

Desain Antena *Microstrip* dengan *Tapered Peripheral Slits* Untuk *Payload* Satelit Nano pada Frekuensi 436,5 MHz

Alan Sujadi, Eko Setijadi, dan Gamantyo Hendrantoro

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ekoset@ee.its.ac.id

Abstrak—Pada makalah ini akan dijelaskan tentang desain antena *microstrip* yang digunakan untuk satelit pada frekuensi 436.5 MHz dengan dimensi satelit 10 cm \times 10 cm \times 10 cm. Antena *microstrip* yang bekerja pada frekuensi UHF, dalam hal ini 436.5 MHz, memiliki dimensi yang relatif besar untuk satelit nano atau piko. Karena itu desain antena akan dibuat dengan *tapered peripheral slits* untuk mereduksi ukuran antena *microstrip* dan teknik-teknik miniaturisasi ukuran lainnya agar didapatkan dimensi antena yang *compact*. Desain antena *microstrip* menggunakan *software* simulasi *CST Microwave Studio*. Ditambahkan *airgap* (celah udara) antara substrat dan *ground plane* pada desain untuk menghilangkan *back lobe* dan meningkatkan *gain*. Hasil simulasi pada frekuensi kerja 436.5 MHz didapatkan nilai *return loss* -19.11 dB, nilai *VSWR* sebesar 1.2492, *bandwidth* sebesar 127.58 MHz, dan *gain* antena sebesar 1.647 dB. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai *return loss* sebesar -21.085 dB, nilai *VSWR* didapatkan 1.206, *bandwidth* sebesar 55.9 MHz, dan *gain* pengukuran sebesar 3.105 dBi. Pola radiasi dari hasil simulasi dan pengukuran yaitu *omnidirectional*. Antena ini menggunakan *dual coaxial probe feeding*. Dimensi antena adalah 10 cm \times 10 cm. Mengacu pada hasil simulasi dan hasil pengujian maka antena *microstrip* dengan *tapered peripheral slits* ini memenuhi untuk diterapkan pada satelit ITS-Sat.

Kata Kunci—antena *microstrip*, *tapered peripheral slits*, satelit nano, frekuensi UHF, *compact*.

I. PENDAHULUAN

PEMERINTAH Indonesia mengadakan suatu program pengembangan satelit nano antar universitas yang bernama IINUSAT (Indonesia Inter-University Satellite). Universitas yang terlibat antara lain ITB, UI, UGM, IT Telekom, PENS, dan ITS, ditambah dengan LAPAN. Hal ini dimaksudkan untuk penguasaan secara mandiri teknologi satelit oleh bangsa Indonesia. Dalam program pemerintah ini mahasiswa dari perguruan tinggi tersebut adalah yang berperan utama dalam pengembangan Nano Satelit. Dosen dalam program ini berperan sebagai pembimbing dalam penguasaan teknologi satelit nano [1]. ITS, yang juga tergabung dalam program ini, membentuk Komunitas Satelit ITS yang memiliki salah satu misi mengembangkan satelit ITS-Sat yang memiliki dimensi 10 cm \times 10 cm \times 10 cm.

Dalam membangun komunikasi satelit, diperlukan antena yang selain memiliki fungsi utama menerima atau mengirimkan gelombang elektromagnetik, juga memiliki ukuran yang *compact* dan *low profile*. Antena yang dapat digunakan adalah antena *microstrip*. Antena ini akan digunakan pada satelit ITS-Sat pada frekuensi 436,5 MHz untuk arah uplink. Akan tetapi, ukuran umum antena *microstrip* untuk frekuensi tersebut masih besar dan tidak dapat diimplementasikan pada satelit dengan dimensi 10

\times 10 cm \times 10 cm. Karena itu perlu diterapkan teknik miniaturisasi antena *microstrip tapered peripheral slits* agar didapatkan dimensi antena yang *compact* dan sesuai untuk ITS-Sat. *Tapered peripheral slits* adalah salah satu teknik miniaturisasi ukuran antena *microstrip* yang bekerja dengan cara membuat beberapa belahan (*slits*) pada sisi-sisi *patch* antena. Penggunaan *slits* akan meningkatkan panjang elektris dari *patch* dan frekuensi operasi akan turun, sedangkan dimensi fisik dari *patch* tetap [2].

II. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Antena *microstrip* yang didesain adalah antena *microstrip* dengan *tapered peripheral slits* dengan *airgap* (celah udara) pada frekuensi 436,5 MHz dengan *dual coaxial probe feed*. Substrat yang digunakan adalah FR-04 Epoxy dengan konstanta dielektrik 4,3 dan dimensi antena adalah 10 cm \times 10 cm sesuai dengan dimensi satelit ITS-Sat. Penentuan kriteria desain antena, yang ditampilkan pada tabel 2, mengacu pada spesifikasi satelit ITS-Sat yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1.
Spesifikasi Umum Satelit ITS-Sat

Parameter	Spesifikasi
Misi	Penginderaan citra jarak jauh
Dimensi	10 cm \times 10 cm \times 10 cm
Orbit	LEO
Frekuensi	UHF 436,5 MHz U/L S-Band 2,4 GHz D/L
Kontrol	Tumbling pada arategak lurus arah orbit
Komunikasi	TTC

Tabel 2.
Spesifikasi Desain Antena *Microstrip*

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	436,5 MHz
Jenis <i>patch</i>	<i>Square patch</i>
Dimensi	Maksimal 10 cm \times 10 cm
Pola radiasi	<i>Omnidirectional</i>
Return loss	< -10 dB
VSWR	< 2
Gain	> 0 dBi
Pencatuan	<i>Coaxial Probe</i>

Dimensi satelit ITS-Sat mengacu pada desain satelit piko Cube-Sat, yaitu 10 cm \times 10 cm \times 10 cm. Frekuensi yang digunakan untuk uplink adalah 436,5 MHz. Satelit bergerak secara tumbling dengan arah vertikal tegak lurus arah gerak satelit. Antena *microstrip* pada frekuensi 436,5 MHz nantinya dapat diimplementasikan pada sisi satelit yang sejajar arah orbit, sehingga pola radiasi mengarah ke

bumi. Dengan frekuensi kerja 436,5 MHz, antenna ini akan diimplementasikan di sisi uplink satelit. Salah satu *payload* di sisi uplink adalah TTC (*telecommunication, telemetry, and command*). Antena ini ditujukan untuk menerima data yang ditransmisikan berupa teks perintah (*command*) dari stasiun bumi yang membutuhkan bandwidth 7,6 KHz [3].

A. Perancangan Antena

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Pertama kali yang dilakukan adalah mendapatkan dimensi antena *microstrip* melalui perhitungan teoritis. Penentuan dimensi awal antena *microstrip* dilakukan dengan analisis *transmission line* [balanis]. Dari perhitungan secara teoritis tersebut didapatkan parameter dimensi antena antara lain panjang gelombang (λ), panjang gelombang dielektrik (λ_g), panjang lempengan radiasi atau *patch* (L), lebar lempengan radiasi atau *patch* (W). Perhitungan dimensi awal antena menggunakan persamaan-persamaan berikut. Ukuran dari panjang penampang bertambah pada setiap sisi dengan suatu jarak yang dinyatakan dengan ΔL [4].

$$\Delta L = 0.413h \frac{(E_{reff} + 0.5) \left(\frac{W}{h}\right)}{(E_{reff} - 0.259) \left(\frac{W}{h}\right)} \quad (1)$$

Panjang efektif dari lempengan Leff menjadi,

$$L_{eff} = \frac{L}{2f_0} \quad (2)$$

Panjang efektif lempengan pada frekuensi resonansi,

$$L_{eff} = L \quad (3)$$

Untuk sebuah antena *microstrip rectangular*, frekuensi resonansi dinyatakan sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{c}{2L} \quad (4)$$

Untuk radiasi efektif, panjang dari W dinyatakan sebagai berikut,

$$W = \frac{L}{2fc} \quad (5)$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai $\lambda = 681$ mm, $\lambda_g = 331$ mm, $L=163,7$ mm dan $W=209,1$ mm. Untuk mendesain antena dengan *square patch* menggunakan *dual feed*, maka nilai W harus sama dengan L. Untuk itu dari hasil perhitungan antena *microstrip* secara teoritis sebagai pembandingan didapatkan ukuran *patch* antena dengan $L=W=163,7$ mm dan ukuran substrat 173,7 mm. Hasil perhitungan dimensi antena secara teoritis ditampilkan pada tabel 3.

Terlihat bahwa berdasarkan perhitungan teoritis, dimensi antena masih belum memenuhi untuk diterapkan karena melebihi batasan ukuran maksimal 10 cm x 10 cm. Antena kemudian memerlukan optimasi untuk mereduksi ukuran antena.

Tabel 3.
Rancangan Awal Antena *Microstrip*

λ (lambda)	687 mm
λ_g (lambda dielektrik)	331 mm
L (panjang patch)	163,7 mm
W (lebar patch)	163,7 mm
$W_{substrat}$ (dimensi substrat)	173,7 mm
h (ketebalan substrat)	1.6 mm

B. Simulasi dan Optimasi Antena

Simulasi desain antena menggunakan *software* CST *Microwave Studio*. Simulasi dan optimasi sampai mendapatkan desain akhir antena dilakukan dengan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah simulasi awal antena berdasarkan perhitungan teoritis. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan acuan desain antena yang didapatkan melalui perhitungan teoritis. Tahap berikutnya adalah optimasi awal dengan *tapered peripheral slits*. Dari sini akan didapatkan dimensi antena yang telah diminiaturisasi dan mendapatkan dimensi yang compact. Tahap terakhir adalah optimasi akhir antena *microstrip* dengan menambahkan celah udara (*airgap*) antara substrat dan *ground plane*.

