

Butler Matrix 4x4 untuk Aplikasi Wideband-Radar

Nadia Media Rizka ^{#1}, Ilfyantri Intyas ^{#2}, Samsurizal ^{*3}

Program Studi Teknik Telekomunikasi, AKATEL Sandhy Putra Jakarta
Jalan Daan Mogot KM.11, Kedaung Kali Angke, Cengkareng, Jakarta Barat 11710, Indonesia

¹medriz29@gmail.com

²i.intyas@gmail.com

*Fakultas Teknik Elektro, STT PLN
Jalan Duri Cengkareng Raya No.40, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat 11750, Indonesia

³samsurizal@sttpln.ac.id

Dikirim pada 13-05-2019, direvisi pada 22-06-2019, diterima pada 22-07-2019

Abstract

In this research, a 4x4 butler matrix for wideband-radar application with frequency range in S- Band (operation frequency at 3 GHz) was designed with 4 hybrid coupler and 2 crossover coupler in it. Using electromagnetic band gap (EBG) technique to increase the bandwidth by put the perforated structures (holes) at the ground plane. The research results (modelling by software application) show the design of butler matrix with characteristics of the bandwidth more than 500 MHz. In addition, the value of bandwidth enhancement is up to 259 %.

Keywords: *Butler matrix, Electromagnetic Band Gap, Wideband, S-Band Radar.*

I. PENDAHULUAN

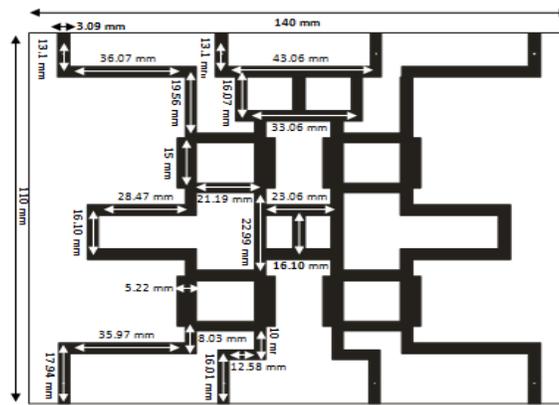
SAAT ini di Indonesia teknologi radar *wideband* masih terus dikembangkan, salah satunya adalah radar yang dapat bekerja di rentang frekuensi *S-band* yaitu 2GHz–4GHz contohnya adalah radar cuaca dan *surface ship radar*. Dalam rekomendasinya ITU telah menjabarkan kebutuhan *bandwidth* untuk kasus *wideband* ke dalam beberapa alokasi frekuensi yaitu; *bandwidth* 10 MHz untuk jarak frekuensi dari 30 MHz sampai 10 GHz, 50 MHz untuk 1 GHz sampai 3 GHz, 100 Mhz untuk 3 GHz sampai 10 GHz, 250 MHz untuk 10 GHz sampai 15 GHz, dan 500 MHz untuk jarak frekuensi diatas 15 GHz^[1]. Untuk pengembangan dan kebutuhan radar tersebut, maka dibutuhkan juga antena yang memiliki banyak arah berkas dan yang memiliki karakteristik pita lebar (*wideband*) untuk kebutuhan transmisi data kecepatan tinggi saat melakukan *recovery* informasi dari sinyal yang direfleksikan.

Butler matrix merupakan salah satu pencatu yang dapat menghasilkan banyak arah berkas yang memiliki pengkopel hibrid 3dB sebagai komponen utamanya^[2] dan dapat dirancang di atas *microstrip*. *Butler matrix* memiliki fungsionalitas terhadap kinerja antena radar dengan sistem antena yang di-*array*. Peningkatan *bandwidth* merupakan salah satu pencapaian yang diharapkan dalam perancangan teknologi *wideband*, terdapat berbagai macam teknik peningkatan *bandwidth* yang telah diimplementasikan dalam perancangan perangkat bentuk *microstrip* seperti teknik *tapper*, *CB-CPW*, *DGS* maupun *EBG*.

