

Design of Microstrip Coupled-line Directional Coupler for 2.3 - 2.4 GHz Frequency

Perancangan *Coupled-line Directional Coupler* Mikrostrip pada Frekwensi 2.3 - 2.4 GHz

Pamungkas Daud*

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI, Jalan Cisit No 21/154D, Bandung 40135
Jawa Barat, Indonesia

Abstract

This paper presents the design of a passive device, Coupled-Line Directional Coupler, in the form of a Microstrip to be used on WiMAX antenna with working frequency of 2.3 to 2.4 GHz. To find the good performance of the Coupled-Line Directional Coupler device, we apply two substrate materials, that are FR-4 Epoxy and Roger Duroid RO4003 series. From the simulation using Ansoft HFSS v.10 software, we obtained some results in the form of data Parameter-s, phase and frequency response graphs, and phase difference of the two substrates. The data will be used as a reference in the production of Coupled-Line Directional Coupler antenna for WiMAX.

Key Words: microstrip, antenna, parameter-s, WiMAX, coupler

Abstrak

Tulisan ini menjelaskan tentang perancangan Coupled-Line Directional Coupler, sebuah *passive device*, dalam bentuk Mikrostrip untuk digunakan pada antenna WiMAX dengan frekuensi kerja 2,3-2,4 GHz. Untuk mendapatkan unjuk kerja yang baik dari divais Coupled-Line Directional Coupler, telah dipilih dua substrat, yaitu FR-4 Epoxy dan Roger Duroid seri RO4003. Melalui simulasi dengan piranti lunak Ansoft HFSS v.10 diperoleh beberapa hasil berupa data Parameter-s, grafik respons frekuensi dan fasa, serta perbedaan fasa dari kedua substrat. Data tersebut akan menjadi acuan dalam membuat Coupled-Line Directional Coupler yang akan dipakai pada antenna WiMAX.

Kata kunci: mikrostrip, antenna, parameter-s, WiMAX, coupler

1. PENDAHULUAN

WiMAX atau *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar yang memiliki kecepatan akses yang tinggi dengan jangkauan luas. WiMAX adalah sebuah tanda sertifikasi untuk produk-produk yang lulus tes cocok dan sesuai dengan standar IEEE 802.16 yang diperkenalkan sekitar tahun 2001 oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

(IEEE) dan telah mengalami *upgrade* menjadi 802.16e pada awal 2003 yang mendukung laju data puncak sampai dengan 75 Mbps mencakup daerah seluas 50 km dengan range frekuensi 2.6-2.7 GHz [1-3]. Untuk mendukung penggunaan teknologi tersebut diperlukan perangkat antenna yang dapat melayani frekuensi tersebut. Selain itu daya yang sampai di penerima atau pelanggan juga harus diperhatikan apakah daya keluaran tersebut sesuai dengan kebutuhan atau tidak. Untuk itu akan dibuat suatu *Coupled-Line Directional Coupler* dengan mikrostrip sebagai media pengukur parameter yang dibutuhkan sebelum daya tersebut sampai ke pelanggan [4]. Perealisasi sebuah *Coupled-Line Directional Coupler* untuk pengukuran parameter-parameter yang terdapat pada antenna WiMAX menggunakan bahan substrat yang memiliki spesifikasi berbeda, mulai dari nilai epsilon $r(\epsilon)$ dan

*Corresponding Author. Tel: -

Email: pmkdaud@gmail.com

Received: 18 March 2013; revised: 22 April 2013; accepted: 16 May 2013

Published online: 22 May 2013

Corresponding editor: Bambang Sugiarto

(bambang@informatika.lipi.go.id)

