

PERANCANGAN BUTLER MATRIKS 4X4 UNTUK PENGARAHAN BERKAS ANTENA PADA STASIUN BUMI

Christian Mahardhika¹⁾, Bambang Setia Nugroho²⁾, Budi Syihabuddin³⁾

^{1),2),3)} Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

Email: christian.mahardhika@gmail.com

Abstrak. Sistem komunikasi satelit adalah sistem komunikasi yang efektif untuk negara seperti Indonesia yang berbentuk kepulauan. Pada komunikasi satelit tentunya diperlukan stasiun bumi untuk berkomunikasi dari segmen angkasa. Stasiun bumi memerlukan pengarahan antenna agar SNR tetap terjaga. Sementara ini sistem tracking satelit masih menggunakan motor sebagai penggerak antenna. Semakin besar dimensi antenna, maka semakin besar pula daya/arus yang dibutuhkan oleh motor. Untuk mengubah arah pola radiasi antenna dapat dengan cara mengubah amplitudo catuan, jarak antenna, dan fasa catuan. Pada penelitian ini digunakan metode mengubah fasa catuan sebagai pengubah arah pola radiasi antenna. Butler matrix adalah rangkaian microwave yang memiliki N masukan dan N keluaran yang digunakan dalam beamforming dan switch beam pada susunan antenna linear maupun sirkular. Butler matriks yang dirancang bekerja pada frekuensi 2,3 – 2,45 GHz. Pada hasil simulasi yang didapat, fasa yang dihasilkan sebesar -66.49; -121.126; 30.961; -25.237. Dengan S_{11} dibawah -10 dB dan insertion loss (S_{51} = -7.399 dB; S_{61} = -7.402 dB; S_{71} = -7.88 dB; S_{81} = -4.491 dB) diatas -8 dB. Serta isolasi port yang dihasilkan (S_{21} = -12.311 dB; S_{31} = -16.559 dB; S_{41} = -22.224 dB) dibawah -11 dB.

Kata kunci: Stasiun Bumi, Beamforming, Butler Matrix, Switch Beam

1. Pendahuluan

Mengubah amplitudo catuan, jarak antenna, dan fasa catuan antenna dapat mengubah pola radiasi pada antenna susunan [1]. Dengan menggunakan butler matriks untuk mengubah fasa catuan merupakan salah satu cara dari banyaknya metode mengubah fasa. Butler matrix memiliki $N \times N$ port masukan dan keluaran, sehingga untuk merubah input pada satu port menjadi beberapa port, diperlukan pembagi daya dari satu port ke N port. Power Divider digunakan untuk mengatur input catuan dari butler matriks yang telah dilakukan pada penelitian [2]. Untuk mengatur fasa, masukan dari power divider diatur menggunakan switch logika 1 dan 0 untuk mengatur fasa input Antena. Penelitian [3] membuat antenna cerdas pada band ISM menggunakan butler matriks 4x4. Berdasar riset-riset tersebut maka pola radiasi antenna dapat diubah-ubah baik azimuth maupun elevasi.

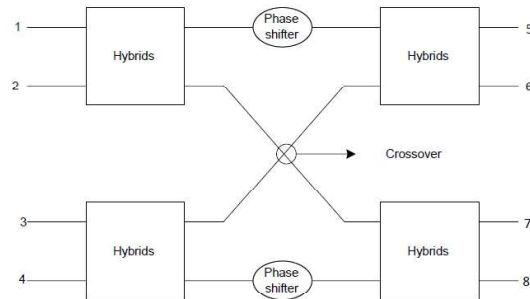
Tujuan dari penelitian ini untuk merancang sebuah butler matriks 4x4 dengan perbedaan fasa masing-masing port keluaran sehingga dapat digunakan sebagai pengarahan berkas antenna pada sistem *Tracking, Telemetry & Command* (TT&C) untuk nano satelit yang sudah diawali dengan penelitian [2] dan akan di nantinya agar dapat diuji dengan antenna yang telah didahului oleh penelitian [4]. Pada penelitian ini perubahan pola radiasi antenna menggunakan perubahan fasa, maka rotator tidak diperlukan sebagai pengarah/penggerak antenna untuk mengubah pola radiasi [5]. Untuk mengetahui perubahan pola radiasi, menggunakan prinsip dari antenna susunan (*array*) yang dapat diubah pada parameter jarak antar antenna, arus catu antenna serta fasa catu antenna [6].

