

**PERANCANGAN MODULATOR OPTIK COPLANAR STRIPLINE FREKUENSI 10
GHZ UNTUK RADIO-OVER-FIBER**
**DESIGN OF 10 GHZ COPLANAR STRIPLINE OPTICAL MODULATOR FOR RADIO-
OVER-FIBER**

Arya Dananjaya¹, Erna Sri Sugesti², Pamungkas Daud³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

¹aryadananjaya23@gmail.com, ²ernasugesti@telkomuniversity.ac.id

³pmkdau@gmail.com

Abstrak

Makalah ini membahas perancangan modulator optik dengan struktur *Coplanar Stripline* (CPS) pada frekuensi 10 GHz. Efek elektro-optik yang digunakan pada perancangan modulator optik adalah efek elektro-optik linier. Metode yang digunakan adalah penelitian ilmu murni karena hasil yang diperoleh tidak diaplikasikan langsung pada teknologi RoF, selanjutnya dilakukan perancangan dengan cara memvariasikan nilai variabel fisis hingga menghasilkan spesifikasi frekuensi kerja sebesar 10 GHz, impedansi *input* sebesar 50 Ω , dan *return loss* yang dapat ditoleransi sebesar -10 dB. Dalam tahap penyelesaian, dilakukan analisis terhadap variabel fisis yang mempengaruhi parameter frekuensi kerja dan *return loss* serta mengaitkannya dengan teori penunjang. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh struktur CPS array 4×1 yang sesuai untuk modulator optik yang digunakan pada teknologi *Radio-over-Fiber*. Hasil simulasi memiliki nilai *return loss* $\leq$ -10 dB pada frekuensi yang ditentukan yaitu 10 GHz. Hasil *return loss* maksimal pada simulasi ini sebesar -50,6 dB.

Kata kunci: modulator optik, RoF, *coplanar stripline*, elektro-optik linier, *return loss*, array

Abstract

This journal discusses the design of optical modulator using Coplanar Stripline (CPS) structure at a frequency of 10 GHz. The electro-optic effect used in the design of optical modulator is linear electro-optic effect. The method used in this journal is pure research since the obtained results are not directly applied to the RoF technology, afterward the design is carried out by means of varying physical variable value which results in specification of the operating frequency of 10 GHz, input impedance of 50 Ω , and acceptable return loss of -10 dB. On the stage of completion, an analysis is performed toward physical variable that influences the parameter of operating frequency and return loss as well as associates it with the supporting theory. Based on the simulation result, the structure of CPS array 4×1 corresponding to the optical modulator that is used in the Radio-over-Fiber technology is obtained. The simulation result has the return loss value of $\leq$ -10 dB at the given frequency, namely 10 GHz. The maximum return loss result of this simulation shows at -50,6 dB.

Keywords: optical modulator, RoF, *coplanar stripline*, *electrooptic*, *return loss*, array

1 Pendahuluan

Teknologi RoF adalah sinyal optik dimodulasikan pada *radio frequency* dan ditransmisikan dengan kabel serat optik [1]. Teknik konversi dari sinyal yang berukuran mili/mikrometer ke sinyal optik adalah kunci teknologi RoF. Teknologi RoF sangat cocok untuk komunikasi nirkabel yang menggunakan frekuensi yang tinggi, namun dengan penggunaan frekuensi yang tinggi menyebabkan rugi-rugi yang besar. Sejak *millimeter-wave* atau *quasi-millimeter-wave bands* diharapkan diterapkan secara luas oleh komunikasi nirkabel dengan *bitrate* yang tinggi, maka penting sekali untuk mengembangkan sebuah modulator optik yang dapat beroperasi secara efisien pada frekuensi yang tinggi [2]. Struktur yang biasanya digunakan untuk modulator optik adalah struktur CPW (*Coplanar Waveguide*) dan CPS (*Coplanar Stripline*) [3]. Pada jurnal ini, dirancang sebuah modulator optik berbasis elektro-optik untuk frekuensi 10 GHz dengan struktur CPS berbahan kristal optik LiNbO₃ (*Lithium Niobate*). Struktur CPS umumnya digunakan untuk membuat modulator optik. Struktur CPS mudah dibuat karena kedua strip elektrodanya berada di permukaan yang sama. Kelebihan dari CPS adalah rugi – rugi yang rendah, dispersi yang kecil, tidak sensitif dengan ketebalan substrat, dan mudah untuk dirangkai *open-ended* maupun *short-ended* [4]. Dengan menggunakan *software* desain perangkat *microwave*, perancangan modulator optik dengan CPS berbahan kristal optik untuk aplikasi RoF pada frekuensi 10 GHz dapat dilakukan dengan lebih mudah, tepat, dan akurat.

2 Teori Penunjang

2.1 Konsep Radio-over-Fiber

Teknologi *Radio-over-Fiber* (RoF) adalah pengintegrasian antara gelombang mikro dengan jaringan serat optik. Konsep dari teknologi RoF adalah sinyal optik dimodulasikan pada *Radio Frequency* (RF) dan ditransmisikan dengan kabel serat optik [1]. Dengan demikian, komunikasi dapat terjadi secara *mobile* dengan transfer data yang cepat dan rugi-rugi yang kecil pada jarak tempuh yang jauh, hal ini disebabkan data ditransmisikan lewat kabel optik. Teknologi RoF mengacu kepada teknologi dimana cahaya dimodulasikan oleh sinyal radio dan ditransmisikan melalui jaringan serat optik. Panjang gelombang sinyal optik yang biasa digunakan untuk RoF pada adalah $1,3 \mu\text{m}$ dimana pada *single-mode fiber* memiliki dispersi yang minimum, dan $1,55 \mu\text{m}$ saat redaman rendah pada jaringan serat optik [5].

