

DESAIN DAN REALISASI KOMBINER 4 : 1 PADA ANTENA ARRAY TRANSMITER 2,425 GHZ UNTUK STASIUN BUMI PADA SISTEM NANO SATELIT

DESIGN AND REALIZATION OF COMBINER 4 : 1 FOR 2,425 GHZ ARRAY ANTENA IN THE GROUND STATION TRANSMITTER OF NANO SATELIT SYSTEM

Muhammad Raudhi Azmi^[1], Heroe Wijanto^[2], Afrianto Fahmi^[3]

^{1,1}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹raudhiazmi@telkomuniversity.ac.id, ²heroewijanto@telkomuniversity.ac.id,
³arfianto.fahmi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Nano satelit merupakan satelit berukuran kecil yang menggunakan komponen elektronik berukuran kecil pula. Nano satelit hanya memiliki berat sekitar 10-15 kg. satelit ini dirancang dengan misi mengumpulkan berbagai macam data.

Dalam kasus ini, perancangan komponen yang dapat digunakan sebagai pengkombine catuan antena yang disusun secara array sebanyak 4 susunan. Hal ini dikarenakan beam yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sinyal dibutuhkan beam yang sempit. Dalam penelitian ini perancangan komponen ini di pasang pada bagian *base station* (stasiun bumi). Kombiner yang dirancang hanya untuk bagian *transmitter*, yang dibutuhkan *isolasi* (kopling) masing-masing *port output* yang berdekatan paling besar -15dB pada s12, s13m, s14 dan s15, agar masing-masing *port output* yang berdekatan tidak mempengaruhi satu sama lain, sehingga *maching impedance* yang di dihasilkan murni dari masing-masing port, apabila impedansi yang dihasilkan *maching*, maka VSWRnya akan semakin mendekati 1, dan artinya dapat digunakan.

Berdasarkan hasil pengukuran dan simulasi yang tidak jauh berbeda dengan yang diharapkan, dapat disimpulkan parameter seperti VSWR, return loss, insertion loss, dan kopling sudah sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk *power divider*. Teknik perancangan *power divider* dapat menghasilkan *return loss* dan VSWR yang sesuai sehingga didapat impedansi yang mendekati nilai Z_0 (50 ohm). *Insertion loss* dan kopling yang dihasilkan *power divider* pada simulasi dan realisasi sudah sangat baik sesuai dengan spesifikasi *power divider* yang bagus untuk digunakan. Spesifikasi *power divider* yang dirancang sudah sesuai dengan spesifikasi dari *Wilkinson-Power divider*, yaitu memiliki insersion loss -6dB dan dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan sehingga *power divider* ini dapat diimplementasikan untuk aplikasi *nano satelit* yang menggunakan frekuensi 2,435 GHz.

Kata Kunci : *nano satelit, combiner, isolasi, transmitter, power divider, return loss*

Abstract

Nano satellite is a small-sized satellites that use small-sized electronic components as well. Satellite Nano only weighs about 10-15 kg. This satellite was designed with the mission of collecting various data.

*In this case, the design of components that can be used as a portion pengkombine array antenna arranged by 4 array. This is because the beam is needed to transmit the signal takes a narrow beam. In this research design of this component in pairs on the base station (earth station). Kombiner designed just to the transmitter, the required isolation (coupling) each output port greatest adjacent 15dB at s12, s13m, s14 and s15, so that each of the adjacent output port do not affect each other, so *maching impedance* which is derived purely from each port, if the resulting impedance *maching*, then VSWRnya will be close to 1, and it can be used.*

Based on the results of measurements and simulations are not much different from that expected, it can be concluded parameters such as VSWR, return loss, insertion loss, and the clutch is in conformity with the specifications required for the power divider. Engineering design can generate power divider return loss and VSWR appropriate in order to get closer to the value Z_0 impedance (50 ohms). Insertion loss and coupling the resulting power divider on simulation and realization has been very good in accordance with the specifications of power divider that is great to use. Specifications power divider has been designed according to the specifications

of the Wilkinson-Power divider, which has insertion loss -6dB and can work at the desired frequency so that the power divider can be implemented for the application of nano satellites that use frequency 2.435 GHz .