Butler matriks bekerja pada frekuensi 2.3-2.45 GHz sesuai dengan alokasi frekuensi amatir radio di S-Band [7]. Frekuensi tersebut, TT&C dapat diaplikasikan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan [8] tentang modul TT&C untuk satelit komunikasi mini pada orbit LEO (Low Earth Orbit).

2. Pembahasan

2.1. Butler matriks

Butler Matrix adalah rangkain microwave yang memiliki N masukan dan N keluaran yang digunakan dalam *beamforming* dan switched beam pada susunan antenna linier maupun sirkular. *Butler Matrix* merupakan salah satu pencatu yang menghasilkan banyak arah berkas, dimana pengkopel hybrid 90° merupakan komponen utamanya. Adapun penyusun Butler Matrix selain hybrid 90° adalah *crossover* dan phase shifter/penggeser fasa.[9]

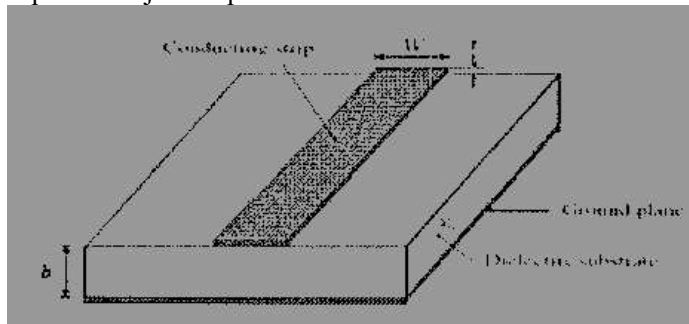


Gambar 1 Blok Diagram Conventional Butler Matrix 4x4

Pada umumnya desain Butler Matrix 4x4 menggunakan 2 buah crossover, yang terletak ditengah dan pada port keluaran. Namun pada tugas akhir ini akan dirancang Butler Matrix 4x4 dengan menghilangkan satu buah crossover pada port keluaran. Tujuan menghilangkan crossover yang terletak pada port keluaran adalah untuk memperkecil dimensi Butler Matrix 4x4 dan memperkecil rugi-rugi. Namun hal ini menyebabkan urutan port akan berubah, yaitu port 6 akan berubah menjadi port 7 begitupun sebaliknya.

2.2. Saluran Mikrostrip

Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah *strip* dengan lebar w dan bidang pentanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) dengan tinggi h seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Saluran Mikrostrip[11]

Berikut ini merupakan beberapa referensi perhitungan dari parameter yang terdapat pada saluran mikrostrip[11]:

- a. Panjang gelombang

Panjang gelombang dalam saluran dengan konstanta dielektrik ϵ_r adalah seperi persamaan 2.1 berikut ini:

$$\lambda_d = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

- b. Konstanta dielektrik efektif

Konstanta dielektrik efektif dapat ditunjukan dengan persamaan 2.2 (ketika $W/d \geq 1$) dan 2.3 (ketika $W/d \leq 1$)

Konstanta dielektrik efektif nilainya adalah $1 < \epsilon_e < \epsilon_r$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}} \quad W/d \geq 1 \quad (2.2)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}} + 0.04 \left(1 + \frac{W}{h} \right)^2 \right) \quad W/d < 1$$

c. Rasio W/d

Rasio W/d dapat diperoleh dengan persamaan 2.3

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \frac{W}{d} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \frac{W}{d} > 2 \end{cases} \quad (2.3)$$