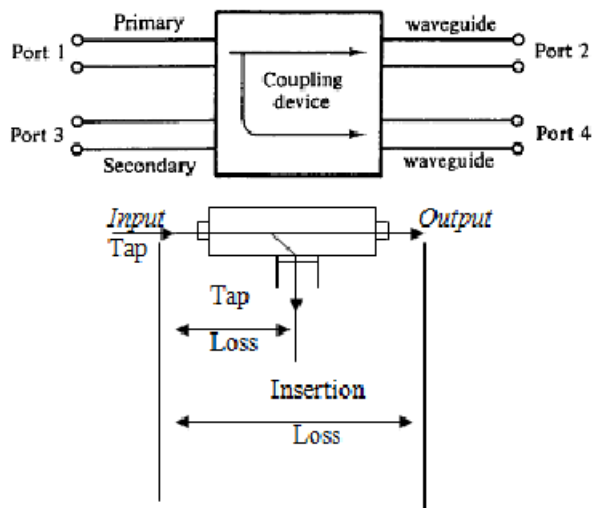
© 2013 INKOM 2013/13-NO203

tebal [5]. Sehingga dapat diketahui substrat apa yang baik sebagai pendukung pembuatan Coupled-Line Directional Coupler dengan mikrostrip sebagai media pengukur. Pada tulisan ini diharapkan nantinya desain dan pembuatan *microwave devices* jadi makin mudah dan terlatih untuk direalisasikan.

2. TEORI DASAR

2.1 Directional Coupler

Directional coupler adalah perangkat pasif yang berguna untuk membagi dan mengkopling daya, namun proses pembagian daya tersebut dilakukan pada kondisi dimana *insertion loss* pada port yang satu lebih jauh besar dibandingkan dengan *insertion loss* pada port lain. *Directional coupler* merupakan rangkaian empat port dimana satu port yang terisolasi dari port input seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 1. Ketika terdapat dua saluran yang *unshielded* yang berdekatan, daya dapat dikopel diantara saluran tersebut, karena adanya interaksi medan elektromagnetik.



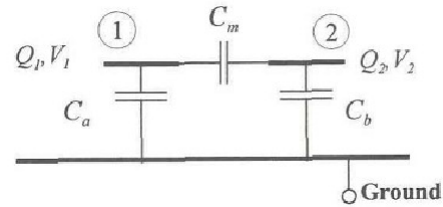
Gambar 1. Konfigurasi Sirkuit *Directional Coupler*

Karakteristik dari *directional coupler* dapat dinyatakan berdasarkan faktor *coupling* dan direktivitas. Diasumsikan bahwa gelombang elektromagnetik berpropagasi dari *port 1* ke *port 2* dalam primary line. Pada directional coupler terdapat dua keadaan dalam praktiknya, yaitu forward wave dan backward wave.

2.2 Coupled Line

Coupled-line adalah dua saluran transmisi unshielded yang berdekatan, daya dapat di kopel diantara saluran tersebut karena adanya interaksi medan elektromagnetik [6, 7]. Saluran yang dihubungkan itu disebut coupled transmission

lines, dan biasanya terdiri dari tiga konduktor yang berdekatan. *Coupled-line* atau *3 port coupler* lainnya dapat direpresentasikan melalui struktur seperti Gambar 2.



Gambar 2. Kapasitor equivalensi dari Coupled lines

Matriks kapasitansi dari kapasitor equivalen dari coupled line diatas adalah:

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Jika C_{11} dan C_{22} adalah kapasitas dari lines 1 dan 2, maka matriks kapasitansi dapat menunjukkan hubungan antara usaha dan tegangan antara kedua line transmisi seperti dibawah ini:

$$Q_1 = C_{11}V_1 + C_{12}V_2 \quad (2)$$

$$Q_2 = C_{21}V_1 + C_{22}V_2 \quad (3)$$

Oleh karena itu matriks kapasitansinya bisa dijabarkan sebagai berikut:

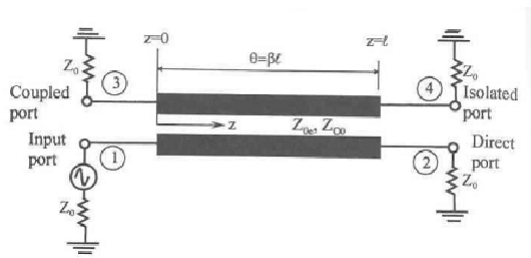
$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_a = C_m & -C_m \\ -C_m & C_b + C_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

Ada dua jenis coupled line yang biasa digunakan yaitu : *Symmetrical Coupler* dan *Asymmetrical Coupler*

2.3 Coupled-line directional coupler

Jika ada dua TEM lines yang identik yang dipasang secara paralel, kemudian pemilihan *even* dan *odd* mode untuk *coupled line* tersebut maka *directional coupler* (empat port) bisa diperoleh [8]. Karakteristik dari coupledline dapat disempurnakan dengan di terminasi dengan kapasitansi yang sesuai diantara line dan *velocity* (kecepatan) dari propagasi antar lines.