Keywords: nano satellites, combiner, isolation, transmitters, power divider, and return loss.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi satelit merupakan teknologi yang sangat penting, begitu banyak fungsi satelit yang digunakan untuk memenuhi informasi dan kebutuhan manusia bahkan lingkungan. Misalnya satelit astronomi yang memiliki peranan untuk melakukan pengkajian terhadap planet, bintang dan lain sebagainya, sedangkan satelit komunikasi yang digunakan untuk tujuan telekomunikasi, siaran radio, dan televisi yang menggunakan frekuensi gelombang mikro, sementara pada satelit pantau bumi digunakan untuk navigasi dan pembuatan peta, syarat masa radio yang memungkinkan pengguna mengetahui kedudukan mereka dengan tepat melalui sistem GPS serta satelit-satelit lainnya seperti satelit cuaca dan satelit militer yang memiliki manfaat yang sangat besar bagi kelangsungan hidup manusia dan bahkan lingkungan.

Mulai dari tahun 2010, dunia pendidikan Indonesia melakukan penelitian bersama untuk mengembangkan teknologi nano satelit di Indonesia, agar Indonesia bisa mandiri dalam kemajuan teknologi satelit. Sebagai mahasiswa penulis berharap dapat melakukan kontribusi terhadap penelitian bersama pendidikan Indonesia, seperti membantu mengembangkan salah satu modul pada perangkat satelit. Dalam penelitian tugas akhir ini penulis berharap dapat mengembangkan *power divider* yang dapat bekerja secara bersamaan dengan karakteristik yang sama sebagai *combiner*.

Power divider merupakan komponen pasif *microwave* yang digunakan untuk membagi atau menggabung daya, karena baik *port input* maupun *port outputnya match*. Dengan kata lain, *power divider* berfungsi sebagai *reciprocal passive device*, yang dapat digunakan sebagai *power combiner*. Dalam membagi daya, sebuah input sinyal dibagi oleh *power divider/combiner* menjadi dua atau lebih sinyal dengan daya yang lebih kecil, hal ini diakibatkan *loss* yang terjadi.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perancangan, implementasi dan menganalisis kinerja serta melakukan analisa untuk parameter S.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Satelit

Teknologi satelit merupakan teknologi yang sangat penting, begitu banyak fungsi satelit yang digunakan guna memenuhi informasi dan kebutuhan manusia bahkan lingkungan alam. satelit komunikasi yang digunakan untuk tujuan telekomunikasi, siaran radio, dan televisi yang menggunakan frekuensi gelombang mikro, sementara pada satelit pantau bumi digunakan untuk navigasi dan pembuatan peta, syarat masa radio yang memungkinkan pengguna mengetahui kedudukan mereka dengan tepat melalui sistem GPS serta satelit-satelit lainnya seperti satelit cuaca dan satelit militer yang memiliki manfaat yang sangat besar bagi kelangsungan hidup manusia dan bahkan lingkungan.

2.2 Power Divider

Power Divider merupakan komponen pasif *microwave* yang digunakan untuk membagi atau menggabung daya, karena baik *port input* maupun *port outputnya match*. *power divider* berfungsi sebagai *reciprocal passive device*, yang dapat digunakan sebagai *power combiner*. Dalam membagi daya, sebuah input sinyal dibagi oleh *power divider* menjadi dua atau lebih sinyal dengan daya yang lebih kecil, hal ini diakibatkan *loss* yang terjadi.

2.3 Struktur Divider

Jumlah perangkat yang digabung untuk tipe struktur *divider* ini adalah *biner*. Ini berarti bahwa perangkat yang dipakai harus sama dengan $2N$. Tipe ini disebut juga *tree/corporate structure*. Secara umum terdapat 2 fitur khusus pada struktur *divider* yaitu *port* masukan *matched* dengan *port* keluaran dan *port* masukan terisolasi dari *port* masukan lainnya. Dalam aplikasi frekuensi gelombang mikro adakalanya daya ditransfer ke *port* keluaran akan dipantulkan kembali. Untuk menghindarinya, *port* keluarannya harus dibuat *match*. Jika kondisi *match* tidak diperoleh, maka akan terjadi pengurangan daya akibat pantulan. Usaha yang bisa dilakukan adalah meminimalisasi pantulan tersebut dengan mengupayakan keempat *port* keluarannya *match* [3].