Simulasi Awal

Pada tahap ini dilakukan simulasi awal antena *microstrip* dengan hasil dimensi yang didapatkan dari perhitungan teoritis. Teknik pencatutan yang digunakan adalah *single coaxial probe*. Hasil yang didapatkan masih belum memenuhi kriteria desain. Karena itu perlu dilakukan optimasi pada desain antena tersebut.

Hasil optimasi simulasi desain antena awal masih memiliki dimensi yang besar, dalam artian masih lebih dari batas maksimal 10cm x 10 cm. Karena itu diperlukan optimasi miniaturisasi dimensi antena *tapered peripheral slits* agar didapatkan ukuran antena *microstrip* pada frekuensi 436,5 MHz yang compact.

Tapered Peripheral Slits

Peripheral slits adalah salah satu teknik miniaturisasi ukuran antena *microstrip* yang bekerja dengan cara membuat beberapa belahan (*slits*) pada sisi-sisi *patch* antena. Penggunaan *slits* akan mengganggu aliran arus di permukaan, memaksa arus untuk berbelok-belok, yang kemudian meningkatkan panjang elektris dari *patch*. Pada akhirnya, frekuensi operasi akan turun, sedangkan dimensi fisik dari *patch* tetap. Sampai tahap tertentu, nilai frekuensi dapat direduksi dengan semakin menambah panjang *slit*. Jumlah *slit* yang digunakan semakin banyak juga akan dapat mengurangi frekuensi kerja. Dengan menggunakan beberapa buah *slit*, arus di permukaan akan mengalir di sekeliling *slits*. Hasilnya adalah (a) memperpanjang ukuran elektris dari *patch* dan (b) timbulnya arus yang normal searah dengan arus eksitasi [5].

Pada penelitian selanjutnya [2], dari *peripheral slits* yang sebelumnya didesain dengan panjang *slits* yang seragam, ditambahkan modifikasi dengan memvariasikan panjang *slits* dengan profil *tapering* yang memberikan bentuk runcing pada *slits* yang diimplementasikan. Teknik ini disebut dengan *tapered peripheral slits* (TPS). Dengan menerapkan teknik TPS, semakin banyak area permukaan *patch* yang terlindungi. Teknik TPS menghasilkan pengurangan dimensi yang lebih baik dan juga merupakan suatu cara untuk mengontrol impedansi masukan antena. Berdasarkan hasil pengujian, teknik ini dikatakan dapat mengurangi ukuran antena hingga 30%.

Optimasi Antena dengan Tapered Peripheral Slits

Pada tahap ini hasil dari simulasi antena yang didapatkan secara teoritis dioptimasi dengan teknik *tapered peripheral slits*. Ada beberapa variable yang ditentukan, yaitu panjang, jumlah, lebar, dan jarak antar *slits*. Terlebih dahulu dianalisis pengaruh dari masing masing variabel. Untuk panjang *slits*, semakin panjang *slits* yang digunakan, frekuensi kerja akan

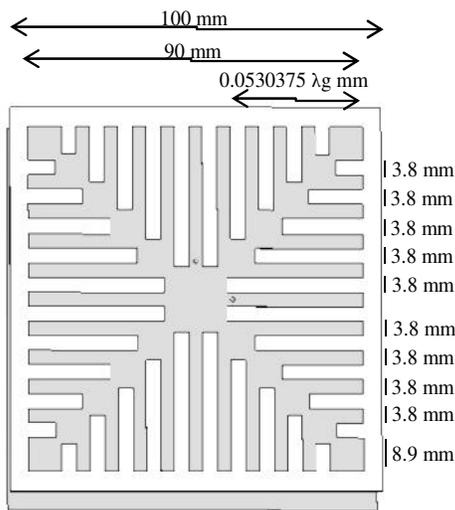
semakin turun. Begitu pula untuk jumlah slits, semakin banyak yang digunakan, nilai penurunan frekuensi juga semakin besar. Hal yang sama berlaku juga untuk lebar dan jarak antar slits. Yang menjadi catatan disini adalah penerapan *tapered peripheral slits* bukan tanpa konsekuensi. Gain yang didapatkan menjadi kecil. Selain itu tercipta *back lobe* yang cukup besar yang mengakibatkan nilai gain menjadi negatif. Optimasi yang dilakukan terkait menentukan dimensi *slits* yang digunakan. Jumlah *slits* yang digunakan adalah sepuluh buah di masing-masing sisi *patch*. Panjang *slits* bervariasi menurut aturan tertentu $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5\}$. Untuk lebar dan jarak antar *slits* disamakan. Digunakan *dual coaxial probe feed* pada posisi masing-masing (0,10mm) dan (10mm,0) berdasar acuan titik tengah *patch* (x=0, y=0).