Gambar 3 juga dikenal dengan *backward-wave directional coupler* karena *coupling* mengambil jalur belakang *direction port* pada *coupled line* [9]. Contohnya, jika *power input* pada *port1*, maka *power* tersebut akan *dicoupled* ke *port 3* pada *coupled line*.


 Gambar 3. *Coupled-Line Directional Coupler*

Tabel I. Hasil Perhitungan

	FR-4 epoxy	Roger Duroid RO4003
Lebar mikrostrip (W)	2,5 mm	3 mm
Panjang $\lambda/4$	16,5 mm	19 mm
Jarak-antar mikrostrip (s)	2.3 mm	2 mm

3. PERANCANGAN DAN HASIL SIMULASI

Spesifikasi *Coupler* yang dirancang:

- Range frequency: 2,32,4 GHz
- VSWR: $\leq 1,5$
- Z terminasi: 50Ω
- Frekuensi tengah: 2349,48 MHz
- RL (S11): $\leq -20dB$
- IL (S12): $\geq -0.5dB$
- Coupling (S14): $\pm -20dB$
- Isolasi (S13): $\leq -20dB$
- Power Handling: ≤ 1 Watt

Bahan substrat yang digunakan:

- FR-4 epoxy
- Roger Duroid RO4003

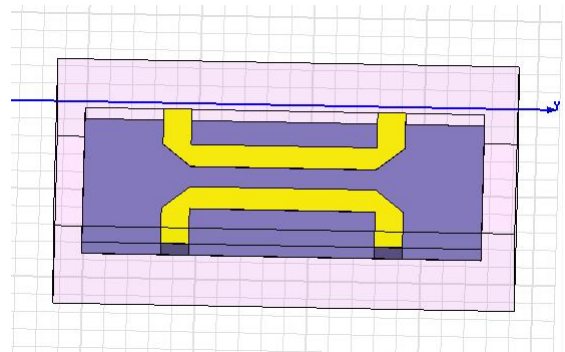
3.1 Desain *Coupled-line* (Perhitungan)

Dengan menggunakan rumus-rumus baku yang telah ada dilakukan perhitungan dan hasilnya terlihat pada Tabel I.

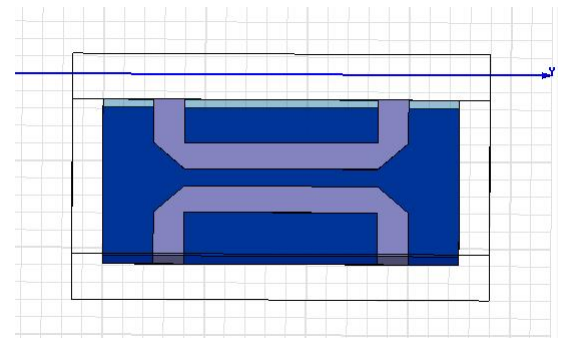
Sementara bentuk fisik coupler dengan masing-masing substrat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 dengan ukuran fisik dari coupler pada Tabel I.

3.2 Simulasi *Coupled-line Directional Coupler*

Simulasi menggunakan *Software Ansoft HFSS v.10* (FR-4 epoxy). Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi berupa response frekuensi terhadap besaran atenuasi (dB) dari masing-masing port untuk rentang frekuensi (2,3 - 2,4) GHz adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Lay-Out Coupled-Line (Substrat FR-4)



Gambar 5. Lay-Out Coupled Line (Substrat Roger Duroid)

