik yang sering dikenal dengan istilah *stepping rate* biasanya digunakan untuk menunjukkan kecepatan. Kecepatan putar motor biasanya berhubungan dengan putaran per menit (rpm).

Sedangkan pada motor *stepper* dinyatakan dalam bentuk *pulse* per *second*. *Stepper* motor ini telah terintegrasi dengan *encoder*. Dalam operasinya, motor melangkah serentak pulsa yang berasal dari kendali motor, yang disebut rotasi rotor sehingga sinkron dengan frekuensi pulsa (= perputaran stator pada motor).

Enkoder Seri E50 dipakai untuk memonitor gerakan motor yang mempunyai 2×50 *pulse/revolution* dan mempunyai frekuensi pulsa sebesar 20 Khz. Sementara *stepper* motor *hybrid* yang digunakan mempunyai akurasi 1,8 deg per *step* sehingga untuk berputar satu putaran penuh dibutuhkan $N_p = 200$ *step/revolution*. Jika dikaitkan dengan rumus maka diperoleh maksimum pengendalian putaran berdasarkan kemampuan *encoder* adalah:

$$\begin{aligned} \omega_{Enc_max} &= 20.000 \text{ Hz} / 100 \text{ pulse/rev} \tag{1.7} \\ &= 12.000 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Perbandingan pulsa *encoder* dengan *step* putaran motor:

$$\begin{aligned} N_{pulse} : N_p &= 100 : 200 \text{ (pulse/step)} \\ &= 1:2 \text{ (pulse/step)} \end{aligned}$$

Dengan mengetahui periode putaran motor maka dapat diketahui kecepatan angural motor yang digunakan yaitu:

$$\begin{aligned} v &= \frac{2 \pi r}{T} \text{ [deg/sec]} \tag{5-4} \\ v &= 0,01 \text{ deg/sec} \end{aligned}$$

Keterangan:

r = jari-jari motor (m)

T = periode putaran motor (sec)

6 KESIMPULAN

Dari pelaksanaan kegiatan penelitian dan perancangan sistem penggerak antenna akurasi tinggi untuk penjejakan satelit orbit polar dan *Near Equatorial* (Neeq) dapat disimpulkan bahwa:

- Implementasi hasil desain sistem *hardware* pedestal antenna menggunakan motor *stepper hybrid* 2 phasa, berat bersih 350 kg, akurasi $0.018^\circ/\text{step}$ serta pergerakan individual motor elevasi dan azimuth telah diwujudkan,
- Implementasi hasil desain adaptor reflektor parabola, pembuatan reflektor antenna (parabola) dan *pointing* akurasi dilakukan sebagai pelengkap sistem pedestal antenna,
- Pembuatan *software* kendali antenna yang telah dicoba untuk melakukan *tracking* satelit orbit polar dan juga digunakan untuk satelit *Near Equatorial* (NEEQ),
- Hasil perhitungan kecepatan sudut motor terhadap pergerakan satelit (*angular rate*) menghasilkan nilai $0,01 \text{ deg/sec}$ diatas kecepatan sudut satelit $0,725 \text{ deg/sec}$. Sehingga sistem motor antenna masih dapat mengantisipasi pergerakan satelit yang memiliki kecepatan $7,5 \text{ km/sec}$ tanpa kehilangan sinyal.
- Hasil test penerimaan sinyal seperti:
 - a. Test penerimaan sinyal satelit DFS (-74 dBm),
 - b. Test penerimaan sinyal satelit IRS-P6 (-80.29 dBm),
 - c. Test penerimaan sinyal satelit LAPAN-TUBSAT (-58.50 dBm).

Memperlihatkan hasil di atas nilai *threshold* sistem penerima (*receiver*) yang digunakan sehingga data dapat diterima dengan baik.

Peningkatan performa sistem antenna selanjutnya akan dilakukan secara keseluruhan tidak hanya pada sistem motor tetapi seluruh sistem antenna *front end* (*feed, reflector, cable system* dan *receiver*) juga sistem *software* otomatisasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Chusnul Tri Judianto, 2007. *Kajian Penggerak Sistem Antena Parabola Menggunakan Motor Stepper Hybrid 2 Phase*, Penguasaan teknologi dirgantara untuk mendukung program satelit mikro Lapan, ISBN: 978-979-1458-16-0, Massma publishing, Jakarta.
- <http://www.scientific.net/AMM.128-129.616> diakses tanggal 10 Juli 2013.
- James R. Wertz, Wiley J. Larson, 1999. *Space Mision Analisis and Design*, Microcosm Press, El Segundo CA.
- Octavian CRISTEA, Paul DOLEA, Paul ăduțDASCĂL, S-band ground station prototype for low-earth orbit nanosatellite missions, <http://www.agir.ro/buletine/748.pdf>
- Rainer Sandau, 2005. *International Study on Cost Effective Earth Observation Mission*, International academy of Aeronautics (IAA) commission study Group, AA. Balkema Publisher, Taylor and Francis, Great Britain.
- Raja Rao, K.N, 2004. *Fundamentals of Satellite Communication*, Prentice-Hall of India, New Delhi, India.
- Stoegra Antriebstechnik GmbH, 2007. www.stoegra.de, Machtlfinger 24 Strase D-81379 Munchen, Germany.
- Tomasi Wayne, 2003. *Electronic Communications Systems Fundamentals Through Advanced*, Fourth Edition, Pearson Education, Inc, Singapore.