dengan

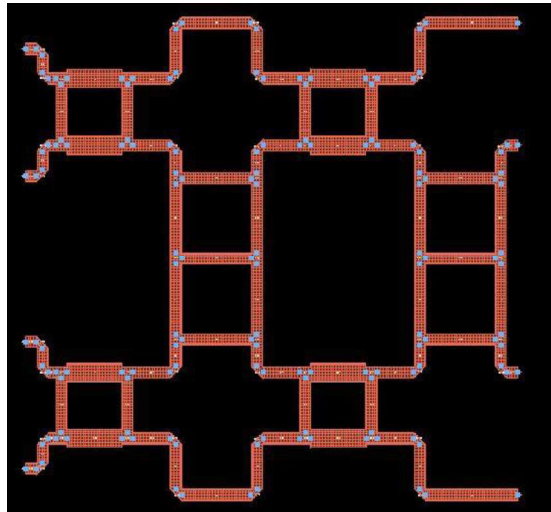
$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.4)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.5)$$

dimana ϵ_r adalah konstanta dielektrik bahan yang tergantung dari substrat yang digunakan 180° .

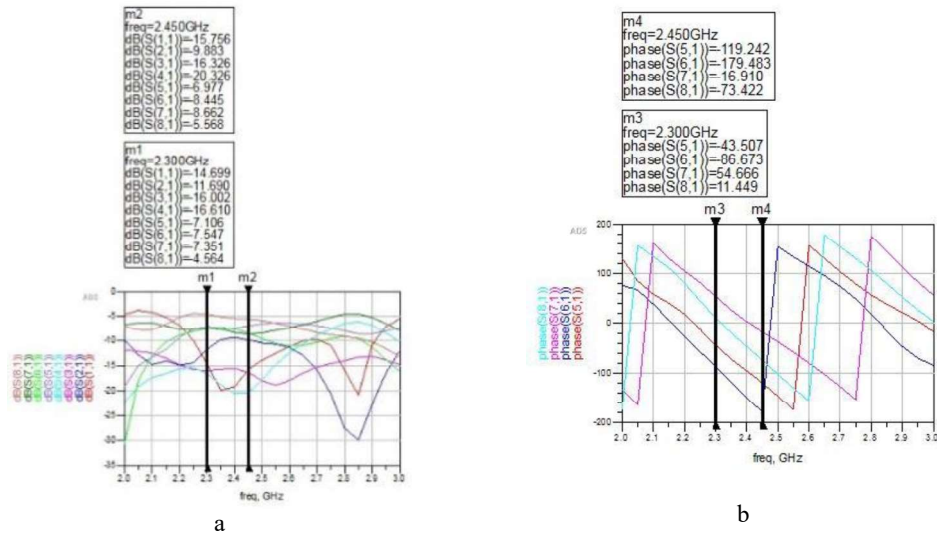
2.3. Hasil Simulasi

Butler matriks disimulasikan menggunakan simulator dan dihasilkan rancangan seperti pada gambar 3.