Tabel II. Hasil Simulasi Substrat FR-4 epoxy

	FR-4 epoxy	Roger Duroid RO4003
Lebar mikrostrip (W)	3 mm	3,55 mm
Panjang $\lambda/4$	16,7 mm	19,1 mm
Jarak-antar mikrostrip (s)	1 mm	1 mm

$$\text{Port1} = -(24,4 - 26,4)\text{dB} \quad (5)$$

$$\text{Port2} = -0,4\text{dB} \quad (6)$$

$$\text{Port3} = -(25,2 - 24,2)\text{dB} \quad (7)$$

$$\text{Port4} = -(13,6 - 13,2)\text{dB} \quad (8)$$

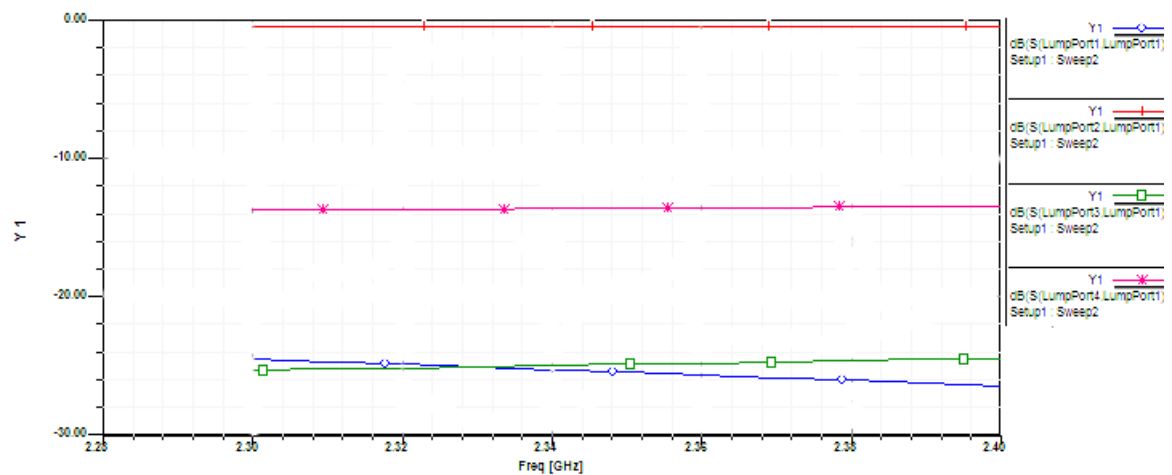
Terlihat pada Gambar 7 hasil simulasi response frekuensi terhadap besaran atenuasi (dB) untuk masing-masing port pada rentang frekuensi (2,3 - 2,4) GHz adalah sebagai berikut:

$$\text{Port1} = -(19,5 - 20,5)\text{dB} \quad (9)$$

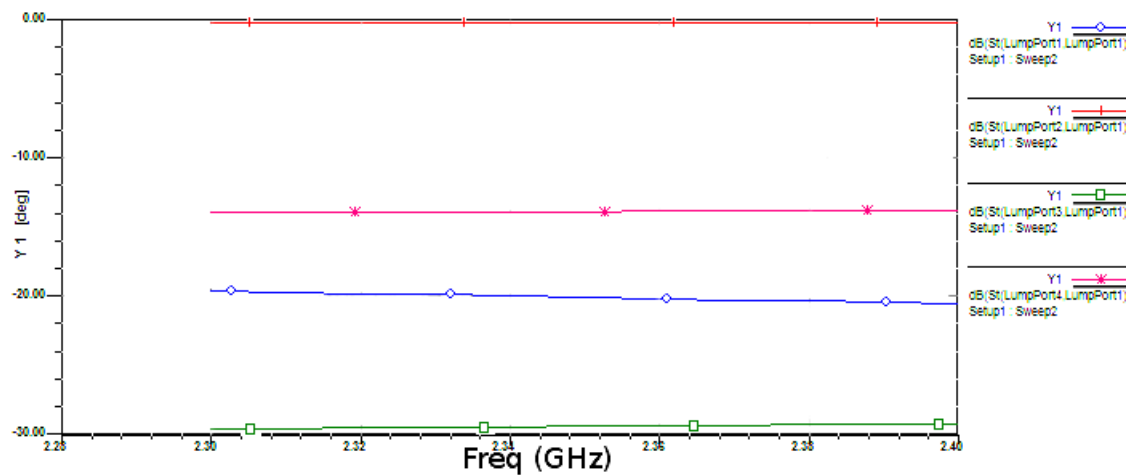
$$\text{Port2} = 0\text{dB} \quad (10)$$