Pada penelitian ini, dirancang dan dibangun sebuah *butler matrix* yang dapat diaplikasikan pada sistem antena untuk sistem radar dengan pita lebar (*wideband*) khususnya pada kisaran frekuensi *S-band* yang memiliki *bandwidth* ≥ 500 MHz dengan menggunakan teknik EBG (*electromagnetic band gap*) untuk meningkatkan *bandwidth*. *Butler matrix* ini memiliki 4 buah titik *input* dan 4 buah titik *output* (4x4) yang keseluruhannya dapat dilalui oleh arus dari setiap titik *input*. Hal tersebut menyebabkan terjadinya perbedaan *phase* dari setiap salurannya, hal ini dapat diterapkan pada aplikasi *beamswitching* yang dapat dikembangkan lagi ke arah *beamsteering*.

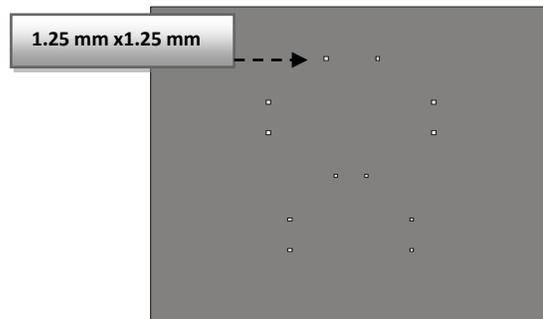
II. METODE PENELITIAN

Perancangan *Butler matrix* ini dilakukan menggunakan satu lapis *substrate epoxy fr4* (dengan ϵ_r : 4.4 dan ketebalan: 1.6 mm). Pada perancangan *butler matrix* ini yang pertama kali dilakukan adalah menentukan dimensi *butler matrix* 4x4 yang memiliki spesifikasi frekuensi operasi pada 3 GHz. Untuk menentukan dimensi dan merancang *butler matrix*, digunakan aplikasi piranti lunak (*software application*) yang digunakan khusus untuk perancangan pada bidang *microwave*. Desain *butler matrix* 4x4 ditampilkan pada Gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 2.1 Desain *Butler Matrix* 4x4

Untuk meningkatkan angka *bandwidth* pada perancangan *butler matrix* 4x4 ini digunakan teknik EBG (*Electromagnetic Band Gap*) dengan melakukan pelubangan pada lapisan *ground plane* (*Perforated Band Gap*). Terdapat 10 buah *holes* berbentuk bujur sangkar (*Square Holes*) dengan ukuran masing-masing 1.25 mm x 1.25 mm pada lapisan *ground plane*, ukuran tersebut didapatkan dalam proses perancangan melalui proses iterasi. Desain lapisan *ground plane butler matrix* 4x4 dengan teknik EBG ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Ground Plane Butler Matrix* 4x4 dengan EBG

Hasil simulasi dari rancangan *butler matrix 4x4* sebelum dan sesudah menggunakan teknik EBG (*electromagnetic band gap*) memperlihatkan perubahan bandwidth yang cukup signifikan yang dapat diamati pada Tabel 2-1 berikut ini :

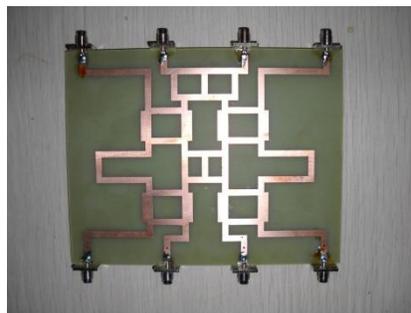
Tabel 2-1 Perbandingan *bandwidth* simulasi
sebelum dan sesudah menggunakan teknik EBG

Port	BW Simulasi Butler Matrix Non-EBG (MHz)	BW Simulasi Butler Matrix dengan EBG (MHz)	Pergeseran BW Simulasi Butler Matrix dengan EBG terhadap Non-EBG (%)
1	150	890	493
2	500	540	8.00
3	500	590	18.0
4	750	970	29.3

Dari tabel di atas dapat diamati, *bandwidth* pada setiap *port* masukan yang diperoleh melalui proses simulasi, pengamatan dilakukan pada frekuensi operasi 3 GHz, hasil simulasi setelah menggunakan EBG terhadap hasil simulasi sebelum menggunakan EBG untuk *port* 1 mengalami peningkatan sebanyak 493%, untuk *port* 2 mengalami peningkatan sebanyak 8%, untuk *port* 3 mengalami peningkatan sebanyak 18%, untuk *port* 4 mengalami peningkatan sebanyak 29.3%. Ketidakteraturan peningkatan yang terjadi dapat disebabkan oleh posisi tata letak maupun ukuran *holes* yang masih memerlukan optimasi. Akan tetapi secara keseluruhan peningkatan lebar pita frekuensi yang terjadi cukup signifikan dan memenuhi standar *bandwidth* untuk teknologi *wideband*.