Optimasi Akhir Antena dengan Celah Udara

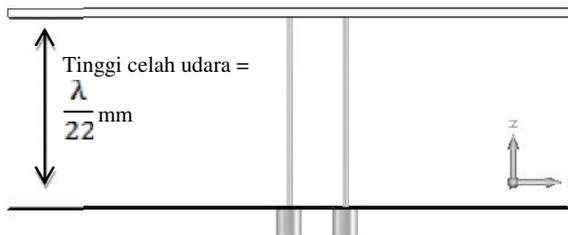
Berdasarkan hasil sebelumnya, tercipta *back lobe* yang cukup besar yang menyebabkan gain menjadi negatif. Hal ini dikarenakan *patch* dengan *tapered peripheral slits* cenderung menjadi reflektor daripada radiator. Untuk mengatasi hal ini, ditambahkan celah udara antara substrat dan *ground plane*. Penerapan celah udara ini akan menjadikan *ground plane* sebagai reflektor bagi *back lobe* yang dihasilkan [6]. Gain menjadi positif dan pola radiasi menjadi *omnidirectional*. Hasil akhir antena *microstrip* pada frekuensi 436,5 MHz dapat dilihat pada gambar 1, gambar 2, dan parameter antena pada tabel 4.

Tabel 4. Dimensi Antena *Microstrip* 436,5 MHz

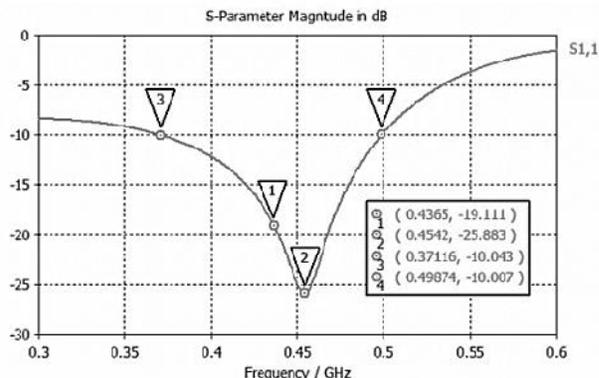
Parameter	Ukuran
Dimensi <i>patch</i>	90 mm
Dimensi substrat	100 mm
Posisi port (x,y)	(10 mm,10 mm)
Lambda (λ)	687 mm
Tinggi <i>airgap</i>	$\lambda/22$ mm
Lambda dielektrik (λ_g)	331 mm
Panjang slits	$0.0530375 \lambda_g$
Lebar slits	3.8 mm
Spasi antar slits	3.8 mm
Jumlah slits	10 tiap sisi



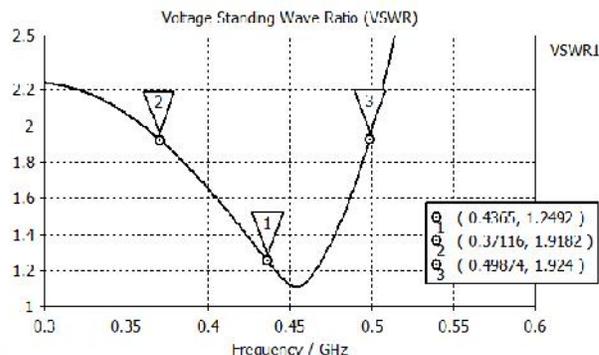
Gambar 1. Dimensi Akhir Antena *Microstrip* Frekuensi 436,5 MHz.



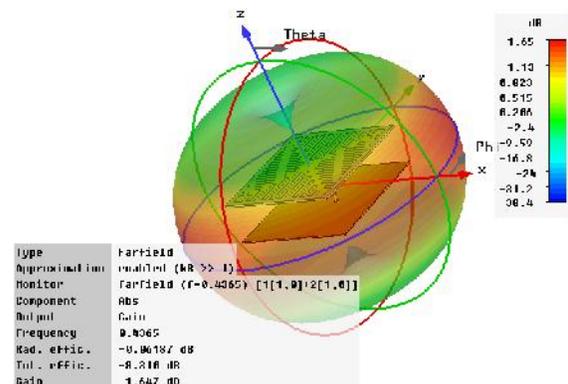
Gambar 2. Dimensi Akhir Antena *Microstrip* Frekuensi 436,5 MHz Tampak Sampling.



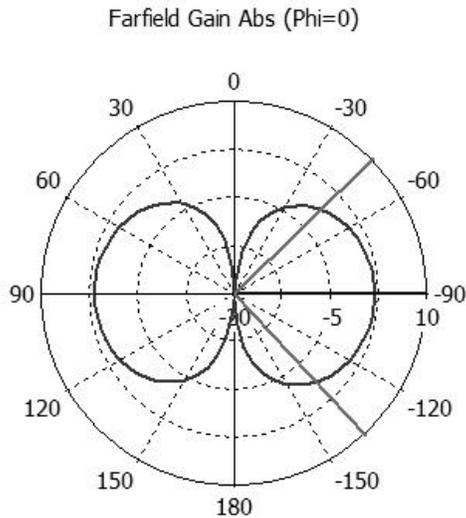
Gambar 3. *Return loss* Hasil Simulasi.