2.2 Modulator Optik

Pada dasarnya, modulator optik digunakan untuk mengkonversi sinyal listrik ke sinyal optik [6]. Modulator optik memiliki tiga hal yang mendasar yaitu : material, desain modulator, dan efek elektro-optik [7]. Efek Elektro-optik linier atau yang disebut juga efek *Pockels* dapat terjadi pada material tertentu seperti LiNbO_3 , BaTiO_3 , dan bahan material kristal optik lainnya. Efek ini terjadi ketika bahan material tersebut diberi medan listrik sehingga mengakibatkan perubahan indeks bias pada bahan material. Pada perancangan ini dipakai LiNbO_3 sebagai substrat dengan efek elektro-optik linier sebagai efek elektro-optik yang digunakan.

2.3 Struktur Modulator Optik

Ada beberapa macam struktur yang dapat digunakan untuk mendesain sebuah modulator optik. Salah satunya dengan struktur elektroda resonator [7]. Ide dari struktur elektroda resonator adalah, ketika gelombang cahaya melalui struktur tersebut pada frekuensi *passband* resonator tersebut, maka terjadi efek elektro-optik yang mengakibatkan perubahan indeks bias pada bahan material tersebut. Pada perancangan ini struktur elektroda resonator yang digunakan adalah *Coplanar Stripline*.

2.4 Coplanar Stripline

CPS (*Coplanar Stripline*) terdiri dari substrat dengan dua keping konduktor disusun secara paralel dan dipisahkan dengan jarak yang sempit. Keuntungan dari CPS adalah dapat dipasang secara seri maupun secara *shunt* dan CPS merupakan saluran transmisi yang seimbang [8]. Karakteristik dari CPS adalah rugi – rugi yang rendah, dispersi yang kecil, tidak sensitif dengan ketebalan substrat, dan mudah untuk dirangkai *open-ended* maupun *short-ended* [9]. Untuk mencari lebar dari keping konduktor maupun jarak antara dua keping konduktor dapat dihitung dengan rumus berikut [8]:

- Menghitung jarak dua keping konduktor, ketika lebar keping konduktor sudah ditentukan, ketika :

$$s \leq \frac{10}{1 + \frac{1}{\epsilon_r}} \quad \text{dan} \quad \frac{s}{h} \leq \frac{10}{3(1 + \frac{1}{\epsilon_r})} \quad (1)$$

maka :

$$W = \frac{10}{\epsilon_r} \times \frac{1}{\epsilon_r} h, \quad \epsilon_r \geq 2 \quad (2)$$

dengan :

$$G = \left[\frac{1}{8} \exp \left(\frac{60 \pi^2}{0.5} \right) - \frac{1}{2} \right] \quad \text{untuk} \quad \frac{W}{h} \leq \frac{60 \sqrt{2\pi}}{(\epsilon_r + 1)^{0.5}} \quad (3)$$

$$G = \frac{1}{4} \exp \left(\frac{60 \pi^2}{0.5} \right) + \exp \left(- \frac{60 \pi^2}{(\epsilon_r + 1)^{0.5}} \right) \quad \text{untuk} \quad \frac{W}{h} > \frac{60 \sqrt{2\pi}}{(\epsilon_r + 1)^{0.5}} \quad (4)$$

dimana :

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_r \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \left(1 + \frac{1}{\epsilon_r} \right)^{0.5}} \right) \quad (5)$$

dengan :

$$\epsilon_r = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\epsilon_r}} \left\{ \frac{1}{2} \times \exp \left[\left(1 + 0.0004 \left(\frac{W}{h} \right)^2 \right) \right] \right\} \quad (6)$$

dan $1 + \frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} \frac{W}{h} &= 84.85 \left(\frac{2}{1 + \frac{1}{2}} \right) \text{ untuk } 0.841 \leq \frac{h}{W} \leq 1, \\ &= \frac{84.85 \left(\frac{2}{1 + \frac{1}{2}} \right)}{0.25} \text{ untuk } 0 < \frac{h}{W} \leq 0.841, \end{aligned} \quad \begin{matrix} (7) \\ (8) \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{84.85 \left(\frac{2}{1 + \frac{1}{2}} \right)}{0.25} \\ &= \frac{179.7}{0.25} \\ &= 718.8 \end{aligned}$$

$$g = \left\{ \frac{\frac{2h}{\pi(2+Q)W} - \frac{2h}{\exp\left(\frac{2h}{2W}\right) - 1}}{1} \right\} \quad (9)$$