2.4 Wilkinson

Wilkinson power divider ditemukan sekitar tahun 1960 oleh seorang insinyur yang bernama Ernest Wilkinson. *Wilkinson power divider* berfungsi membagi sinyal masukan menjadi beberapa sinyal keluaran dengan fasa yang sama [4]. Prinsip utamanya adalah menyediakan isolasi tinggi antar output, dengan membatasi efek dari refleksi sinyal, karena *lossless reciprocal, three-port network* tidak mempunyai *port-port* yang secara simultan *match*. Wilkinson menambahkan sebuah resistor untuk mengupayakan ketiga *port* keluarannya *match* dan secara penuh mengisolasi *port 2* dari *port 3*. Keuntungannya adalah resistor tidak menimbulkan *resistive loss* pada *power divider*, sehingga idealnya *Wilkinson divider* memiliki efisiensi 100% [4].

Adapun proses kerja dari *power divider* tersebut yaitu pada port keluaran masing – masing keluaran 50 Ω dan dua saluran dihubungkan resistor 100 Ω secara paralel, apabila terjadi *mismatch* pada salah satu *port* keluarannya, maka sinyal pantul akan terbagi dua dan memisah melalui saluran transmisi. Dari sinyal pantul tersebut yang dikembalikan ke *port* masukan tadi, akan terbagi dua lalu menuju ke dua *port* keluaran yang ada sehingga pada *port* keluaran terdapat dua buah sinyal dengan amplituda yang sama, namun fasanya berbeda 180° yang secara sempurna akan saling menghilangkan [3].

2.5 S-Parameter

String parameter atau disingkat S-parameter berhubungan dengan penggunaan 2 *port input/output*. S parameter menghasilkan pengukuran gelombang berjalan yang dihamburkan atau dipantulkan ketika sebuah jaringan dimasukkan kedalam sebuah jalur saluran transmisi yang mempunyai parameter impedansi tertentu (Z_1). S parameter diukur dalam dB (deciBell).

2.6 Saluran Mikrostrip

Saluran transmisi Mikrostrip terdiri dari potongan konduktor dan sebuah *ground plane* yang dipisahkan oleh dielektrik. Saluran mikrostrip banyak dipakai dalam penguat daya gelombang mikro, *filter* gelombang mikro, *mixer* gelombang mikro karena mudah dibuat dengan teknik cetak rangkaian (*printed-circuit*). Penggantian induktansi dan kapasitansi yang kecil biasa dipakai dalam rangkaian *matching* dan dengan mudah dapat direalisasikan dengan saluran mikrostrip pada frekuensi gelombang mikro [8]. Pada mikrostrip, medan listrik dan medan magnet tidak memenuhi *substrat* sepenuhnya, sehingga mode propagasinya bukan mode propagasi *Transverse Electromagnetic Mode* (TEM) murni melainkan mode quasi TEM. Hal ini terjadi karena mikrostrip hanya terdiri dari sebuah *ground plane* saja. Sehingga hanya bagian yang terdiri dari dielektrik saja yang dipenuhi oleh medan listrik dan magnet [4].

2.7 Impedansi Karakteristik Saluran Transmisi Mikrostrip

Dilihat dari Gambar 2.14, Saluran transmisi mikrostrip terdiri dari konduktor dengan lebar w , ketebalan bahan (h), dan permitivitas efektif relative (ϵ_r). Adapun Impedansi karakteristik saluran transmisi mikrostrip merupakan parameter penting untuk menentukan lebar (w).

Berikut dibawah ini, persamaan impedansi karakteristik dari saluran transmisi mikrostrip [2]:

- a. Untuk $w/d < 1$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(8 \frac{d}{w} + \frac{2.5}{4d} \right) \quad (1)$$

- b. Untuk $w/d > 1$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 1.393 \epsilon_{eff}^{-0.808} + 0.667 \ln(\epsilon_{eff} + 1.444)}} \right] \quad (2)$$

2.8 Konstanta Dielektrik Efektif

Konstanta dielektrik dari suatu saluran mikrostrip dipengaruhi oleh konstanta dielektrik relative (ϵ_r), tinggi (h) dari substrat dielektrik, lebar (w) dari konduktor strip dan juga frekuensi operasi untuk $t/h \ll 0.005$ yang dikemukakan oleh Bahl dan Trivelpi.