$$\text{Port3} = -(29,5 - 29,2)\text{dB} \quad (11)$$

$$\text{Port4} = -(14 - 13,9)\text{dB} \quad (12)$$



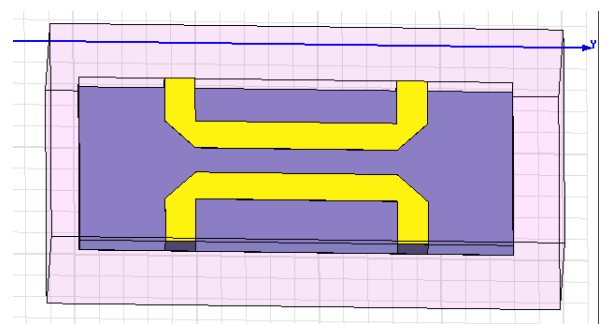
Gambar 6. Grafik Hasil Simulasi Coupled-line Directional Coupler(FR-4 epoxy)



Gambar 7. Grafik Hasil Simulasi Coupled-line Directional Coupler(Roger Duroid RO4003)

Tabel III. Parameter-S Untuk Hasil Simulasi FR-4

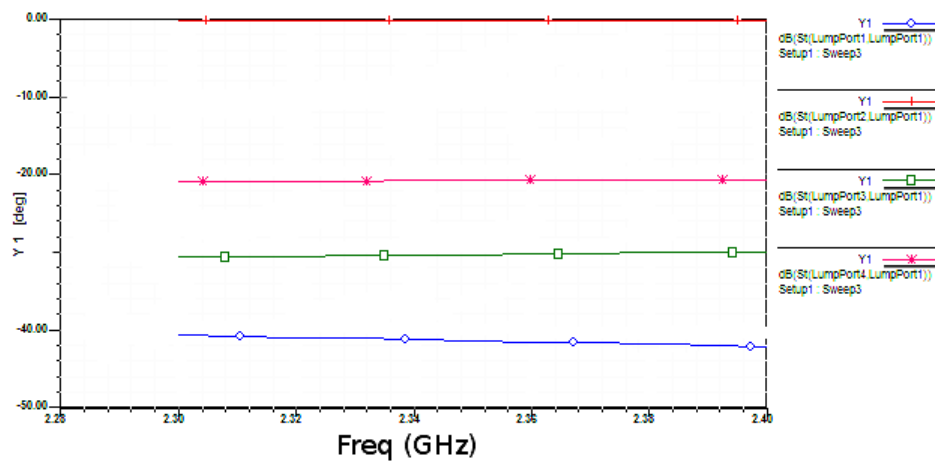
Frek (GHz)	S11 (dB)	S12 (dB)	S13 (dB)	S14 (dB)
2.3	-24.4733	-0.4316	-25.2132	-13.6884
2.31	-24.6409	-0.4334	-25.1341	-13.6639
2.32	-24.8133	-0.4352	-25.0542	-13.6392
2.33	-24.9907	-0.4371	-24.9735	-13.6146
2.34	-25.1732	-0.4390	-24.8920	-13.5898
2.35	-25.3611	-0.4409	-24.8096	-13.5649
2.36	-25.5545	-0.4429	-24.7262	-13.5399
2.37	-25.7538	-0.4449	-24.6418	-13.5146
2.38	-25.9590	-0.4469	-24.5562	-13.4892
2.39	-26.1703	-0.4491	-24.4694	-13.4635
2.4	-26.3880	-0.4512	-24.3813	-13.4375



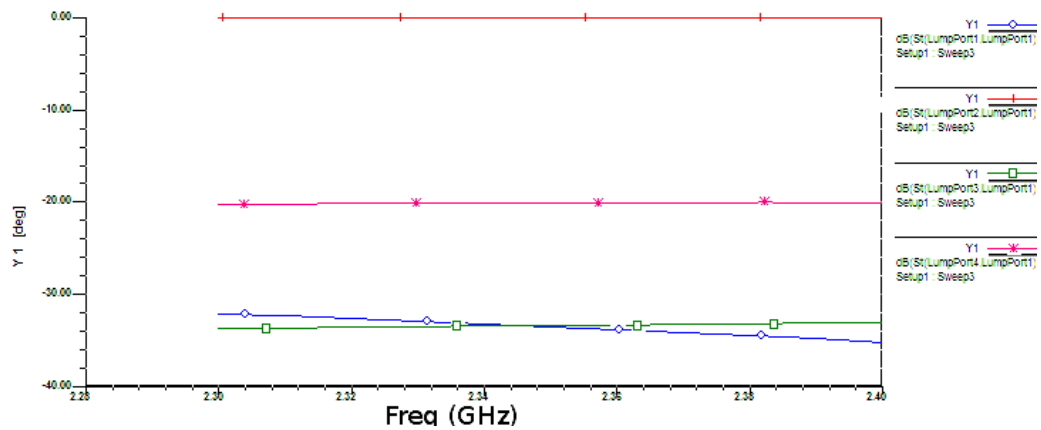
Gambar 8. Lay-Out Coupled-Line Hasil Simulasi (Substrat FR-4)