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{2} + 1} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &= 2 \\ &- \text{ Menghitung lebar keping konduktor, ketika jarak dua keping konduktor telah ditentukan, ketika} \\ &\frac{W}{h} \leq \frac{10}{1} \text{ dan } \frac{h}{W} \leq \frac{10}{1} \end{aligned} \quad (11)$$

$$h = \frac{1}{1 + \frac{1}{2}} \quad h = \frac{1}{3(1 + \frac{1}{2})}$$

maka :

$$W = \frac{s}{\epsilon_r h} \quad (12)$$

dengan :

$$G = \left[\frac{1}{\exp\left(\frac{60\pi}{\epsilon_r h}\right)} - 1 \right] \quad \text{untuk } \frac{W}{h} \leq \frac{60\sqrt{2}\pi}{\epsilon_r h} \quad (13)$$

$$G = \frac{1}{\exp\left(\frac{60\pi}{\epsilon_r h}\right)} + \exp\left(-\frac{60\pi}{\epsilon_r h}\right) \quad \text{untuk } \frac{W}{h} > \frac{60\sqrt{2}\pi}{\epsilon_r h} \quad (14)$$

dimana :

$$\epsilon_{re} = \epsilon_r \left(1 + \frac{1}{\epsilon_r} \right)^{0,5} \quad (15)$$

dengan :

$$C = \frac{\pi}{\ln\left(\frac{4s}{W}\right)} \times \exp\left[\left(1 + \frac{1}{\epsilon_r}\right) \left(\frac{W}{h}\right)\right] \quad (16)$$

dan

$$C = 84,85 \left(\frac{W}{h} \right)^{0,25} \quad \text{untuk } 0,841 \leq \frac{W}{h} \leq 1; \quad (17)$$

$$C = 837,5 \left(\frac{W}{h} \right)^{0,25} \quad \text{untuk } 0 < \frac{W}{h} \leq 0,841; \quad (18)$$

$$g = \left\{ \frac{\exp\left(\frac{\pi(1+\epsilon_r)C}{2h}\right) - \exp\left(\frac{\pi C}{2h}\right)}{\exp\left(\frac{\pi(1+\epsilon_r)C}{2h}\right) - 1} \right\}^{0,5} \quad (19)$$

$$Q = \frac{1}{\epsilon_r} \quad (20)$$

dimana :

W = lebar keping konduktor (mm)
 s = jarak dua keping konduktor (mm)
 h = ketebalan substrat (mm)
 ϵ_r = konstanta dielektrik relatif
 ϵ_{re} = konstanta dielektrik relatif efektif
 Z_0 = impedansi karakteristik saluran (Ohm).

Untuk mencari Panjang dari lengan CPS dengan menggunakan persamaan^[10]:

$$L = \frac{s}{2\epsilon_r} \quad (21)$$

2.4.1 Dimensi Saluran Transmisi

Saluran transmisi berjenis *microstrip line* terdiri dari dua konduktor keping dengan lebar W dan *ground plane*. Rekananya dipisahkan oleh substrat yang memiliki ϵ_r dengan ketebalan h . Karena Z_0 telah diketahui, maka penentuan lebar dari *microstrip line* dengan persamaan berikut^[8]:

$$\frac{W}{h} = \frac{8}{\epsilon_r - 2} \quad \text{untuk } \frac{W}{h} < 2 \quad (22)$$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ \epsilon_r - 1 - \ln(2\epsilon_r - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(\epsilon_r - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad \text{untuk } \frac{W}{h} > 2 \quad (23)$$

dimana :

$$\epsilon_r = \frac{60}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{1}{\epsilon_r} \right) \quad (24)$$

$$\epsilon_r = \frac{377\pi}{2\epsilon_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (25)$$

untuk menentukan konstanta dielektrik relatif efektif pada *microstrip lines* didapat dari persamaan^[10]:

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \quad (26)$$

2.4.2 Struktur *Array*

Struktur *array* adalah struktur yang memungkinkan beberapa komponen digunakan secara bersamaan. Pada perancangan ini digunakan *T-Junction* sebagai rangkaian *divider* yang menghasilkan pembagian impedansi secara paralel. Masukan terdistribusi dengan dua saluran keluaran sehingga besar impedansi masukan ekuivalensi dengan rangkaian paralel pada saluran keluaran ^[11].

2.4.3 Teknik Matching Impedance

Teknik *matching impedance* digunakan untuk menyesuaikan impedansi yang berbeda, yaitu impedansi karakteristik saluran transmisi (Z_0) dan impedansi beban (Z_L). Pada perancangan ini digunakan transformator $\pi/4$ sebagai persamaan berikut:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (27)$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (28)$$

2.5 Skenario Modulator Optik pada Sistem RoF

Konsep dari teknologi RoF adalah sinyal optik dimodulasikan pada *Radio Frequency* (RF) dan ditransmisikan dengan kabel serat optik [1]. Pada dasarnya, modulator optik digunakan untuk mengkonversi sinyal listrik ke sinyal optik [6]. Sinyal listrik yang berasal dari antenna yang menjadi pemodulasi atau sinyal info sedangkan sinyal optik yang berasal dari laser dioda menjadi sinyal pembawa pada skema RoF. Sinyal pembawa yang digunakan adalah dengan panjang gelombang 1,55 nm [6] yang berada pada C-band [13].

Ketika kedua sumber bertemu di modulator optik, maka modulator optik memodulasikan sinyal optik terhadap sinyal listrik yang bersumber dari antenna dan laser dioda. Modulasi tersebut terjadi dengan menggunakan efek elektro-optik linier, efek ini mengakibatkan perubahan indeks bias salah satu atau lebih sumbu *axis* kristal optik yang disebabkan oleh induksi medan listrik pada kristal optik [7]. Pada frekuensi resonansi di 10 GHz, struktur CPS meloloskan daya yang diterima dan ketika daya diloloskan maka medan listrik tersebut timbul pada *gap* CPS. Medan listrik merubah indeks bias substrat yang berakibat keterlambatan fasa sinyal optik yang melewati *gap* CPS. Setelah melewati tahap modulasi, sinyal optik yang telah termodulasi diteruskan ke jaringan lain.