III. HASIL PENELITIAN

Tahap kedua setelah perancangan adalah fabrikasi *butler matrix 4x4* ke dalam bentuk *microstrip line* dan selanjutnya melalui proses pengukuran sebagai pengujian hasil rancangan. *Butler matrix 4x4* yang telah difabrikasi ditampilkan pada Gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Hasil Fabrikasi *Butler Matrix 4x4*

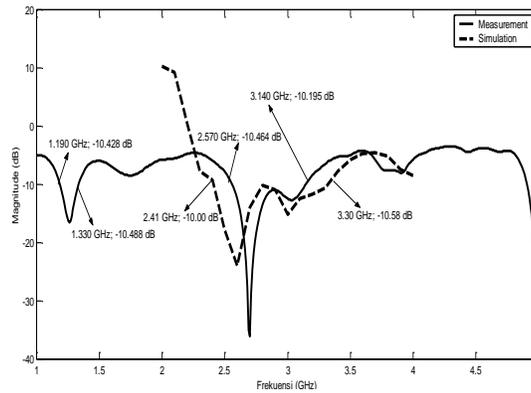
Butler matrix yang telah difabrikasi kemudian melalui proses pengukuran menggunakan perangkat berupa *vector network analyzer* (VNA). Dalam penelitian ini *sample data* di ambil pada parameter *S11* dan *phase*.

IV. PEMBAHASAN

Butler matrix 4x4 hasil rancangan yang telah melalui proses pengukuran, menghasilkan data hasil pengukuran yang dituangkan ke dalam bentuk grafik. Adapun fokus perancangan ini adalah mendapatkan peningkatan angka *bandwidth* dan terjadinya pergeseran *phase*. Berikut ini ditampilkan perubahan *bandwidth* yang terjadi dari hasil simulasi dan pengukuran setelah menggunakan teknik EBG yang dapat diamati dalam grafik *return loss*, dan ditampilkan grafik *phase* untuk mengamati pergeseran *phase*.

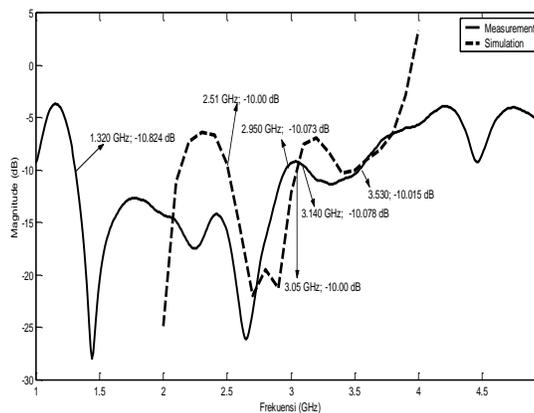
A. Grafik Return Loss Butler matrix 4x4

Nilai *return loss* dari masing-masing *port input butler matrix 4x4* yang didapatkan melalui proses simulasi dan pengukuran dapat diamati pada Gambar 3.1 sampai dengan Gambar 3.4 berikut ini :



Gambar 3.1 Grafik Return Loss Port 1

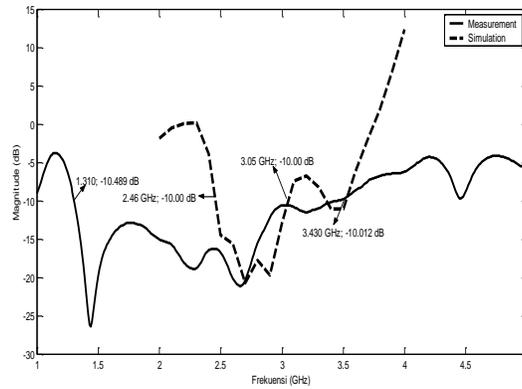
Pada Gambar 3.1 dapat diamati hasil pengukuran nilai *return loss* dari *port 1*, lebar pita frekuensi pada nilai *return loss* di bawah -10 dB yang membentang di sekitar 2.57 GHz sampai dengan 3.14 GHz ialah sebesar 570 MHz. Bila dibandingkan dengan hasil simulasi yang dibahas di atas, pada *port 1* didapatkan lebar pita frekuensi sebesar 890 MHz sehingga dapat disimpulkan telah terjadi pergeseran frekuensi dan penyusutan *bandwidth* yang sangat signifikan.