- a. untuk $w/h < 1$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{w}\right)}} + 0.04 \left(1 - \left(\frac{w}{h}\right)\right)^2 \right] \quad (3)$$

b. untuk $w/h \geq 1$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{w}\right)}} \quad (4)$$

2.9 Panjang Gelombang $\frac{1}{4} \lambda$

Quarter wave transformer (transformator $\frac{1}{4} \lambda$) merupakan potongan saluran transmisi dengan panjang $\frac{1}{4} \lambda$ yang memiliki kemampuan dapat mentransformasikan suatu impedansi riil ke impedansi *real* yang lain. Selain itu, penambahan transformator $\lambda/4$ bertujuan untuk memperlebar *bandwidth* saluran. Panjang gelombang dalam saluran transmisi mikrostrip tergantung pada konstanta dielektrik efektif yaitu:

$$\lambda_c = \frac{\lambda_0}{F_{,,,}} = \frac{c}{f \cdot F_{,,,}} \quad (5)$$

$$L_n = \frac{;ic}{4} \quad (6)$$

Dimana:

λ_0 = panjang gelombang dalam ruang bebas

L_n = panjang saluran transmisi pada *section* n

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s

2.10 Parameter VSWR dan Bandwidth

a. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan tidak *matching*-nya impedansi *input* antenna dengan saluran *feeder*.

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma(z)|}{1 - |\Gamma(z)|} \quad (7)$$

Dengan $0 \leq |\Gamma(z)| \leq 1$, sehingga nilai VSWR adalah $1 \leq VSWR \leq \infty$

Return Loss = (Sdetektor + Sport)

Return loss = $20 \log |\Gamma|$

Dimana: Sdetektor = *Scatter* parameter detektor = 0 dB

Sport = *Scatter* parameter pengukuran (dB)

Γ = Koefisien refleksi

b. Bandwidth

Bandwidth adalah jangkauan frekuensi antara kenaikan nilai VSWR dari satu sampai batas nilai yang dapat ditoleransi. *Bandwidth* juga dapat diartikan sebagai rentang frekuensi dimana karakteristik antenna tidak berubah secara signifikan. Besar *bandwidth* ini tergantung dari nilai factor kualitas (Qo) dan VSWR (S) yang dapat dituliskan:

$$B_{dB} = \frac{f_2 - f_1}{f} \times 100\% \tag{8}$$

dimana : f_2 = frekuensi tertinggi
 f_1 = frekuensi terendah
 f = frekuensi tengah

2.11 Pemilihan Bahan

Konstanta dielektrik *relative* ϵ_r , sebagian besar akan mempengaruhi *bandwidth*, toleransi pabrikasi, impedansi transformasi dan saluran transmisi. Ukuran setiap jalur/strip juga dipengaruhi oleh konstanta dielektrik. Untuk jalur/strip yang beroperasi pada frekuensi (f), ketebalan (h), maka *substrat* harus memenuhi [9]:

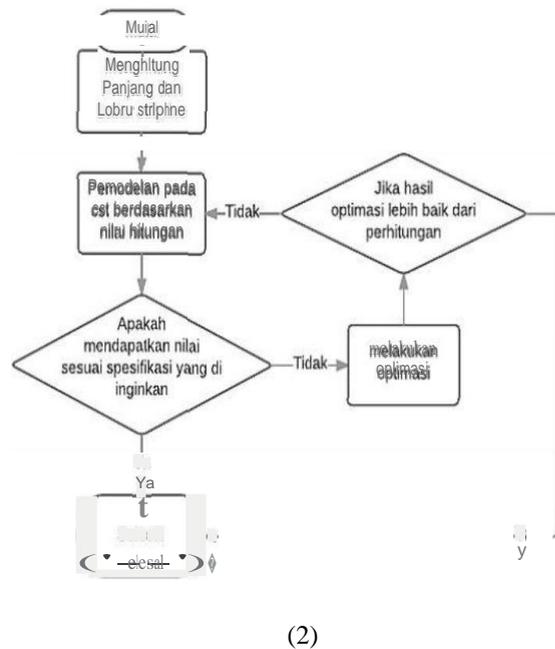
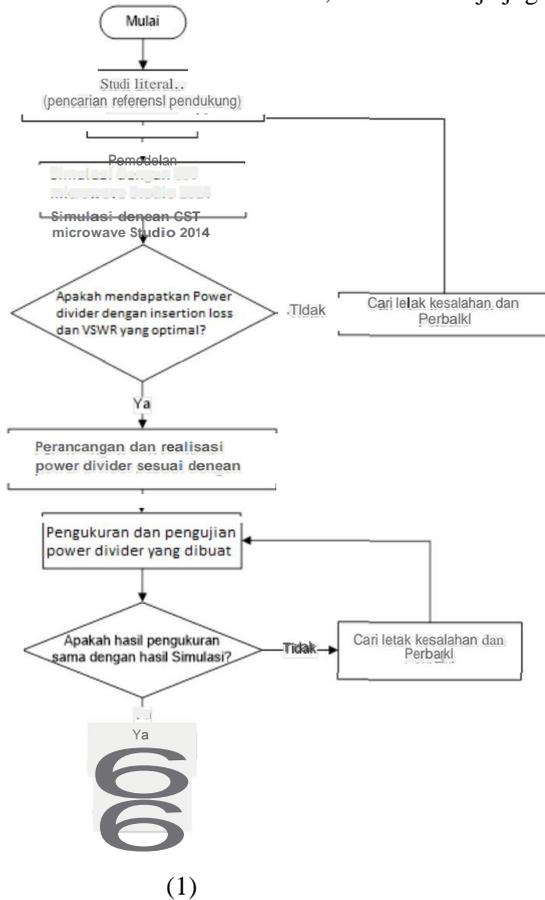
$$h \leq \frac{0.3c}{21rf\sqrt{\epsilon_r}} \tag{9}$$