3 Perancangan dan Simulasi

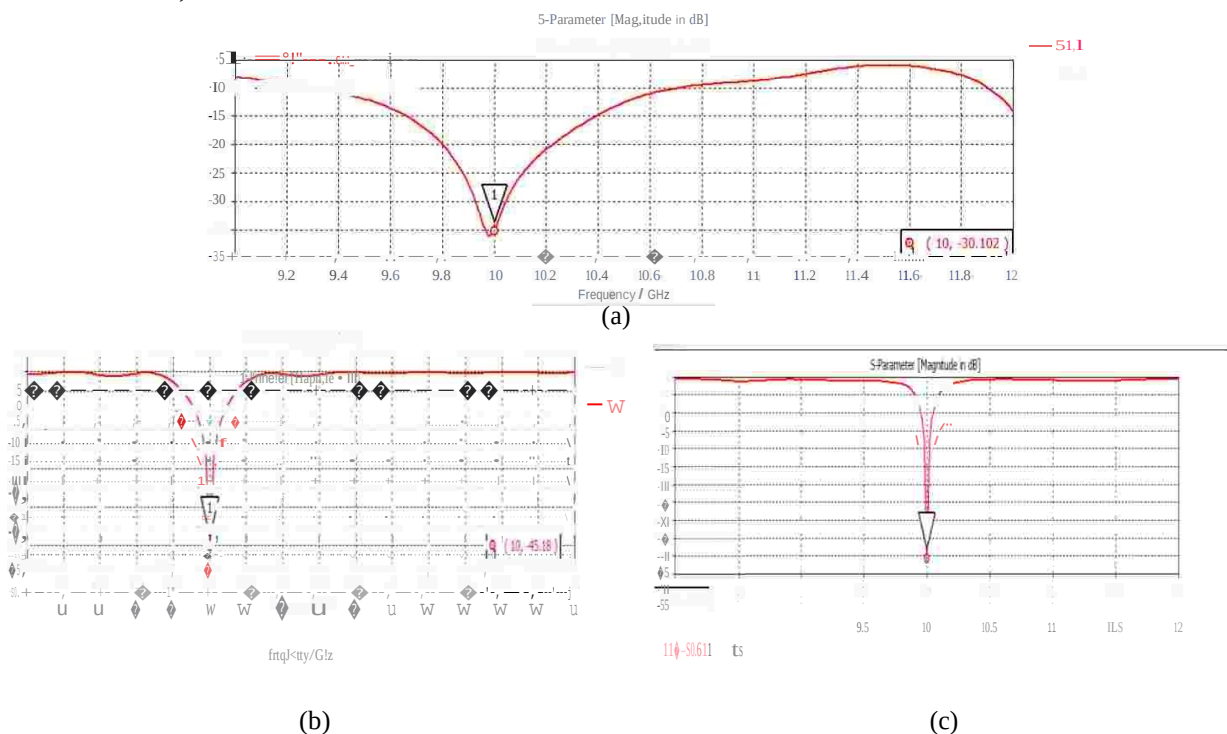
Perancangan diperoleh berdasarkan teori perancangan dari struktur dengan perhitungan matematis dan selanjutnya diimplementasikan dengan *software* tertentu. Adapun spesifikasi yang telah ditentukan sebagai berikut:

- Frekuensi kerja (f_r) : 10 GHz
- Return Loss ($S_{1,1}$) : < -10 dB
- Impedansi input (Z_0) : 50 Ohm

Substrat yang digunakan sebagai substrat yaitu kristal optik (LiNbO_3) dengan karakteristik sebagai berikut:

- Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) : 29
- Ketebalan dielektrik (h) : 0,5 mm
- Ketebalan konduktor (t) : 0,035 mm

Simulasi berakhir ketika perancangan telah menghasilkan spesifikasi yang telah ditentukan. Ada tiga struktur yang dirancang pada penelitian ini yaitu: tunggal, *array* 2×1, dan *array* 4×1. Hasil perancangan modulator optik tunggal dapat dilihat pada Gambar 1(a), Gambar 2(a), dan Tabel 1. Simulasi dengan *software* tertentu menghasilkan *return loss* sebesar -30,102 dB.