Gambar 3.2 Grafik Return Loss Port 2

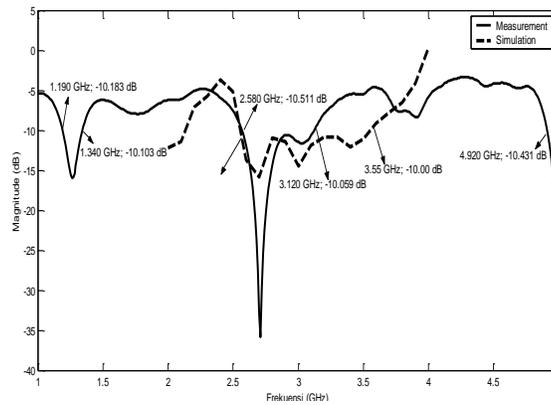
Pada Gambar 3.2 dapat diamati hasil pengukuran nilai *return loss* dari *port 2*, lebar pita frekuensi pada nilai *return loss* di bawah -10 dB yang membentang di sekitar 1.32 GHz sampai dengan 2.95 GHz ialah sebesar

1630 MHz . Bila dibandingkan dengan hasil simulasi yang dibahas sebelumnya, pada *port 2* didapatkan lebar pita frekuensi sebesar 540 MHz sehingga dapat disimpulkan telah terjadi pergeseran frekuensi dan peningkatan *bandwidth* yang sangat signifikan.



Gambar 3.3 Grafik Return Loss Port 3

Pada Gambar 3.3 dapat diamati hasil pengukuran nilai *return loss* dari *port 3*, lebar pita frekuensi pada nilai *return loss* di bawah -10 dB yang membentang di sekitar 1.31 GHz sampai dengan 3.43 GHz ialah sebesar 2120 MHz. Bila dibandingkan dengan hasil simulasi yang dibahas sebelumnya, pada *port 3* didapatkan lebar pita frekuensi sebesar 590 MHz sehingga dapat disimpulkan telah terjadi pergeseran frekuensi dan peningkatan *bandwidth* yang sangat signifikan.



Gambar 3.4 Grafik Return Loss Port 4

Pada Gambar 3.4 dapat diamati hasil pengukuran nilai *return loss* dari *port 4*, lebar pita frekuensi pada nilai *return loss* di bawah -10 dB yang membentang di sekitar 2.58 GHz sampai dengan 3.12 GHz ialah sebesar 540 MHz. Bila dibandingkan dengan hasil simulasi yang dibahas di atas, pada *port 4* didapatkan lebar pita frekuensi sebesar 970 MHz sehingga dapat disimpulkan telah terjadi pergeseran frekuensi dan penyusutan *bandwidth* yang sangat signifikan.

Dari hasil simulasi dan pengukuran rancangan *butler matrix* 4x4 dapat diamati perubahan *bandwidth* yang terjadi pada Table 3-1 berikut ini :

Table 3-1 Perbandingan *bandwidth* Hasil Simulasi dan Pengukuran

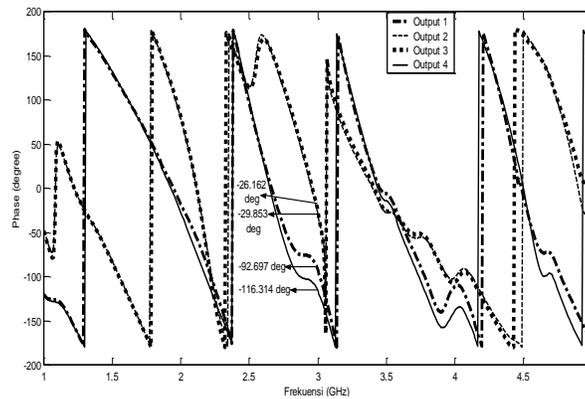
<i>Port</i>	<i>BW Hasil Simulasi (MHz)</i>	<i>BW Hasil Pengukuran (MHz)</i>	<i>Pergeseran BW Hasil Pengukuran Terhadap Hasil Simulasi (%)</i>
1	890	570	35.9
2	540	1630	202
3	590	2120	259
4	970	540	44.3

Dari tabel 3-1 di atas dapat diamati, *bandwidth* pada frekuensi operasi 3 GHz yang diperoleh melalui proses simulasi dan proses pengukuran. Hasil pengukuran terhadap hasil simulasi untuk *port* 1 mengalami pergeseran frekuensi dan penyusutan *bandwidth* sebanyak 35.9 %, untuk *port* 2 mengalami pergeseran frekuensi dan peningkatan *bandwidth* sebanyak 202 %, untuk *port* 3 mengalami pergeseran frekuensi dan peningkatan *bandwidth* sebanyak 259 %, untuk *port* 4 mengalami pergeseran frekuensi dan penyusutan *bandwidth* sebanyak 44.3 %.