3.3 Perancangan Hasil Simulasi Setelah Optimisasi

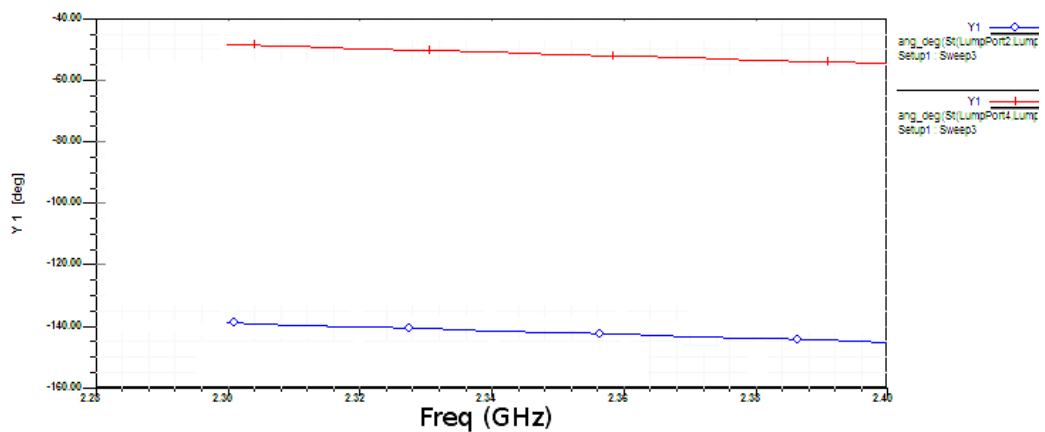
Setelah dilakukan Optimisasi hasil ukuran fisik dari coupler dapat dilihat pada Tabel IV, dan respon frekuensi terhadap atenuasi dapat dilihat pada Tabel V dan Tabel VI maupun Gambar 9 dan Gambar



Gambar 9. Grafik Hasil Simulasi Coupled-line Optimisasi (Substrat FR 4)



Gambar 10. Grafik Hasil Simulasi Coupled-line Optimisasi Roger Duroid RO4003

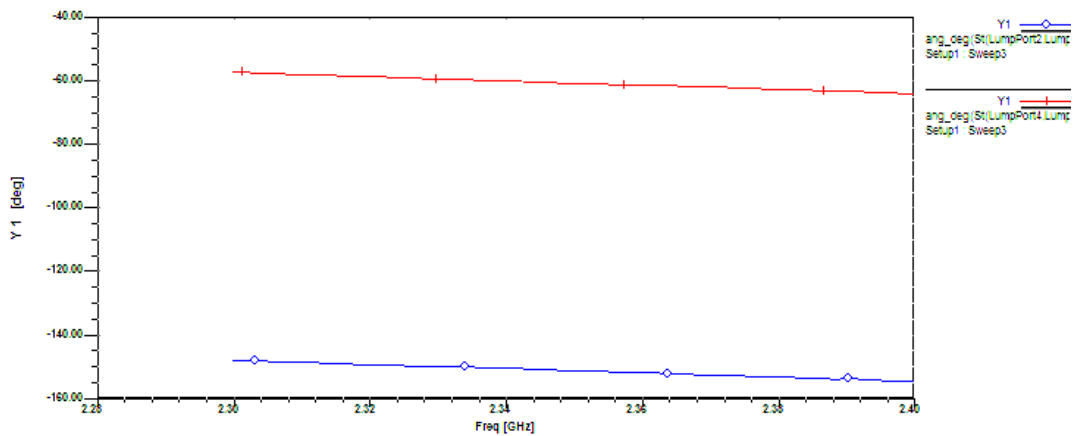


Gambar 11. Grafik Beda Fasa (FR-4)

10 sesuai dengan masing-masing substrat yang digunakan.

