

PERANCANGAN DAN REALISASI DUAL BAND WILKINSON POWER DIVIDER PADA FREKUENSI 1,27 GHZ DAN 2,3 GHZ

DESIGN AND REALIZATION OF DUAL BAND WILKINSON POWER DIVIDER AT 1,27 GHZ AND 2,3 GHZ

Fithqoti Afiroh Zuqri¹, Bambang Setia Nugroho², Budi Syihabuddin³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi no. 1 Dayeuhkolot, Bandung, 40257

¹afiafiroh@students.telkomuniversity.ac.id, ²bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id,

³budisyihab@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) merupakan teknologi yang menggunakan gelombang radio untuk mengambil data dan termasuk salah satu dari *remote sensing*. Pada SAR memanfaatkan banyak antena yang disusun dalam bentuk antena susun. Untuk pencatutan daya diperlukan *power divider* yang bekerja sebagai pembagi daya. Dimana *power divider* ini dapat melewati dua frekuensi sekaligus. Pada perancangan *power divider* ini menggunakan metode konvensional dimana bekerja pada frekuensi 1,27 GHz dan 2,3 GHz. Bahan yang digunakan dalam Wilkinson *power divider* ini adalah menggunakan FR4_epoxy dengan konstanta dielektrik nya 4,4. Hasil pengukuran dari *power divider* pada frekuensi 1,27 GHz, memiliki *return loss* -14,642 dB, *insertion loss output 1* -3,596 dB dan untuk *output 2* sebesar -3,917 dB, dan nilai *port isolation* -8,867 dB. Sementara pada frekuensi 2,3 GHz, *return loss* -21,366 dB, *insertion loss output 1* -4,585 dB dan untuk *output 2* sebesar -3,904 dB, dan nilai *port isolation* -15,005 dB.

Kata kunci : *dual band* , *power divider* , mikrostrip, Wilkinson *power divider*, FR4_epoxy

Abstract

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) is a remote sensing technology using radio wave to take the data. SAR is using array antenna. To supplied the power of array antenna we are needed a power divider which works as a power divider. And this power divider forward two frequencies at once. In this final project, the design and realization of a conventional dual band Wilkinson power divider with a frequency of 1.27 GHz and 2.3 GHz. This power divider is using FR4_epoxy with dielectric constants 4.4. The result of measuring realized, at 1,27 GHz has return loss -14,642 dB, insertion loss output 1 -3,596 dB and output 2 -3,917 dB, and port isolation -8,867 dB. At 2,3 GHz, return loss -21,366 dB, insertion loss output 1 -4,585 dB and output 2 -3,904 dB, and port isolation -15,005 dB.

Keyword : dual band , power divider, microstrip, Wilkinson *power divider*, FR4_epoxy

1. Pendahuluan

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) merupakan salah satu teknologi *remote sensing* yang memanfaatkan gelombang radio untuk pengambilan data ^[1]. Pada SAR biasanya memanfaatkan banyak antena yang disusun dalam bentuk antena susun ^[2]. Pada antena susun, daya transmitter akan ditransmisikan ke beberapa antena dalam susunan tersebut. Untuk mencatatkan daya pada antena susun diperlukan sebuah alat yang bernama *power divider* yang bekerja sebagai pembagi daya untuk teknik pembentukan pola radiasi atau yang disebut dengan *beamforming*.

Power Divider merupakan salah satu komponen *microwave* pasif dimana dapat berfungsi sebagai pembagi daya (*power divider*) maupun sebagai penggabung daya (*power combiner*) ^[3]. Bila perangkat tersebut menerima sebuah sinyal masukan dan mengirim beberapa sinyal keluaran dengan fasa dan amplituda tertentu, maka dikatakan sebagai *power divider* ^[3]. Pada Wilkinson *power divider* dapat melewati dua frekuensi sekaligus ^[4], dimana dilakukan perancangan dan realisasi *dual band* Wilkinson *power divider* konvensional yaitu tanpa dilakukan penambahan stub atau teknik – teknik pencatutan lainnya, di mana pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa fitur pada Wilkinson *power divider* konvensional seperti pembagi daya sama rata, penyesuaian impedansi di semua port dan *port isolation* yang baik dapat dipenuhi pada Wilkinson *power divider* dengan dua frekuensi secara bersamaan. *Power divider* yang telah dibuat bekerja pada frekuensi 1 GHz dan 1,8 GHz serta 1 GHz dan 4 GHz ^[4]. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini memenuhi parameter – parameter yang ada pada *power divider*.