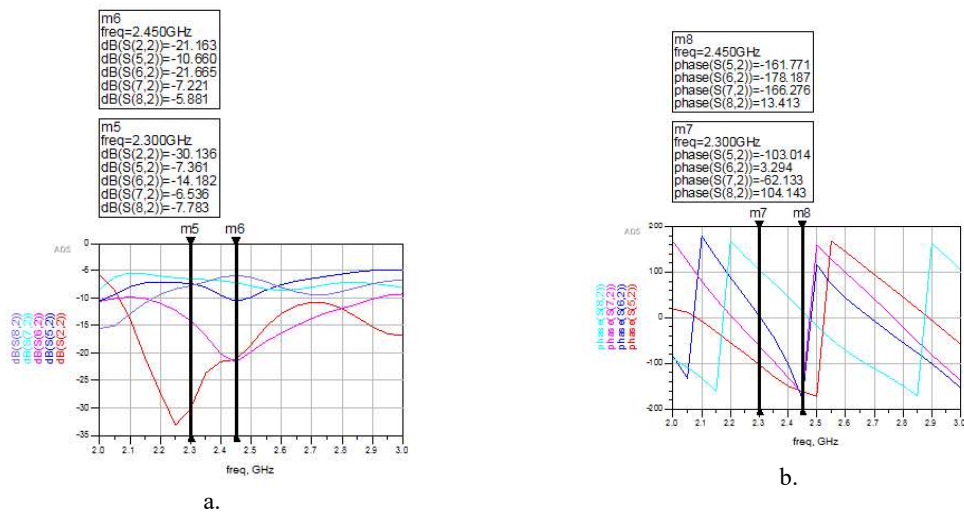
Gambar 3. Simulasi Butler Matriks

Gambar 4a menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam desibel. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, *return loss* (S11) dan *isolation loss* (S21; S31; S41) berada pada -10dB. Untuk *insertion loss* (S51; S61; S71; S81) berada diatas -9 dB. Gambar 4b menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam fasa s-parameter. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, S51; S61; S71; S81 memiliki perbedaan fasa sebesar $\pm 45^\circ$.



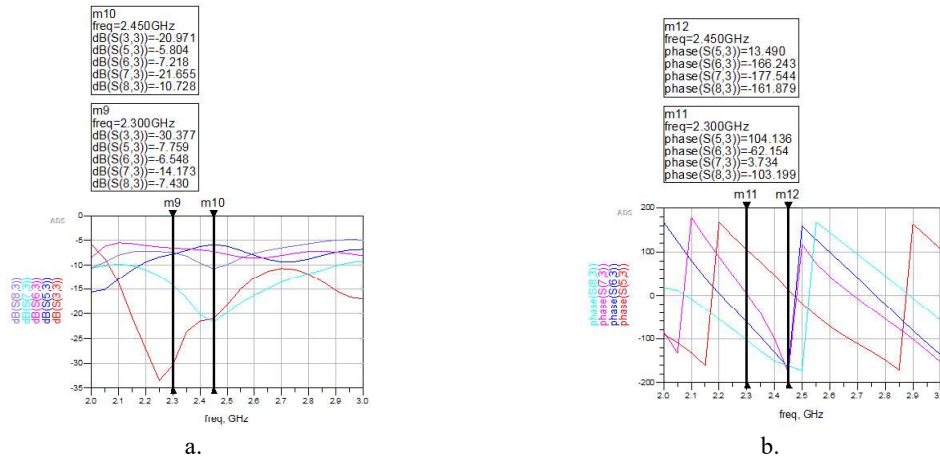
Gambar 4. Hasil Simulasi Butler Matirks (ketika port 1 dicatu) (a. S-parameter dalam dB; b. S-parameter dalam fasa)

Gambar 5a menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam desibel. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, *return loss* (S22) berada dibawah -10 dB. Untuk *insertion loss* (S52; S72; S82) berada diatas -9 dB kecuali S62 berada dibawah -9 dB. Gambar 7b menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam fasa s-parameter. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, S52; S62; S72; S82 memiliki perbedaan fasa sebesar $\pm 45^\circ$. Kecuali pada frekuensi 2.45 GHz fasa *output* saling berhimpit



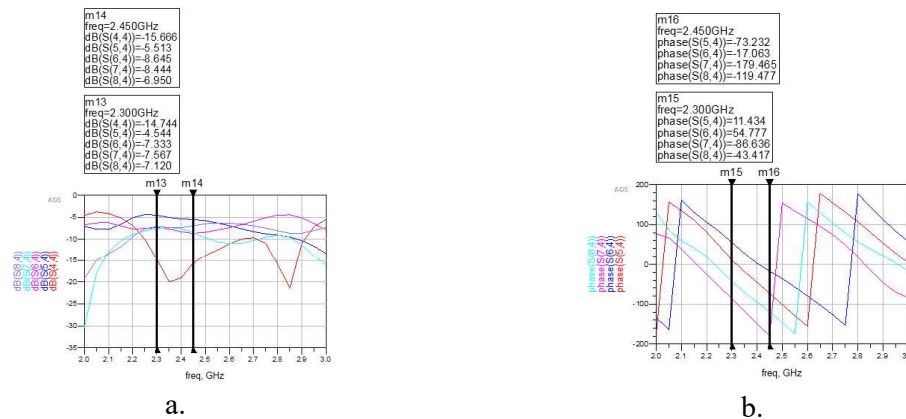
Gambar 5. Hasil Simulasi Butler Matirks (ketika port 2 dicatu) (a. S-Parameter dalam dB; b. S-parameter dalam fasa)