Dimana: c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s).

BAB III PERANCANGAN

3.1 Langkah Perancangan

Perancangan suatu *power divider* dipengaruhi oleh bahan *substrat* yang digunakan, seperti ketebalan *substrat* dan konstanta dielektrik. Selain itu, frekuensi kerja juga mempengaruhi ukuran fisik dari suatu *power divider*.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan (1) dan Simulasi CST (2)

BAB IV ANALISIS DAN SIMULASI

4.1 Analisa Perhitungan

4.1.1 Menghitung panjang gelombang.

- Lamda Bahan (λ_g) panjang gelombang merambat di material $\epsilon_r = 4,6$

$$\lambda_g = \frac{c}{f \times \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\lambda_g = \frac{3 \times 10^8}{(2.425 \times 10^9) \times \sqrt{4,6}} = 0,057 \text{ Meter} = 57,68 \text{ mm}$$

4.1.2 Menghitung Posisi Panjang Gelombang (Phase) pada 90°

- Lamda Bahan (λ_g) dikali $\frac{1}{4}$, untuk mendapatkan posisi panjang gelombang (Phase) di 90°

$$\frac{1}{4} \times \lambda_g = 14,4201 \text{ mm}$$

4.1.3 Menghitung posisi Panjang gelombang pada $z_0 = 50 \text{ Ohm}$

- Mencari $z_0 = 50 \text{ Ohm}$

Cara 1

$$W_{lst} = \frac{2 \times h}{\pi} \times \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \times \epsilon_r} \times \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right]$$

Dimana: $B = \frac{60 \times \pi^2}{z_0 \times \sqrt{\epsilon_r}}$

$$B = \frac{60 \times \pi^2}{50 \times \sqrt{4,6}} = 5,522$$

$$W_{lst} = \frac{2 \times 1,6}{\pi} \times \left[5,52 - 1 - \ln(2 \times 5,52 - 1) + \frac{4,6 - 1}{2 \times 4,6} \times \left[\ln(5,52 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,6} \right] \right]$$

$$W_{lst} = 2,8779 \text{ mm}$$

Jika $\frac{W_{lst}}{h} > 1$ ~~...~~ $\frac{W_{lst}}{h} < 1$

$$\frac{W_{lst}}{h} > 1, \text{ Maka: } \epsilon = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \times \frac{h}{W_{lst}}}} \right]$$

$$\frac{W_{lst}}{h} < 1, \text{ Maka: } \epsilon = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \times \frac{h}{W_{lst}}}} + 0,04 \times (1 - \frac{W_{lst}}{h}) \right]$$

Karena $\frac{W_{lst}}{h} = \frac{2,8779}{1,6} = 1,798 > 1$, maka:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \times \frac{h}{W_{lst}}}} \right]$$

$$\epsilon = \frac{4,6 + 1}{2} + \frac{4,6 - 1}{2} \times \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \times \frac{1,6}{2,8779}}} \right]$$

$$\epsilon = 3,33$$

- Dan Lamda Bahan yang memiliki ϵ pada suatu material dinyatakan dengan (λ_g)

$$\lambda_d = \frac{c}{f \times \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{(2.425 \times 10^9) \times \sqrt{3,33}} = 0,067 \text{ Meter} = 67,79 \text{ mm}$$