Mengacu pada penelitian sebelumnya ^[4], pada tugas akhir ini, dirancang dan direalisasikan bentuk *dual band* Wilkinson *power divider* konvensional. Pada rancangan *dual band* Wilkinson *power divider* bekerja pada frekuensi 1,27 GHz dan 2,3 GHz yang akan digunakan pada SAR dengan frekuensi 1,27 GHz dan 2,3 GHz, dengan lebar pulsa

atau *bandwidth* untuk masing-masing frekuensi 20 MHz. Dengan menggunakan Wilkinson *power divider* diharapkan dapat memberikan tingkat *isolation* antar *port output* tinggi karena adanya penambahan resistor untuk mengatur daya yang keluar di *port output*. Perealisan dari *dual band Wilkinson power divider* ini dalam bentuk mikrostrip dengan menggunakan bahan *substrate* FR4_epoxy yang memiliki konstanta dielektrik 4,4 dan memiliki ketebalan 1,6 mm, dengan tebal konduktor 0,035 mm. Diharapkan dengan menggunakan *substrate* ini dapat menghasilkan ukuran dimensi yang lebih kecil. Spesifikasi dari *dual band Wilkinson power divider* yaitu dapat bekerja pada frekuensi 1,27 GHz dan 2,3 GHz dengan nilai *return loss* ≤ -10 dB, nilai VSWR pada port *input* $\leq 1,5$, nilai *insertion loss* ≥ -4 dB, dan nilai *port isolation* ≤ -9 dB.

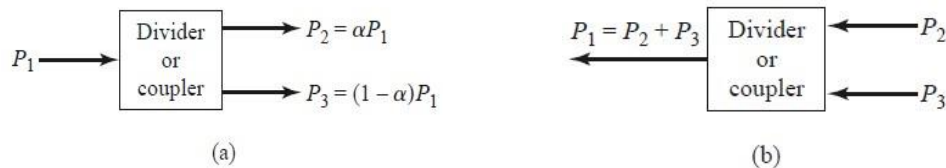
Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk merancang dan merealisasikan *dual band Wilkinson power divider* yang dapat bekerja pada dua frekuensi dengan menghasilkan nilai-nilai parameter dari *power divider power divider* yang realistis, serta dapat mengefisienkan suatu alat dengan fungsi yang sama.

Metodologi penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah eksperimental dengan tahapan – tahapan, yaitu studi literature, perancangan, pengukuran dan analisis. Perancangan dilakukan untuk dapat melakukan simulasi menggunakan *software* yang kemudian dapat direalisasikan dan dilakukan pengukuran untuk validasi *design* yang telah kita buat. Kemudian dilakukan analisis hasil perancangan dengan hasil pengukuran.

2. Dasar Teori

2.1 Power Divider

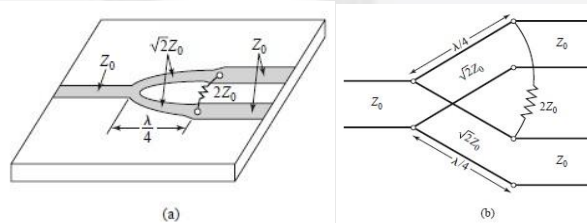
Power Divider merupakan salah satu komponen *microwave* pasif dimana berfungsi sebagai pembagi daya (*power divider*) maupun sebagai penggabung daya (*power combiner*) [3]. Bila perangkat tersebut menerima sebuah sinyal masukan dan mengirim beberapa sinyal keluaran dengan fasa dan amplituda tertentu, maka dikatakan sebagai *power divider*. Dalam membagi daya, *power divider* membagi satu sinyal *input* (P_1) menjadi dua sinyal *output* yaitu P_2 dan P_3 . *Combiner* digunakan untuk menggabungkan daya / sinyal dari beberapa buah *input* menjadi satu *output* tunggal seperti pada gambar 2 (a) dan (b) [3].