3.4 Hasil Simulasi epoxy Parameter S Optimisasi

Terlihat dari Tabel IV, respon masing-masing *port* terhadap frekuensi range (2,3 – 2,4) GHz untuk bahan substrat Epoxy masing-masing hampir *flat*,



Gambar 12. Hasil Simulasi Beda Fasa Optimisasi (Roger Duroid RO4003)

Tabel IV. Ukuran Coupled Line Hasil Optimisasi

	FR-4 epoxy	Roger Duroid RO4003
Lebar mikrostrip (W)	2,52 mm	3,2 mm
Panjang $\lambda/4$	16,5 mm	19 mm
Jarak-antar mikrostrip (s)	2,29 mm	2,1 mm

Tabel V. Parameter-S Untuk Hasil Simulasi FR-4

Frek (GHz)	S11 (dB)	S12 (dB)	S13 (dB)	S14 (dB)
2.3	-19.5720	-0.2769	-29.4956	-13.9179
2.31	-19.6570	-0.2768	-29.4592	-13.9025
2.32	-19.7435	-0.2766	-29.4228	-13.8874
2.33	-19.8315	-0.2765	-29.3864	-13.8725
2.34	-19.9210	-0.2764	-29.3500	-13.8580
2.35	-20.0122	-0.2762	-29.3136	-13.8438
2.36	-20.1050	-0.2761	-29.2772	-13.8298
2.37	-20.1994	-0.2759	-29.2408	-13.8161
2.38	-20.2954	-0.2758	-29.2044	-13.8027
2.39	-20.3932	-0.2756	-29.1680	-13.7896
2.4	-20.4926	-0.2754	-29.1316	-13.7768

dan atenuasi terbesar terjadi di *port* 3 dalam hal ini dinyatakan oleh parameter S13 sebesar $-29,49$ dB dan atenuasi terkecil pada *port* 2 diwakili oleh parameter S12 sebesar $-0,27$ dB.

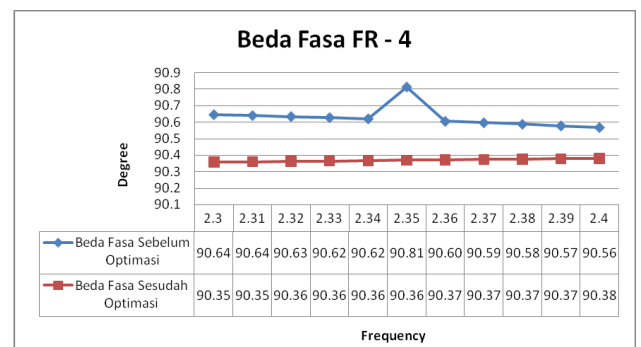
Sedangkan respon masing-masing *port* terhadap frekuensi range 2,3 – 2,4 GHz untuk bahan substrat *Duroid* terlihat pada Gambar 10 dan Tabel VI. Nilai atenuasi terbesar terjadi pada *port* 3 dengan besaran S13 sebesar $-33,68$ dB dan atenuasi terkecil terjadi pada *port* 2 sebesar $S12 = -0,08$ dB, sementara untuk respon frekuensinya untuk range 2,3 – 2,4 GHz masing-masing *port* responnya hampir sama yaitu *flat*.