Gambar 4. VSWR Hasil Simulasi.



Gambar 5. Pola Radiasi Hasil Simulasi.



Gambar. 6. Grafik Hasil Simulasi Pola Radiasi Vertikal Antena *Microstrip* Pada Frekuensi 436.5 MHz.

Tabel 5. Parameter Antena Hasil Simulasi

Parameter Antena	Nilai
<i>Return Loss</i> ($f= 436,5$ MHz)	-19,111 dB
VSWR($f= 436,5$ MHz)	1,2492
<i>Bandwidth</i>	55,9 MHz
<i>Gain</i>	1,647 dBi
HPBW	91,5°

Berdasarkan hasil simulasi yang disajikan pada tabel 5, didapatkan nilai parameter *return loss* yang baik, yaitu -19,111 dB pada frekuensi 436,5 MHz dan nilai VSWR 1,2492. *Gain* yang dihasilkan sebesar 1,647 dBi dengan pola radiasi *omnidirectional*. HPBW (*Half Power Beam Width*) dapat dilihat pada plot pola radiasi pada arah vertikal ($\theta = 0^\circ$) sebesar 91,5°. *Bandwidth* sebesar 55,9 MHz didapatkan dari persamaan (6).

$$BW = F_2 - F_1, \text{MHz} \tag{6}$$

Dimana:

F_2 = frekuensi tertinggi pada nilai *return loss* -10dB

F_1 = frekuensi terendah pada nilai *return loss* -10dB

C. Implementasi Antena

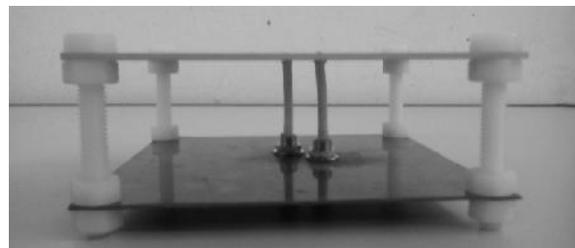
Implementasi *microstrip* antena dilakukan berdasarkan hasil simulasi *microstrip* antena. Secara umum antena *microstrip* dengan *tapered peripheral slits* terbagi menjadi dua bagian, substrat-*patch* dan *ground plane*. Keduanya dipisahkan oleh *airgap* (celah udara). Hasil implementasi antena *microstrip* disajikan pada gambar 7 dan gambar 8.

Dual feed yang digunakan menggunakan konektor SMA 50 yang kecil agar sesuai diterapkan pada satelit. Penampang *airgap* (celah udara) digunakan empat pasang mur-baut berbahan nylon yang telah diatur ketinggiannya dan diletakkan diujung-ujung antena *microstrip*. Untuk *ground plane* digunakan pelat tembaga dengan ketebalan 1 mm dan dengan dimensi panjang dan lebar sama dengan dimensi antena *microstrip*, yaitu 10 cm x 10 cm. Ketinggian celah udara sekitar 3,1 cm. Nanti pada implementasinya pada satelit, *ground plane* yang akan digunakan adalah sisi langsung dari satelit yang bersangkutan. Untuk perpanjangan *feeding* dari konektor SMA ke *patch*

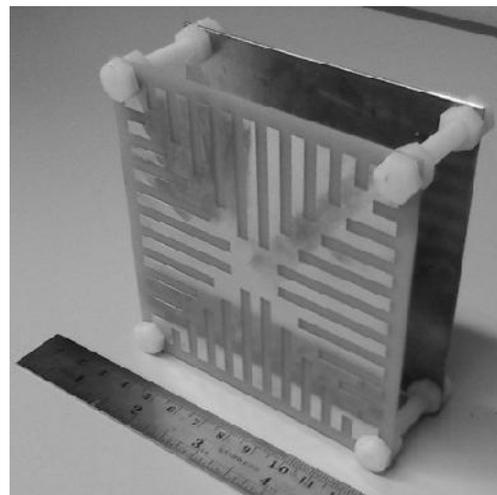
digunakan bagian dalam dari kabel RG-58 beserta bagian tengahnya sebagai *shielding* berbahan Teflon, sedangkan bagian luarnya tidak digunakan.

III. PENGUKURAN DAN ANALISIS DATA

Proses pengukuran dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap pengukuran dengan menggunakan perangkat *Network Analyzer*, *Signal Generator* dan *Spektrum Analyzer*. Parameter yang diukur dalam pengukuran ini adalah *return loss*, VSWR, *bandwidth*, *gain* dan pola radiasi. Perangkat *Network Analyzer* di Lab Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS digunakan untuk mengukur nilai *return loss*, VSWR dan *bandwidth*, sedangkan *Signal Generator* dan *Spectrum Analyser* digunakan untuk mengukur nilai daya terima antena. Nilai daya terima antena tersebut dapat digunakan untuk mengetahui nilai *gain* dan pola radiasi. Setelah mendapatkan hasil pengukuran parameter antena, hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi seperti disajikan pada tabel 6.