Gambar 2. (a) *Power Divider* (b) *Power Combiner* [3]

2.2 Wilkinson Power Divider

Wilkinson *power divider* merupakan kelas khusus dari rangkaian *power divider* yang dapat memperoleh isolasi antar *port output* ketika kondisi *match* di semua *port* sedang dipertahankan. Pada Wilkinson *power divider* dimana daya yang masuk akan dibagi menjadi *N-way* pada masing – masing *output*, dan memiliki isolasi antar *port output* untuk mencegah daya yang balik diantara kedua *port output* [3]. Gambar *power divider* dalam bentuk mikrostrip dan bentuk rangkaian pengganti dapat dilihat oleh gambar 3 (a) dan (b).



Gambar 3. (a) *Power divider* dalam mikrostrip (b) Rangkaian pengganti [3]

A. Analisis Rangkaian Dual Band Wilkinson Power Divider

Analisis rangkaian untuk *dual band Wilkinson power divider* [4]

Analisis Even Mode

Gambar 4. Rangkaian *power divider* dengan analisis *even mode* ^[4]

Pada *even mode* memiliki dua sinyal dengan *magnitude* dan fasa yang sama. Untuk menyelesaikan transformasi pada dua frekuensi yang berbeda f_1 dan $f_2 = m \cdot f_1$ (dengan asumsi m adalah rasio dari kedua frekuensi) dapat mengikuti penurunan rumus sebagai berikut ^[6] :

$$l_1 = l_2 = \frac{\pi}{2} \tag{2.9}$$

$$Z_2 = Z_0 \sqrt{1 + \frac{1}{4} + 2} \tag{2.10}$$

dan

$$Z_1 = \frac{2}{Z_2} \tag{2.11}$$

ketika,

$$Z_2 = (\tan(\theta_1 \cdot l_1))^2 \tag{2.12}$$

$$\theta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{2.13}$$

n merupakan integer positif.

Analisis Odd Mode

Gambar 5. Rangkaian *power divider* dengan analisis *odd mode* ^[4]

Persamaan impedansi Z' dan Z_{odd} pada frekuensi pertama (f_1) adalah sebagai berikut :

$$Z'_{\omega_1} = Z_1 \cdot \frac{0 + j \cdot \tan(\theta_1)}{1 + j \cdot \tan(\theta_1)} \tag{2.14}$$

$$Z_{\text{odd} \omega_1} = Z_2 \cdot \frac{Z'_{\omega_1} + j \cdot \tan(\theta_2)}{1 + Z'_{\omega_1} \cdot \tan(\theta_2)} \tag{2.15}$$

Menggunakan persamaan (2.14) substitusi dengan (2.15) dan $l_1 = l_2$ dari persamaan (2.9) menjadi

$$Z'_{\text{odd} \omega_1} = Z_2 \cdot \frac{j \cdot \tan(\theta_1) + Z_2 \cdot \tan(\theta_1)}{1 + j \cdot Z_1 \cdot (\tan(\theta_1))^2} = Z_2 \cdot \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot \tan(\theta_1)}{Z_2 - Z_1 \cdot \tan^2(\theta_1)} \tag{2.16}$$

Port 2 *shunted* paralel dengan $R/2$, $L/2$, dan $2C$, impedansi *output* Z''_{odd} pada port 2 menjadi

$$Z''_{\text{odd} \omega_1} = \left(\frac{1}{Z'_{\text{odd} \omega_1}} + \frac{2}{R} + j \cdot \left(\frac{2C}{\omega_1} - \frac{2}{\omega_1 L} \right) \right)^{-1} \tag{2.17}$$