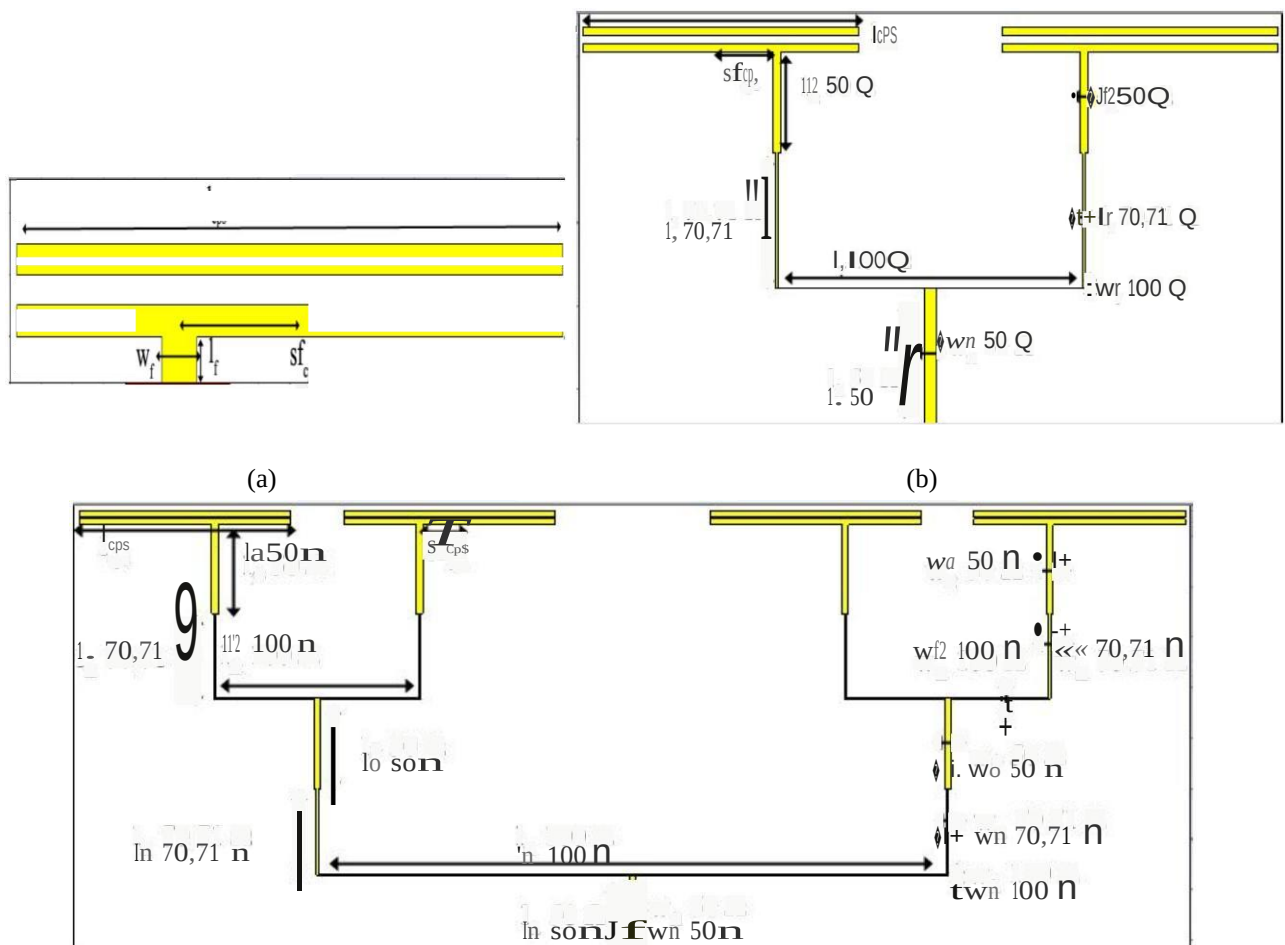


Gambar 1 Output Simulasi Akhir dari Modulator Optik (a) Tunggal (b) Array 2×1 (c) Array 4×1

Perancangan dilanjutkan dengan merancang modulator optik *array* 2×1. Hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 1(b) , Gambar 2(b), dan Tabel 1. Simulasi dengan *software* tertentu menghasilkan *return loss* sebesar -45,18 dB. Selanjutnya dilanjutkan dengan perancangan modulator optik *array* 4×1. Hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 1(c) , Gambar 2(c), dan Tabel 1. Simulasi dengan *software* tertentu menghasilkan *return loss* sebesar -50,6 dB.

Tabel 1 Dimensi Hasil Simulasi Akhir Modulator Optik Tunggal, Array 2×1, dan Array 4×1

Variabel	Dimensi (mm)			Keterangan
	Tunggal	Array 2×1	Array 4×1	
l_{cps}	3,4774864	4,2914027	4,1832536	Panjang CPS
w_{cps}	0,10243	0,1428520	0,1196416	Lebar CPS
s_{cps}	0,09591	0,0313530	0,0425531	Jarak antar dua keping CPS
h	0,5	0,5	0,5	Tebal substrat
t	0,035	0,035	0,035	Tebal konduktor
sf_{cps}	0,7034	0,8013000	0,5865110	Jarak antara setengah panjang CPS dengan mikrostrip
l_f	0,146272117	1,8430883	1,7824201	Panjang mikrostrip feed utama
w_f	0,220471075	0,1351611	0,1239908	Lebar mikrostrip feed utama
$l_{f2} 50 \Omega$		1,2336268	1,7602757	Panjang mikrostrip feed CPS
$w_{f2} 50 \Omega$		0,0995698	0,1222264	Lebar mikrostrip feed CPS
$l_f 70,71 \Omega$		1,6329067	1,6698658	Panjang mikrostrip penyepadan
$w_f 70,71 \Omega$		0,0378554	0,0384983	Lebar mikrostrip penyepadan
$l_f 100 \Omega$		3,9619064	4,0894605	Panjang mikrostrip pembagi
$w_f 100 \Omega$		0,0040610	0,0054725	Lebar mikrostrip pembagi
$l_{f2} 70.71 \Omega$			1,7079486	Panjang mikrostrip penyepadan 2
$w_{f2} 70,71 \Omega$			0,0363488	Lebar mikrostrip penyepadan 2
$l_{f2} 100 \Omega$			0,0051709	Panjang mikrostrip pembagi 2
$w_{f2} 100 \Omega$			4,0894605	Lebar mikrostrip pembagi 2
$l_{f3} 50 \Omega$			1,2336268	Panjang mikrostrip feed
$w_{f3} 50 \Omega$			0,0995698	Lebar mikrostrip feed