Gambar. 7. Antena *Microstrip* Tampak Samping.



Gambar. 8. Antena *Microstrip* Tampak Depan

Tabel 6. Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran

Parameter Antena	Kriteria Desain	Simulasi	Pengukuran
<i>Return Loss</i> ($f = 436,5$ MHz)	< -10 dB	-19.111 dB	-21.085
<i>Bandwidth</i>	7.6 KHz	127.58 MHz	55.9 MHz
VSWR ($f = 436,5$ MHz)	< 2	1.2492	1.206
<i>Gain</i> (dB)	> 0 dB	1.647 dBi	3.105 dBi

A. Return Loss dan Bandwidth

Pengukuran *return loss* dilakukan dengan menggunakan perangkat *network analyzer*. Antena dihubungkan dengan NA kemudian diamati nilai *return loss* yang tampil di layar.

Pada gambar 9 disajikan perbandingan *return loss* hasil simulasi dan pengukuran. Untuk nilai *return loss* hasil pengukuran didapatkan nilai sebesar -21.085 dB. Sedangkan pada hasil simulasi memiliki nilai lebih besar, yaitu -19.11 dB. Dari sini terlihat bahwa setelah diimplementasikan, tidak terjadi rugi-rugi impedansi tambahan, sehingga nilai *return loss* antena hasil implementasi dapat menjadi lebih baik daripada simulasi. Selain itu *splitter T-Junction* yang digunakan dalam pengukuran juga dapat disimpulkan memiliki impedansi yang *match*. Secara umum *return loss* frekuensi tengah bergeser ke kiri, akan tetapi frekuensi kerja tetap berada pada batas yang baik. Nilai *return loss* telah memenuhi kriteria desain < -10 dB.

Bandwidth didapatkan dari selisih batas frekuensi atas dikurangi frekuensi bawah pada masing-masing *return loss* < -10 dB. *Bandwidth* pada hasil simulasi bernilai 127.58 MHz. Sedangkan *bandwidth* berdasarkan hasil pengukuran lebih kecil dari hasil simulasi, sebesar 55.9 MHz.

B. VSWR

Pengukuran VSWR sama dengan *return loss*, dilakukan dengan menggunakan perangkat *network analyzer*. Antena dihubungkan dengan NA kemudian diamati nilai VSWR yang tampil di layar.

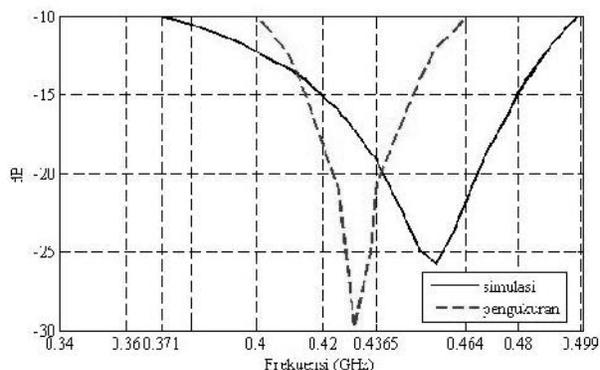
Pada gambar 10 disajikan perbandingan nilai VSWR hasil simulasi dan pengukuran. Nilai VSWR yang didapatkan dari hasil simulasi bernilai 1.2492. Sedangkan dari hasil pengukuran bernilai 1.206, sedikit lebih baik daripada hasil simulasi. Hal ini menunjukkan bahwa perkiraan nilai gelombang berdiri yang dipantulkan pada saat simulasi sesuai dengan keadaan riil setelah antena diimplementasikan. Dapat disimpulkan bahwa nilai VSWR antena hasil implementasi sudah memenuhi kriteria desain awal. Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa gelombang pantul yang dihasilkan berada dalam taraf yang baik dan dalam jangkauan yang dapat diterima. Nilai VSWR telah memenuhi kriteria desain < 2.