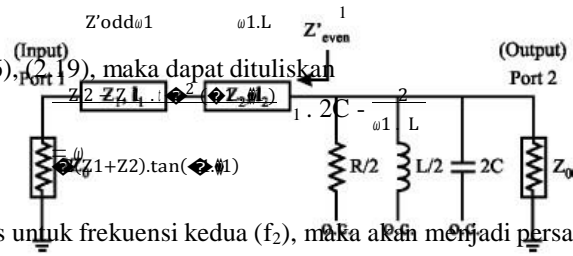
Untuk *matching* impedansi ke Z_0 pada port 2, $Z''_{\text{odd} \omega_1}$ harus sama dengan Z_0 , maka

$$R = 2 Z_0 \tag{2.18}$$

dan

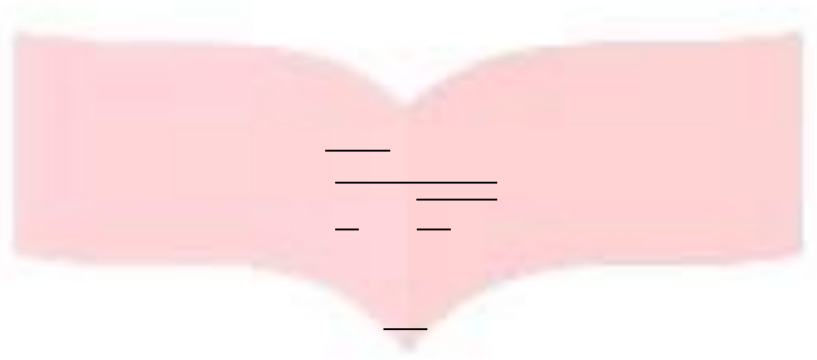
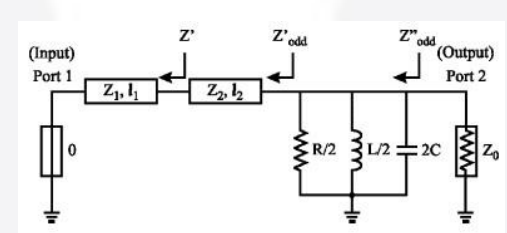
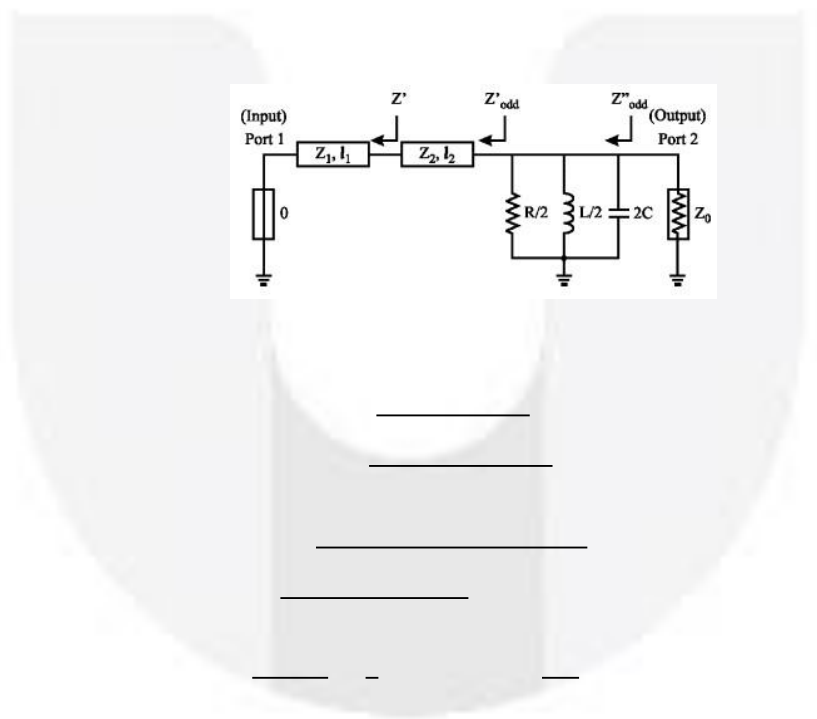
$$\frac{1}{Z_0} = j \cdot \left(\frac{2}{\omega_1 R} - 2 \omega_1 \cdot C \right) \tag{2.19}$$

Dengan persamaan (2.16), (2.19), maka dapat dituliskan



(2.20)

Ulangi persamaan di atas untuk frekuensi kedua (f_2), maka akan menjadi persamaan :

$$\frac{Z_2 - Z_1 + j \tan^2(\theta_2) \cdot Z_1}{2 \cdot 2C - \frac{2}{\omega_2 \cdot L}} \tag{2.21}$$

$$\frac{j \omega_1}{\theta_1 (Z_1 + Z_2) \cdot \tan(\theta_1)}$$

Dari persamaan (2.20) dan (2.21) bisa diperoleh C dan L, persamaannya dapat diselesaikan dengan rumus – rumus seperti di bawah ini.