Gambar 2 Struktur Modulator Optik (a) Tunggal (b) Array 2×1 (c) Array 4×1

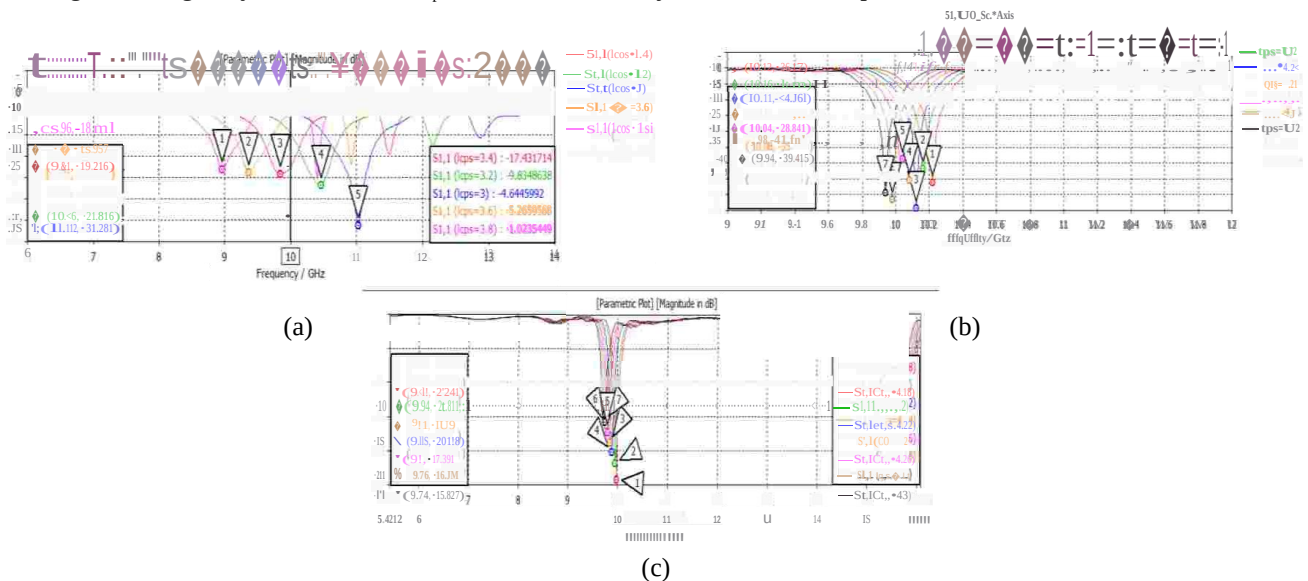
4 Analisis Hasil Simulasi

4.1 Skenario Simulasi

Untuk memperoleh parameter kerja dari modulator optik agar sesuai dengan spesifikasi, dilakukan beberapa variasi terhadap ukuran dari modulator optik. Variasi yang dilakukan adalah dengan mengubah panjang lengan CPS, lebar lengan CPS, jarak *gap* CPS, dan penggunaan struktur *array*. Hasil dari variasi tersebut menghasilkan grafik perubahan *return loss* terhadap frekuensi. *Return loss* direpresentasikan sebagai $S_{1,1}$. Upaya yang dilakukan adalah dengan mengubah dimensi dari modulator optik secara *trial and error* sehingga didapatkan *return loss* yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

4.2 Analisis Pengaruh Panjang Lengan CPS terhadap Modulator Optik

Panjang lengan pada CPS sangat mempengaruhi frekuensi kerja dari modulator optik. Panjang lengan pada CPS berbanding terbalik dengan frekuensi kerja dari modulator optik. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3 dengan meningkatnya nilai variabel l_{cps} maka frekuensi kerja dari modulator optik menurun.

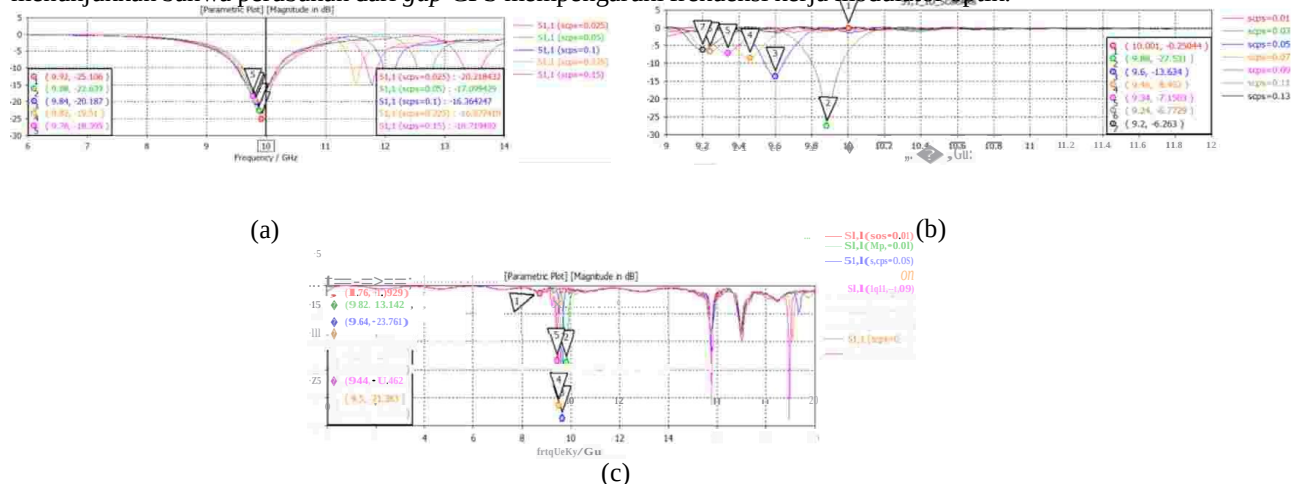


Gambar 3 Grafik $S_{1,1}$ dari Iterasi Variabel l_{cps} Modulator Optik (a) Tunggal (b) Array 2x1 (c) Array 4x1