C. Gain

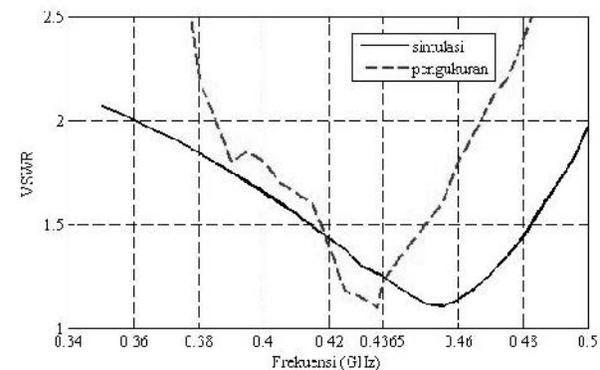
Gain atau penguatan antena diukur dengan menggunakan perangkat pengukur *Spectrum Analyzer*. Hal itu dikarenakan perangkat pengukur *spectrum analyzer* bisa mengetahui level daya yang diterima antena. Selain itu juga dibutuhkan antena dengan frekuensi kerja yang sama dengan antena hasil disain dengan *gain* yang sudah diketahui, serta *signal generator* sebagai pembangkit sinyal pada frekuensi kerja antena hasil disain. Pengukuran *gain* dilakukan dengan metode perbandingan dan dilakukan lima kali agar didapatkan data yang lebih akurat.

Nilai *gain* hasil simulasi memiliki nilai sebesar 1.647 dBi untuk frekuensi kerja 436.5 MHz. Sedangkan pada hasil pengukuran didapatkan nilai *gain* sebesar 3.105 dBi. Analisis penyebab pertama adalah pada saat pengukuran, tidak ada penyangga yang tepat digunakan untuk menempatkan antena sehingga antena harus dipegang dengan tangan. Hal ini memungkinkan level daya yang diterima memiliki nilai yang berbeda dengan yang seharusnya. Selain penyebab pertama itu, sekiranya tidak ada lagi yang memungkinkan. Tempat pengukuran sudah tergolong bebas interferensi karena berada di lapangan

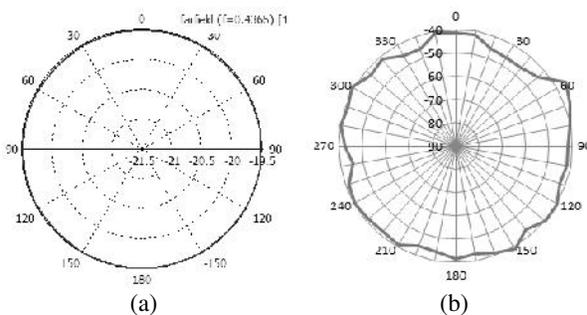
terbuka. Selain itu pengukuran juga dilakukan pada malam hari untuk semakin meminimalkan interferensi.



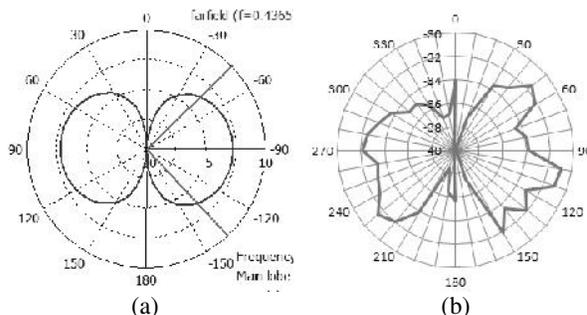
Gambar. 9. Perbandingan Nilai Return Loss Hasil Simulasi dan Pengukuran.



Gambar. 10. Perbandingan Nilai VSWR Hasil Simulasi dan Pengukuran.



Gambar. 11. Perbandingan Pola Radiasi Horizontal Antena dari Hasil (a) Simulasi dan (b) Pengukuran.



Gambar. 12. Perbandingan Pola Radiasi Vertikal Antena dari (a) Simulasi dan (b) Pengukuran.

D. Pola Radiasi

Pengukuran ini dilakukan dengan dua macam, vertikal

dan horizontal. Pengukuran pola radiasi horizontal dilakukan cara memasang antenna fabrikasi secara vertikal pada suatu tripod dengan asumsi ketinggian antara antenna hasil fabrikasi dan implementasi sama. Antena hasil implementasi juga diletakkan secara *vertikal* terhadap *feeding*nya, atau dengan acuan $= 0^0$. Kemudian antenna hasil implementasi diputar secara periodik sejauh 10^0 searah jarum jam. Tiap kali putaran dicatat hasil level daya yang terukur pada perangkat *network analyzer*. Proses ini dilakukan sampai jarak putaran menempuh 360^0 . Sedangkan untuk pola radiasi vertikal, sebagai acuan digunakan $= 0^0$, dengan variabel yang berubah adalah tiap 10^0 sampai jarak putaran menempuh 360^0 .