Gambar 6a menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam desibel. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, *return loss* (S33) berada dibawah -10 dB. Untuk *insertion loss* (S53; S63; S83) berada diatas -9 dB kecuali S73 berada dibawah -9 dB. Gambar 8b menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam fasa s-parameter. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, S53; S63; S73; S83 memiliki perbedaan fasa sebesar $\pm 45^\circ$. Kecuali pada frekuensi 2.45 GHz fasa *output* saling berhimpit



Gambar 6. Hasil Simulasi Butler Matirks (ketika port 3 dicatu) (a. S-Parameter dalam dB; b. S-parameter dalam fasa)

Gambar 7a menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam desibel. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, *return loss* (S44) berada dibawah -10dB. Untuk *insertion loss* (S54; S64; S74; S84) berada diatas -9 dB. Gambar 9b menunjukkan hasil simulasi butler matriks dalam fasa s-parameter. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2.3 – 2.45 GHz, S54; S64; S74; S84 memiliki perbedaan fasa sebesar $\pm 45^\circ$.



Gambar 7. Hasil Simulasi Butler Matirks (ketika port 4 dicatu) (a. S-Parameter dalam dB; b. S-parameter dalam fasa)

3. Simpulan

Penelitian ini telah menghasilkan simulasi sebuah butlermatriks 4x4 yang bekerja pada frekuensi 2.3GHz – 2.45GHz. Butlermatriks ini difungsikan sebagai penggeser fasa catu pada antenna stasiun bumi. *Insertion loss* tiap port yang dihasilkan adalah diatas -9 dB dan *return loss* dibawah -10 dB. Serta dihasilkan perbedaan fasa output antar port berkisar $\pm 45^\circ$

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Telkom melalui skema Penelitian Dana Internal-.

Daftar Pustaka

- [1] J. D. Kraus, "Antennas for all Applications 2nd Ed John D kraus.pdf." TATA MacGRAW-HILL, New Delhi, 1997.
- [2] C. Mahardika, B. S. Nugroho, B. Syihabuddin, A. D. Prasetyo, and A. P. Divider, "Modified Wilkinson Power Divider 1 to 4 at S-Band," *Int. Conf. Control. Electron. Renew. Energy, Commun. 2016 (ICCEREC 2016)*, pp. 5–8, 2016.
- [3] M. A. Eleiwa, "Design and Implementation of a Smart Antenna Using Butler Matrix for ISM-band," *Prog. Electromagn. Res. Symp.*, pp. 1–5, 2009.

- [4] C. Mahardhika, K. J. Sinaga, and M. Arsyad, “Analisis Perubahan Fasa Terhadap Pola Radiasi untuk Pengarahan Berkas Antena Stasiun Bumi,” *RETII*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2016.
- [5] R. S. Anggara, H. Wijanto, A. D. Prasetyo, and B. Syihabuddin, “Automated Ground Station with Customized Rotator for Antenna Pointing using Compass Sensor,” no. November, pp. 59–64, 2014.
- [6] C. a. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. Arizona: A JOHN WILEY & SONS, INC, 2012.
- [7] K. Umum, K. Kepolisian, Republik Indonesia, and S. D. Postel, *Organisasi amatir radio indonesia*, no. 21. Indonesia, 2009, pp. 1–9.
- [8] G. Roeper and R. Goldsmith, “MINIATURE TT&C MODULE FOR SMALL SATELLITES IN LOW EARTH ORBITS,” *5th ESA Int. ...*, no. September, pp. 21–23, 2010.
- [9] Y. KURNIA NINGSIH, “Pengkopel Gybrid 3dB Mikrostrip non Linier Pita Lebar dan Aplikasinya pada Butler Matriks untuk Antena dengan Banyak Arah Berkas pada x-band,” *Univ. Indones.*, 2011.
- [10] M. Nur Kamila, Dr. Bambang Setia Nugroho, Budi Syihabuddin, ST., “07_RETII 2015 Paper Nur Kamila,” *RETII*, 2015.
- [11] M. D. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2012.