Penggunaan teknik EBG dengan melubangi lapisan *ground plane* selain dapat meningkatkan angka *bandwidth* juga dapat menyebabkan terjadinya *scattering* (hamburan) sehingga memungkinkan terjadinya *loss* yang besar. Terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran, seperti pergeseran frekuensi serta peningkatan dan penurunan angka *bandwidth* disebabkan oleh nilai permitivitas bahan yang digunakan (*epoxy fr4*) tidak selalu tepat bernilai 4.4.

B. Grafik Phase Butler matrix 4x4

Empat buah titik *input* yang terdapat pada *butler matrix* 4x4, menyebabkan adanya 4 buah *output* dari masing-masing masukan. Dengan desain *butler matrix* yang disertai dengan *delay line* maka dapat menghasilkan *phase* yang berbeda-beda. Grafik *phase butler matrix* 4x4 ditampilkan pada Gambar 3.5 di bawah ini :



Gambar 3.5 Grafik Phase Port Masukan ke Port Keluaran

Pada Gambar 3.5 di atas dapat diamati terdapat dua pasang kurva yang masing-masingnya hampir sama bentuk dan nilainya. *Output phase* dari *port 1* menyerupai *output* dari *port 4*, dan *output phase* dari *port 2* menyerupai *output* dari *port 3*. Hal tersebut disebabkan oleh bentuk saluran *butler matrix* antara *port 1* dengan *port 4* yang memiliki kesamaan begitu pula bentuk dari *port 2* dengan *port 3*.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dirancang sebuah *butler matrix* 4x4 dengan teknik EBG. Parameter yang dicapai ialah nilai *return loss* di bawah -10 dB pada rentang frekuensi 2GHz - 4GHz (*S-band*) dengan frekuensi operasi pada 3 GHz dan *bandwidth* > 500 MHz. Peningkatan *bandwidth* yang terjadi sampai dengan 259 % yang merupakan efek dari pemberian *holes* (*Perforated Band Gap* dari teknik EBG) pada lapisan *ground plane butler matrix*. *Butler matrix* memenuhi kriteria teknologi *wideband* dan dapat diaplikasikan pada sistem radar *S-Band*.

B. Saran

Penelitian ini masih memerlukan proses optimasi agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal dan apabila memungkinkan agar dapat diimplementasikan secara *real*. Beberapa parameter lain dapat dikembangkan di kemudian hari sehingga penelitian mengenai *butler matrix* 4x4 dapat memberikan hasil yang lebih optimal dan bermanfaat secara umum di masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Internasional Telecommunication Union (ITU-R)*, Appendix 3 (Rev.WRC-03), edisi 2004.
- [2] Yuli Kurnia Ningsih, "A Non Linear Wideband Microstrip 3dB Hybrid Coupler and Its Application in the Wideband Butler Matrix for X-Band Multi Beams Antenna", Electrical Enggineering Department University of Indonesia, Juli 2011.
- [3] Nedil, M.; Habib, AM; Denidni, TA, "Novel Ultra Wideband CB-CPW Butler matriks", INR-EMT, Montreal, QC - San Diego, CA, IEEE, September 2008.
- [4] Menon,S.K.; Lethakumary,B.; Aanandan,C.K.; Vasudevan,K.; Mohanan,P.; "A Novel EBG Structured Ground Plane For Microstrip Antennas ", Centre for Res. in Electromagn. & Antennas, Cochin Univ. of Sci. & Technol., India , IEEE, December 2005.
- [5] Rui-xin Wu; Xin-yi Ji ; Ri-feng Chen ; Yin Poo ; " A Novel Microstrip Coupler With EBG Structure ", Dept. of Electron. Sci. & Eng., Nanjing Univ., Nanjing . IEEE, May 2009