Pola radiasi antenna hasil simulasi dan implementasi arah horizontal ditampilkan pada gambar 11. Pola radiasi antenna pada sisi horizontal secara garis besar memiliki kesamaan dalam kecenderungan pola radiasi omni-direksional. Kedua gambar tidak dijadikan satu karena memiliki nilai level daya yang berbeda. Pada hasil simulasi, terbentuk pola yang hampir sempurna karena asumsi ruang yang benar-benar ideal. Sedangkan dari hasil pengukuran, meskipun tidak terlalu rapi, terlihat pola yang hampir mirip. Pola persebaran daya rata-rata hampir sama di semua sudut, kecuali pada saat $= 10^0$ sampai $= 60^0$ terlihat ada perbedaan yang cukup signifikan. Pada saat $= 60^0$ nilai level daya terima lebih besar dari rata-rata level daya di sudut yang lain dengan nilai hampir mencapai -35 dBm. Sedangkan pada saat $= 30^0$ nilai level daya paling rendah, dibawah -45 dBm. Hal ini dapat disebabkan faktor ketelitian penempatan sudut pada saat pengukuran. Penyebab lain adalah konektor yang digunakan sudah tidak terlalu stabil dan mudah lepas. Sehingga ada *gap* antara konektor tersambung sempurna dan tidak. Selain pada sudut-sudut tersebut, nilai level daya yang diterima berkisar rata-rata pada jangkauan -40 dBm sampai -45 dBm.

Pola radiasi antenna pada sisi vertikal, seperti disajikan pada gambar 12, mempunyai pola yang sedikit tidak teratur namun masih mengusung kemiripan hasil dengan simulasi. Pada hasil simulasi, pola *omnidirectional* terjadi pada arah horizontal. Sedangkan pada arah vertikal, radiasi bisa dikatakan hampir tidak ada. Pola radiasi hasil pengukuran terlihat menerima daya paling besar pada sisi-sisi horizontal. Hal ini sesuai dengan simulasi. Akan tetapi pada arah vertikal, masih terdapat daya yang diterima, meskipun tidak merata. Pada sudut $= 0^0$ dan $= 180^0$ masih terdapat level daya yang diterima dengan nilai cukup besar dimana seharusnya tidak ada pola radiasi yang diterima. Hal ini dapat diakibatkan peletakan sudut yang bergeser pada saat pengukuran, serta tempat yang masih memberikan interferensi meski tergolong tempat yang terbuka.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil yang diperoleh baik dari hasil simulasi maupun pengukuran di lapangan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. Antena *microstrip* ini dapat diimplementasikan pada satelit ITS-sat dengan dimensi $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ dengan asumsi bentuk kubus Cube-sat. Antena menggunakan *dual coaxial probe feeding* sebagai teknik pencatuannya untuk mendapatkan dimensi minimum. VSWR minimum pada frekuensi 436,5 MHz telah memenuhi kriteria desain < 2 , yaitu 1,206. Antena *microstrip* ini memiliki *bandwidth* 55,9 MHz dengan nilai *return loss* pada

frekuensi 436,5 MHz minimum adalah -21,085 dB. Gain hasil pengukuran yaitu 3,105 dBi pada frekuensi 436,5 MHz. Pola radiasi pada frekuensi 436,5 MHz adalah *omnidirectional*. Dikarenakan *back lobe* besar yang dihasilkan dari desain *tapered peripheral slits* mengakibatkan nilai gain menjadi negatif. Untuk mengatasinya diterapkan *airgap* (celah udara) yang mampu menghasilkan gain positif, akan tetapi membuat polarisasi menjadi linier dengan pola radiasi *omnidirectional*. Dengan tipe pola radiasi tersebut, antenna ini cocok digunakan pada satelit dengan kontrol *tumbling* dengan arah tegak lurus arah gerak satelit (sumbu vertikal, jika arah gerak satelit diasumsikan sumbu horizontal).

Dari hasil yang didapat di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa antenna *microstrip* 436,5 MHz dapat diimplementasikan sesuai batasan masalah dengan dimensi $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ pada satelit ITS-Sat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia yang telah memberikan dukungan dana penelitian melalui Program Kreativitas Mahasiswa bidang Karsa Cipta tahun 2012 dengan judul Antena *Microstrip Compact* dengan *Tapered Peripheral Slits* untuk *Payload* Satelit Nano pada Frekuensi 436,5 MHz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IINUSAT, "Preliminary Design Review", 2010.
- [2] Kakoyiannis, Constantine G., Constantinou, P., "A Compact Microstrip Antenna with Tapered Peripheral Slits for CubeSat RF Payloads at 436 MHz: Miniaturization techniques, design & numerical results", IEEE, 2008.
- [3] LAPAN, "Dokumentasi Teknis Satelit LAPAN-TUBSAT", Bogor, 2007.
- [4] Balanis, Constantine A., "Antenna Theory Analysis And Design", Canada: John Wiley & Sons. 2005.
- [5] Notis, Dimitri T., Liakou, Phaedra C., and Chrissoulidis, Dimitris P., "Dual Polarized Microstrip Patch Antenna, Reduced in Size by Use of Peripheral Slits," in Proc. 34th European Microwave Conference, vol. 1, pp. 125-128., 2004.
- [6] Raghava, N.S., De, Asok, "Effect of Air Gap width on the Performance of a Stacked Square Electronic Band Gap Antenna", International Journal of Microwave and Optical Technology Vol. 4 No. 5., September 2009.