$$p = \tan(\theta_1 \cdot l_1) \tag{2.22}$$

$$q = \tan(\theta_2 \cdot l_2) \tag{2.23}$$

$$A = \frac{Z_2 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 + Z_2)}{Z_2 - Z_1} \tag{2.24}$$

$$B = \frac{Z_2 \cdot q \cdot (Z_1 + Z_2)}{2} \tag{2.25}$$

Persamaan (2.20) dan (2.21) akan menjadi

$$A = \frac{2C}{\omega_1 \cdot L} \tag{2.26}$$

$$B = \frac{2C}{\omega_2 \cdot L} \tag{2.27}$$

Dari persamaan di atas dapat diperoleh nilai C dan L dengan persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{\omega_1 \cdot \omega_2}{2} \tag{2.28}$$

$$L = \frac{2 \omega_2 - 2 \omega_1}{\omega_1 \cdot \omega_2 - A \cdot \omega_2} \tag{2.29}$$

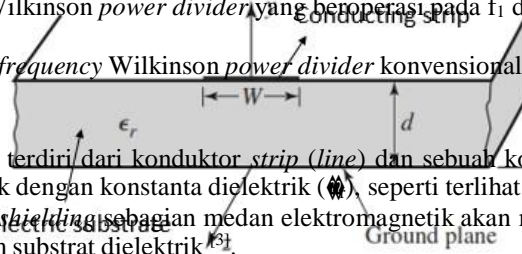
Jadi, persamaan (2.9) – (2.11), (2.18), (2.28), dan (2.29) merupakan parameter desain dari *dual band Wilkinson power divider*, di mana bekerja pada dua frekuensi f_1 dan f_2 . Panjang l_1 dan l_2 , impedansi karakteristik Z_1 dan Z_2 dari saluran transmisi, dan R memiliki nilai yang positif [4].

Dari keseluruhan persamaan di atas, untuk hubungan antara bilangan bulat positif (n) dan perbandingan frekuensi (m), dapat diringkas sebagai berikut [4] :

- 1) $n = 1$, jika *dual band Wilkinson power divider* yang beroperasi pada f_1 dan $m \cdot f_1$ memiliki *range* $1 < m < 3$
- 2) $n \geq 2$, jika *dual band Wilkinson power divider* yang beroperasi pada f_1 dan $m \cdot f_1$ memiliki *range* $4(n - 1) - 1 < m < 4n - 1$
- 3) untuk $m = 4n - 1$, *dual frequency Wilkinson power divider* konvensional.

2.3 Saluran Mikrostrip

Konstruksi dari mikrostrip terdiri dari konduktor *strip (line)* dan sebuah konduktor bidang tanah yang dipisahkan oleh medium dielektrik dengan konstanta dielektrik (ϵ_r), seperti terlihat pada gambar 6. di atas strip adalah udara sehingga bila tanpa *shielding* sebagian medan elektromagnetik akan meradiasi, dan sebagian lagi ada yang masuk kembali ke dalam substrat dielektrik [6].



Gambar 6. Struktur umum mikrostrip [3]

Kita dapat mengetahui nilai konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff}) dengan menggunakan persamaan [2.39] ^[3] :

$$\frac{\epsilon_{eff} + 1}{-2} + \frac{\epsilon_{eff} - 1}{2} \left(\left[1 + \frac{12}{W} \right]^{\epsilon_{eff}} + 0.004 \left[1 - \frac{W}{2} \right]^2 \right) \frac{W}{2} \leq 1$$

$$\epsilon_{eff} = \left\{ \begin{array}{l} W \\ -1/2 \end{array} \right. \quad \epsilon_{eff} \quad \epsilon_{eff} \quad (2.39)$$

$$\frac{\epsilon_{eff} + 1}{2} + \frac{\epsilon_{eff} - 1}{2} \left[1 + \frac{12}{W} \right]^{\epsilon_{eff}} \frac{W}{2} > 1$$