Berdasarkan persamaan (21), selain frekuensi kerja, konstanta dielektrik relatif efektif (ϵ_{eff}) suatu struktur mempengaruhi panjang lengan CPS. Nilai ϵ_{eff} suatu struktur dipengaruhi juga oleh substrat yang digunakan pada persamaan (21). Substrat yang digunakan pada perancangan ini memiliki konstanta dielektrik yang relatif besar, yang menyebabkan panjang dari lengan CPS berkisar 3 - 4,5 mm. Tabel 1 menunjukkan nilai simulasi akhir dari panjang lengan CPS.

4.3 Analisis Pengaruh Gap pada CPS terhadap Modulator Optik

Gap pada CPS berkaitan dengan kapasitansi. Secara teoritis nilai kapasitansi dapat mempengaruhi frekuensi resonansi atau frekuensi kerja dari modulator optik pada perancangan ini. Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa perubahan dari *gap* CPS mempengaruhi frekuensi kerja modulator optik.



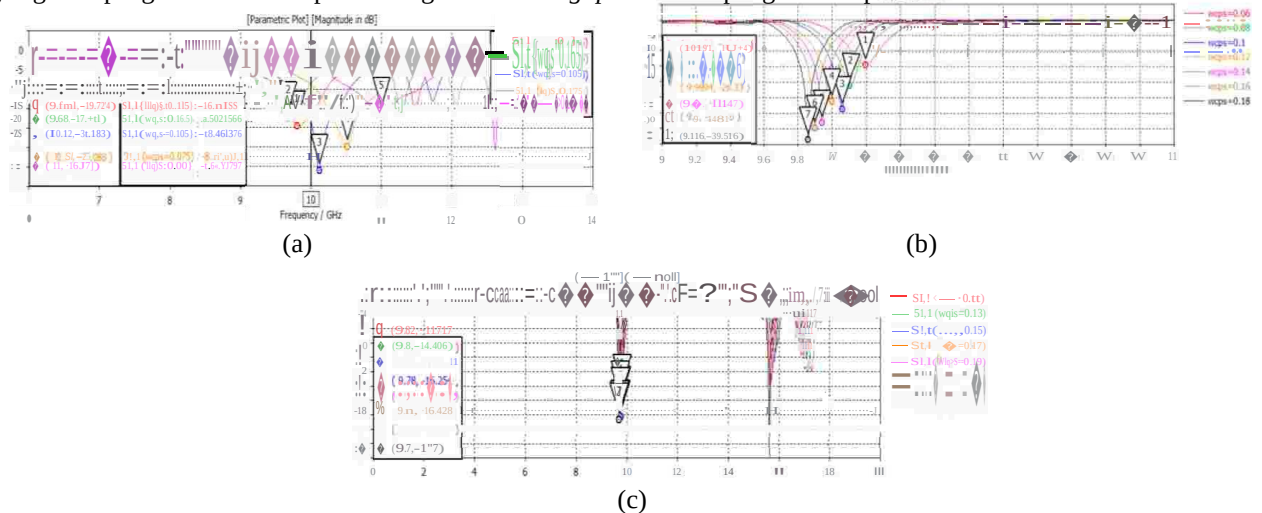
Gambar 4 Grafik $S_{1,1}$ dari Iterasi Variabel s_{cps} Modulator Optik (a) Tunggal (b) Array 2x1 (c) Array 4x1

Pelebaran dari *gap* CPS menurunkan frekuensi kerja modulator optik. Selain mempengaruhi frekuensi kerja modulator optik, *gap* CPS mempengaruhi *return loss* dari modulator optik seperti terlihat pada Gambar 4.

Semakin sempit *gap* CPS maka semakin kecil *return loss* yang dihasilkan. Persamaan (2) menunjukkan bahwa perhitungan *gap* dipengaruhi oleh substrat, impedansi, dan oleh lebar lengan CPS secara tidak langsung. Karena relatif besarnya nilai konstanta dielektrik substrat, *gap* pada CPS relatif kecil dengan nilai berkisar 0,03 - 0,05 mm. Pada Tabel 1 menunjukkan nilai akhir dari *gap* CPS.

4.4 Analisis Pengaruh Lebar Lengan CPS terhadap Modulator Optik

Lebar lengan CPS sangat berhubungan dengan *gap* pada perancangan CPS. Persamaan (1) – (10) menunjukkan bahwa salah satu nilai harus diinisiasi terlebih dahulu, pada perancangan ini nilai yang diinisiasi adalah nilai lebar lengan CPS. Gambar 5 menunjukkan pengaruh perubahan lebar lengan elektroda CPS terhadap frekuensi kerja modulator optik. Dilihat dari grafik respon $S_{1,1}$, bahwa lebar lengan CPS berbanding terbalik dengan frekuensi kerja modulator optik. Selain itu lebar lengan CPS juga mengakibatkan perubahan *return loss* yang cukup signifikan karena perbandingan lebar dan *gap* CPS mempengaruhi impedansi CPS.