Tabel VI. Hasil Simulasi duroid Parameter S Optimisasi

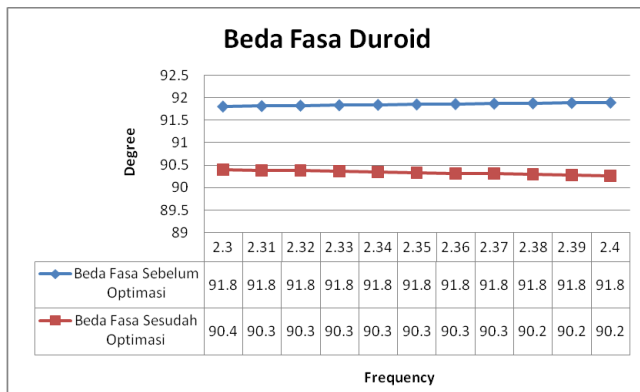
Frek (GHz)	S11 (dB)	S12 (dB)	S13 (dB)	S14 (dB)
2.3	-32.0552	-0.0862	-33.6882	-20.166
2.31	-32.3195	-0.0864	-33.6142	-20.1516
2.32	-32.5923	-0.0866	-33.5406	-20.1375
2.33	-32.8740	-0.0867	-33.4675	-20.1238
2.34	-33.1648	-0.0869	-33.3947	-20.1103
2.35	-33.4649	-0.0871	-33.3223	-20.0972
2.36	-33.7747	-0.0873	-33.2502	-20.0844
2.37	-34.0943	-0.0874	-33.1780	-20.0719
2.38	-34.4239	-0.0876	-33.1073	-20.0597
2.39	-34.7633	-0.0878	-33.0364	-20.0429
2.4	-35.1124	-0.0880	-33.9658	-20.0364

3.5 Hasil Simulasi Beda Fasa setelah Optimisasi untuk Coupler dengan menggunakan substrat FR-4

Untuk hasil terakhir simulasi yg telah dioptimasi dan sebelum dioptimalisasi, beda fasa yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 11 dan 13 untuk penggunaan substrat FR-4



Gambar 13. Grafik Perbandingan Beda Fasa FR4



Gambar 14. Grafik Perbandingan Beda Fasa Duroid

Terlihat dari Gambar 13 Respon perbedaan fasa terhadap frekuensi untuk bahan FR-4 sesudah optimasi lebih baik dibandingkan dengan sebelum optimasi dimana perbedaan fasanya hampir tidak ada atau kecil sekali yaitu $0,03^\circ$ dan boleh dikatakan flat pada nilai fasa sebesar $90,36^\circ$

Sementara untuk penggunaan substrat Duroid, beda fasa setelah dioptimasi dan sebelum dioptimasi bisa dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 14, dimana hasilnya untuk masing-masing port beda fasa yang terjadi baik sebelum optimasi dan sesudah dioptimasi memiliki respon frekuensi terhadap perubahan fasa hampir sama responnya yaitu *flat*.

Dari Gambar 14 untuk bahan substrat *Duroid* beda fasa yang terjadi adalah rata-rata sekitar $1,5^\circ$ dengan nilai fasa rata-rata $90,3^\circ$ setelah optimasi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Untuk melakukan optimisasi pada sebuah *Coupler*, nilai yang diubah-ubah agar parameter yang didapat sesuai dengan spesifikasi adalah nilai lebar saluran mikrostrip (W) dan jarak antar mikrostripnya (s). Cara mudah untuk mendapatkan ketepatan parameter sesuai spesifikasi adalah dengan membuat persamaan berupa inisialisasi dari model coupler pada *software* yang dibuat. Hasil simulasi tidak sepenuhnya presisi bila direalisasikan. Oleh karena itu parameter hasil simulasi diusahakan tidak jauh berbeda dari spesifikasi.

Daftar Pustaka

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed., 2011.
- [2] A. Das and S. K. Das, *Microwave Engineering*. Mc Graw Hill, 2001.
- [3] D. H. Schradar, *Microstrip Circuit Analysis*. Prentice Hall Inc, 1995.
- [4] N. Zozhat, R. McPhedran, C. deSterke, and N. Granpayeh, "The plasmonic folded directional coupler," *Photonic and Nanostructure - Fundamental and Application*, vol. 9, pp. 308–314, 2011.
- [5] A. Mukhopadhyay, T. Chakraborty, S. Bhunia, I. Misra, and S. Sanyal, "Study of enhanced voip performance under congested wireless network scenarios," in *Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2011 Third International Conference on*, 2011, pp. 1–7.
- [6] S. Y. Liao, *Microwave Devices and Circuit*, 3rd ed. Prentice Hall, 2000.
- [7] Wharton, Metcalfe, and Platts, *Broadcast Transmission Engineering Practice*. Focal Press, 1992.
- [8] F. E.H, *Microwave Engineering Using Microstrip Circuits*. Prentice Hall, 1990.
- [9] R. Mongia, P. Bhartia, and I. J. Bahl, *RF and Microwave Coupled-Line Circuits*. Artech House. London, 1999.