Untuk keperluan perancangan, bila diketahui impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik ϵ_{eff} , dan tebal bahan dielektrik d , maka lebar strip (W) dapat dicari dengan persamaan ^[3] :

$$\frac{W}{h} = \left\{ \frac{8 \epsilon_r}{\pi} \right\} \frac{W}{h} < 2 \tag{2.40}$$

dengan

$$\frac{2}{\pi} [b - 1 - \ln(2b - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(b - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r})] \frac{W}{h} > 2$$

$$A = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\frac{h}{W} + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} (0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}) \tag{2.41}$$

$$B = \frac{377 \pi}{2 \epsilon_r \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.42}$$

Panjang gelombang pada saluran mikrostrip, dihitung dengan memasukkan nilai konstanta dielektrik efektif

$$\lambda_g = \frac{300}{\epsilon_{eff}} \text{ mm} \tag{2.43}$$

3. Desain Dual Band Wilkinson Power Divider

Rangkaian yang diusulkan pada tugas akhir ini adalah seperti pada gambar 7, di mana pada rangkaian yang diusulkan sedikit berbeda dengan penelitian sebelumnya [4] yaitu menghilangkan komponen induktor dan kapasitor sehingga hanya resistor yang berfungsi sebagai isolasi.

Gambar 7. Rangkaian dual band Wilkinson power divider yang diusulkan

Spesifikasi bahan yang digunakan menggunakan FR4_epoxy dengan spesifikasi sebagai berikut :

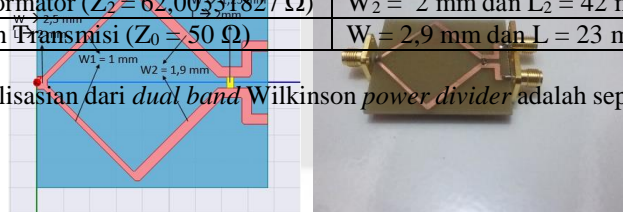
- Permittivitas dielektrik (ϵ_r) : 4.4
- Tebal dielektrik (d) : 1.6 mm
- Tebal konduktor (t) : 0.035 mm
- Tangent Loss ($\tan \delta$) : 0.025

Proses perancangan power divider menggunakan metode konvensional dengan dua impedansi karakteristik yang berbeda pada masing – masing transformator. Dimensi saluran mikrostrip yang dihasilkan dapat dihitung melalui persamaan (2.39) – (2.43).

Tabel 1. Dimensi power divider

Impedansi	Dimensi
Impedansi Transformator ($Z_1 = 80,64084536 \Omega$)	$W_1 = 1,1 \text{ mm}$ dan $L_1 = 42 \text{ mm}$
Impedansi Transformator ($Z_2 = 62,00331827 \Omega$)	$W_2 = 2 \text{ mm}$ dan $L_2 = 42 \text{ mm}$
Impedansi Saluran Transmisi ($Z_0 = 50 \Omega$)	$W_1 = 2,9 \text{ mm}$ dan $L = 23 \text{ mm}$

Hasil design dan perealisasi dari dual band Wilkinson power divider adalah seperti pada gambar 8 (a) dan (b)



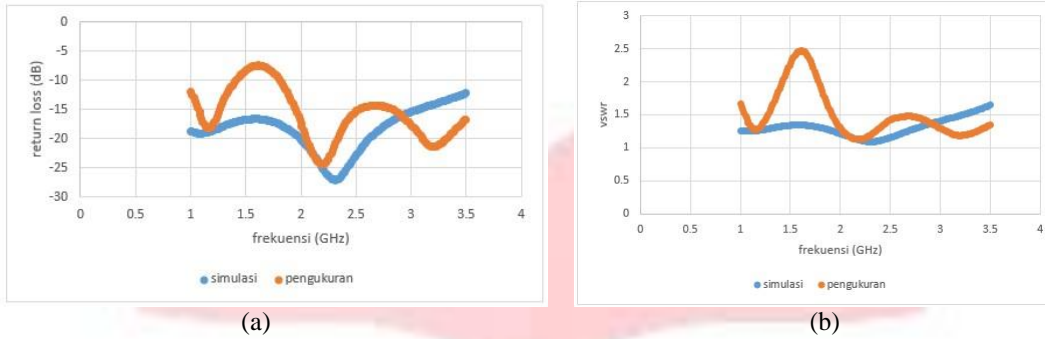
(a) (b)