$$f \times \sqrt{\epsilon_r} = (2.425 \times 10^9) \times \sqrt{3,33} \quad 1$$

- Lamda Bahan memiliki ϵ_r dikali $\frac{1}{4}$, untuk mendapatkan posisi panjang gelombang (*Phase*) di 90°

$$\frac{1}{4} \times \lambda_d = 16,9475 \text{ mm}$$

Insertion loss	-6 dB	-	-	-	-	-	-6,7	-6.9	-6,8	-6,7
VSWR	$\leq 1,5$	1,378	1,117	1,083	1,080	1,114	-	-	-	-
Return loss	≤ -15	-15,95	-25,13	-27,99	-28,27	-25,31	-	-	-	-
Frequensi kerja	2,425 Ghz	2,425 Ghz								

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi *Power Divider* adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengukuran dan simulasi yang tidak jauh berbeda dengan yang diharapkan, dapat disimpulkan parameter seperti VSWR, return loss, insertion loss, dan kopling sudah sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk *power divider*.
2. Teknik perancangan *power divider* dapat menghasilkan *return loss* dan VSWR yang sesuai sehingga didapat impedansi yang mendekati nilai Z_0 (50 ohm).
3. *Insertion loss* dan kopling yang dihasilkan *power divider* pada simulasi dan realisasi sudah sangat baik sesuai dengan spesifikasi *power divider* yang bagus untuk digunakan.
4. Spesifikasi *power divider* yang dirancang sudah sesuai dengan spesifikasi dari *Wilkinson-Power divider*, yaitu memiliki insersion loss -6dB dan dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan sehingga *power divider* ini dapat diimplementasikan untuk aplikasi *nano satelit* yang menggunakan frekuensi 2,435 GHz.

5.2. Saran

Untuk mendapatkan performansi *Power divider* yang lebih baik pada perancangan berikutnya, terdapat beberapa hal yang bisa dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan antara lain,

1. Memperhatikan kepresisian *power divider* serta material pendukung lain saat fabrikasi, dalam kasus ini adalah pemasangan konektor pada *power divider*. Kondisi pemasangan konektor yang kurang tepat mengakibatkan hasil pengukuran berbeda dengan hasil simulasi.
2. Mendapatkan data sheet substrat serta material pendukung lain yang ada di pasaran maupun di pabrik agar tidak terjadi kesalahan dalam pencetakan.
3. Pengukuran dilakukan dengan *Network Analyzer* yang benar-benar sudah dikalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang sesuai.

Membuat penelitian sejenis dengan lebih mengupas tentang aplikasi *Wilkinson-Power Divider* secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Devendra K. Mirsa.** (2004). *Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits, Analysis and Desain Second Edition*. JWS. New Jersey, California.
- [2] **Yussi Pedana Saputera,** dkk. (2013). Design and Simulation 4 x 1 Wilkinson Combiner / Power Divider for Application of LPI Radar X-Band Frequency with Impact of Casing, ICRAMET 2013, Batam, Indonesia
- [3] **M. L. Edwards, Microwave & RF Circuits** (2001). Analysis, Design, Fabrication, & Measurement, (chapter 9).
- [4] Wilkinson power splitters, http://www.microwaves101.com/encyclopedia/Wilkinson_splitters.cfm#compactwilk, Tanggal akses 25 Desember 2015 jam 20.00.
- [5] M561 Application note v2.00, Power Dividers/Combiners, AMP Company. <http://www.macom.com/Application%20Notes/pdf/m561.pdf>, Tanggal akses 25 Desember 2015 jam 20.00.
- [6] Eight-way Wilkinson example, http://www.microwaves101.com/encyclopedia/wilkinson_8way.cfm#compactwilk, Tanggal akses 7 Januari 2015 jam 19.20.
- [7] Stiles. Jim, The Univ. of Kansas Dept. of EECS, "Chebyshev Multisection Matching Transformer", http://www.ittc.ku.edu/~jstiles/723/handouts/section_5_7_Chebyshev_Multisection_Matching_Transformer_package.pdf, Tanggal akses 7 Januari 2015 jam 19.20.
- [8] Microstrip, <http://en.wikipedia.org/wiki/Microstrip>, Tanggal akses 7 Januari 2015 jam 23.00.
- [9] **Garg Rames, Bhartia Prakash, Bahl Inder,** "Microstrip Antena Design Handbook", Artech House, Boston.London, 46.
- [10] Penelitian satelit LAPAN (Lembaga Penelitian Antariksa Nasional).