Gambar 5 Grafik $S_{1,1}$ dari Iterasi Variabel w_{cps} Modulator Optik (a) Tunggal (b) Array 2×1 (c) Array 4×1

Persamaan (12) menunjukkan bahwa perhitungan lebar lengan CPS dipengaruhi oleh substrat, impedansi, dan *gap* CPS secara tidak langsung. Untuk mendapatkan impedansi yang *match* dengan *feed*, maka lebar dari lengan CPS disesuaikan dan perubahan lengan CPS mengakibatkan nilai $S_{1,1}$ berbeda pada setiap perubahannya. Pada simulasi akhir didapat lebar lengan CPS yang membuat modulator optik bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan seperti yang tertera pada Tabel 1.

4.5 Analisis Pengaruh Struktur Array terhadap Modulator Optik

Struktur *array* umumnya digunakan untuk perancangan antenna. Tujuannya adalah untuk meningkatkan *gain* dari antenna. Pada penelitian [14], dilakukan perancangan modulator optik dengan struktur *array*. Struktur *array* mengakibatkan penurunan daya yang dibutuhkan untuk modulator optik bekerja. Penurunan daya ditunjukkan dengan nilai $S_{1,1}$ yang semakin menurun. Pada Gambar 1 memperlihatkan *return loss* dari ketiga struktur modulator optik dan terlihat bahwa struktur *array* mempengaruhi. Semakin banyak struktur *array* yang digunakan maka semakin kecil *return loss* yang dihasilkan modulator optik. Semakin menurunnya *return loss* maka daya yang diterima oleh modulator optik mendekati daya yang diberikan oleh sumber.

5 Kesimpulan

Dari hasil perancangan, simulasi, dan analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Modulator optik berstruktur CPS dengan frekuensi kerja 10 GHz telah berhasil dirancang. *Return loss* yang didapat pada tiap struktur sebesar: -30,102 dB untuk struktur tunggal, -45,18 dB untuk struktur *array* 2×1, dan -50,6 dB untuk struktur *array* 4×1. Perolehan parameter tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dan dapat diintegrasikan dengan antenna agar dapat diaplikasikan pada sistem RoF.
2. Parameter modulator optik yang dianalisis memiliki keterkaitan dengan variabel fisis dari modulator optik. Panjang dan lebar memiliki kecenderungan yang sama yaitu mempengaruhi frekuensi kerja dari modulator optik, semakin kecil nilai variabel tersebut maka nilai frekuensi kerja modulator optik meningkat dengan rata-rata peningkatan frekuensi kerja 0,312 GHz setiap pengurangan 0,2 mm untuk panjang dan 0,1367 GHz setiap pengurangan 0,02 mm untuk lebar.
3. *Gap* CPS berkaitan dengan kapasitansi sehingga perubahan *gap* dari CPS dapat mengubah frekuensi kerja dan impedansi modulator optik. Dengan berubahnya impedansi maka perubahan tersebut mempengaruhi *return loss*. Perubahan frekuensi kerja yang diakibatkan perubahan *gap* adalah setiap penyempitan sebesar 0,02 mm meningkatkan frekuensi kerja sebesar 0,13135 GHz.

4. Struktur *array* dapat menurunkan *return loss*, semakin banyak struktur *array* yang digunakan semakin kecil *return loss* yang dihasilkan. Untuk struktur *array* 2×1 menurunkan *return loss* sebesar 15,078 dB dan struktur *array* 4×1 menurunkan *return loss* sebesar 20,498 dB. Dengan menurunnya *return loss* maka daya yang diterima perangkat mendekati daya yang diberikan oleh sumber.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Vyas, A. K., Agrawal, N.. 2012. *Radio over Fiber: Future Technology of Communication*. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*. **1:2** 233.
- [2] Enokihara, A., et al. 2005. *Guided-Wave Electro-Optic Modulators Using Novel Electrode Structure of Coupled Microstrip Line Resonator*. Special Section on Optical Signal-Processing Devices for Photonic Networks. **E88-C** 372.
- [3] Enokihara, A., et al. 2003. *Novel guided-wave optical modulator using resonant electrodes of microstrip parallel coupled lines*.
- [4] Chang, K.. 2005. *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, 6 Volume. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Kim, H. B.. 2005. *Radio over Fiber based Network Architecture*. Technische Universität Berlin. Ph.D. dissertation.
- [6] Sakamoto, T., et al.. 2006. *Novel Photonic Devices Based on Electro-optic Modulation Technologies*. *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*. **53** 25.
- [7] Chen, A., Murphy, E. J.. 2012. *Broadband Optical Modulators Science, Technology, and Applications*. United States of America: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [8] Simons, R. N.. 2001. *Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems*. New York, United States of America: John Wiley & Sons.
- [9] Gupta, K.C., et al. 1996. *Microstrip Lines and Lines*, 2nd ed. Norwood, United States of America: Artech House.
- [10] Pozar, D. M.. 2012. *Microwave Engineering*, 4th ed. Hoboken, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [11] Chang, K., et al. 2002. *RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless System*. New York : John Wiley and Son
- [12] Cahyo, R. D., Christiyono, Y., Santoso, I.. *Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip Array dengan Frekuensi 850 MHz untuk Aplikasi Praktikum Antena*. Universitas Diponegoro. Tugas Akhir.
- [13] <http://www.thefoa.org/tech/ref/basic/SMbands.html>, diakses 21 Desember 2016 pukul 06.39 WIB.
- [14] Shinada, S., et al. 2007. *A 10-GHz Resonant-Type LiNbO₃ Optical Modulator Array*. *IEEE Photonics Technology Letters*. **19** 735.