Gambar 8. (a) design pada software (b) realisasi dual band Wilkinson power divider

4. Analisis

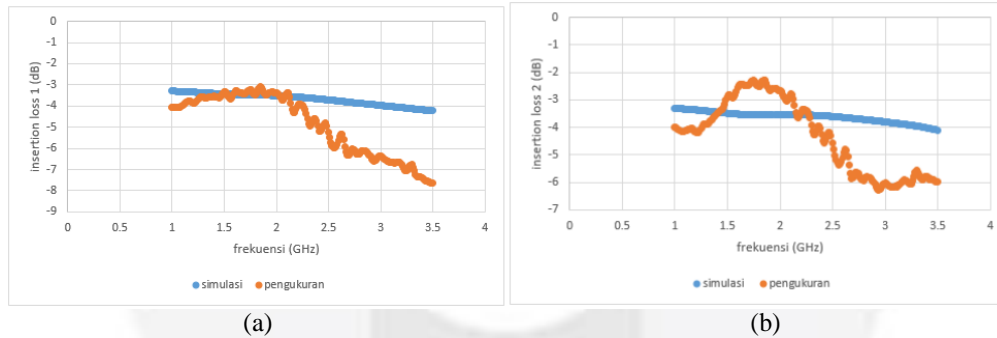
Berdasarkan hasil pengukuran dan hasil simulasi *return loss* dapat diketahui bahwa untuk hasil pengukuran nilai *Return Loss* frekuensi kerja 1,27 GHz sebesar -14,642 dB, pada frekuensi 2,3 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -21,366 dB. Hal ini telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dan untuk hasil simulasi pada frekuensi 1,27 GHz

sebesar -18,1065 dB dan untuk frekuensi 2,3 GHz memiliki nilai *return loss* -27,0316 dB. Hal ini juga telah memenuhi spesifikasi. Hasil pengukuran *VSWR port input*, untuk frekuensi 1,27 GHz memiliki *VSWR* 1,23 dan untuk 2,3 GHz memiliki *VSWR* 1,21. Hal ini masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu nilai $VSWR \leq 1,5$, namun hasil pengukuran mengalami perbedaan dengan hasil simulasi di mana hasil simulasi *VSWR* untuk 1,27 GHz sebesar 1,2840 dan frekuensi 2,3 GHz sebesar 1,0932. Hasil pengukuran dan simulasi *return loss* dan *VSWR* dapat dilihat pada gambar 9 (a) dan (b).



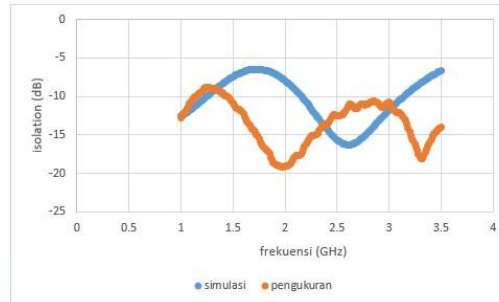
Gambar 9. (a) Hasil pengukuran dan simulasi *return los sport input* (b) Hasil pengukuran dan simulasi *VSWR port input*

Pada hasil pengukuran, nilai *Insertion Loss* pada output 1 untuk frekuensi 1,27 GHz sebesar -3,596 dB dan frekuensi 2,3 GHz sebesar -4,585 dB. Pada hasil simulasi untuk frekuensi 1,27 GHz sebesar -3,3623 dB dan untuk frekuensi 2,3 GHz adalah sebesar -3,6146 dB. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran untuk *insertion loss* pada *output 1* dapat dilihat pada gambar 10 (a). Untuk nilai *insertion loss* pada output 2, frekuensi 1,27 GHz -3,917 dB dan 2,3 GHz sebesar -3,904 dB. Hasil simulasi untuk *insertion loss* pada *output 2*, frekuensi 1,27 GHz -3,3929 dB dan frekuensi 2,3 GHz sebesar -3,5576 dB dapat dilihat pada gambar 10 (b).



Gambar 10. (a) Hasil simulasi dan pengukuran *insertion loss output 1* (b) Hasil simulasi dan pengukuran *insertion loss output 2*

Pada hasil pengukuran nilai dari *port isolation S23* pada frekuensi 1,27 GHz -8,867 dB dan untuk 2,3 GHz sebesar -15,005 dB. Hasil simulasi pada frekuensi 1,27 GHz nilai *port isolation* nya -9,7368 dB dan untuk frekuensi 2,3 GHz sebesar -12,4138 dB. Perbedaan hasil pengukuran dan simulasi untuk *port solation* dapat dilihat pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran *port isolation*

5. Kesimpulan

1. Nilai *return loss port input* untuk frekuensi 1,27 GHz pada hasil simulasi dan pengukuran telah memenuhi spesifikasi yaitu memiliki nilai ≤ -10 dB
2. Nilai *return loss port output 1* hasil simulasi untuk kedua frekuensi dan hasil pengukuran untuk frekuensi 1,27 GHz masih sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan yaitu bernilai ≤ -10 dB, namun untuk hasil pengukuran pada frekuensi 2,3 GHz tidak sesuai dengan spesifikasi awal karena bernilai $-8,919$ dB
3. Nilai *return loss port output 2* hasil simulasi dan pengukuran di kedua frekuensi sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan yaitu ≤ -10 dB
4. Nilai *insertion loss output pertama*, hasil simulasi dan pengukuran sesuai dengan spesifikasi ≥ -4 dB kecuali pada hasil pengukuran untuk frekuensi 2,3 GHz tidak sesuai dengan spesifikasi karena bernilai $-4,585$ dB. Kemudian untuk nilai *insertion loss pada output kedua*, hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk kedua frekuensi sesuai dengan spesifikasi awal ≥ -4 dB
5. Hasil *insertion loss* menunjukkan daya yang terbagi untuk kedua *port*. Pada kesimpulan nomor 7 menunjukkan hasil yang terbagi memang tidak terlalu ideal semua sama. Pada hasil simulasi, untuk frekuensi 1,27 GHz memiliki selisih antar *output* sebesar 0.0306 dB dan untuk 2,3 GHz memiliki selisih 0.057 dB. Pada hasil pengukuran, untuk frekuensi 1,27 GHz memiliki selisih antar *output* 0.321 dB dan untuk frekuensi 2,3 GHz sebesar 0.681 dB.
6. Nilai *port isolation* pada hasil simulasi dan pengukuran telah memenuhi spesifikasi, namun untuk hasil pengukuran pada frekuensi 1,27 GHz tidak memenuhi spesifikasi karena bernilai $-8,867$ dB
7. VSWR pada *port input* yang diperoleh pada hasil simulasi dan pengukuran untuk kedua frekuensi sesuai dengan spesifikasi awal yaitu $\leq 1,5$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. C. Koo, Y. K. Chan, V. Gobi, M. Y. Chua, C. H. Lim, C. S. Lim, C. C. Thum, T. S. Lim, Z. Ahmad, K. A. Mahmood, M. H. Shahid, C. Y. Ang, W. Q. Tan, P. N. Tan, K. S. Yee, W. G. Cheaw, H. S. Boey, A. L. Choo, B. C. Sew. 2012. "A New Unnamed Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar for Environmental Monitoring". Faculty of Engineering & Technology Multimedia University.
- [2] Sumantyo, Josaphat Tetuko Sri. 2011. "Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar Onboard Microsatellite for Earth Diagnosis". IGARSS.
- [3] Pozar, David M. 2005. Microwave Engineering 3rd Ed. New York: Wiley.
- [4] Wu, Lei and Z. Sun, h. Yilmaz, M. Berroth. 2006. A dual Frequency Wilkinson Power Divider. IEEE Trans.Microw.Theory Tech. Vol 54 no.1.
- [5] Moreira Alberto. A Tutorial Synthetic Aperture Radar. Microwaves and Radar Institute of the German Aerospace Center (DLR), Germany.
- [6] C. Monzon. 2003. A Small Dual-Frequency Transformer in Two Section. IEEE Trans.Microw.Theory.Tech. Vol 51 no.4.