



Matching Impedansi Untuk Optimasi Bandwidth Dengan Metode Transformator Chebyshev Multisection

Nadia Fitriana Latifah¹, Agus D. Prasetyo², Budi Syihabuddin³

^{1, 2, 3} Fakultas Teknik Elektro/Universitas Telkom, Bandung, Indonesia

e-mail : nadialatifah15@gmail.com

Abstrak— Teknologi *ultra wideband* (UWB) berpengaruh pada komunikasi nirkabel karena mempunyai kecepatan data yang tinggi dan *bandwidth* pancaran sinyalnya melebihi 500 MHz atau 20% dari frekuensi tengahnya. Antena mikrostrip merupakan pendukung dari perkembangan komunikasi nirkabel, akan tetapi antena mikrostrip memiliki kelemahan salah satu kelemahannya yaitu *bandwidth* yang dihasilkan sempit. Untuk memperlebar *bandwidth* antena mikrostrip dapat menggunakan metode transformator *Chebyshev Multisection*. Metode ini dapat mengoptimalkan *bandwidth* dari hasil *ripple* pada daerah *passband*. Peningkatan *bandwidth* dihasilkan dari besarnya *ripple* selama melewati *passband matching*. Di samping itu penggunaan jumlah *section* pada transformator *Chebyshev* mempengaruhi besarnya *bandwidth* yang dihasilkan. Semakin banyak *section* yang digunakan maka *bandwidth* semakin lebar. Hal ini dikarenakan koefisien pantul yang dihasilkan semakin kecil karena terbagi di masing-masing *section*. Selain itu penggunaan *section* yang banyak dapat menghasilkan VSWR kecil, saluran transmisi semakin *matching*, dan impedansi karakteristik yang dihasilkan mendekati nilai impedansi sumber dan beban. Pada *paper* ini dilakukan optimasi pelebaran *bandwidth* dengan frekuensi tengah 5,5 GHz, impedansi sumber 50 Ω dan beban 400 Ω . Besarnya *bandwidth* yang diperoleh dengan penggunaan 2 *sections* pada transformator *Chebyshev* adalah 2,159 GHz, 3 *sections* 3,936 GHz, dan 4 *sections* 5,255 GHz. Pelebaran *bandwidth* antena mikrostrip dengan menggunakan metode transformator *Chebyshev multisection* dapat dikategorikan sebagai teknologi UWB karena syarat dari UWB yaitu dapat menghasilkan *bandwidth* lebih dari 500 MHz atau 20% dari frekuensi tengahnya.

Kata Kunci— UWB, *matching* impedansi, *bandwidth*, transformator *Chebyshev multisection*, antena mikrostrip.

I. PENDAHULUAN

Sistem radio UWB merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang menyediakan komunikasi jarak pendek (4 – 10 meter), dengan daya keluaran rendah dan kecepatan data yang tinggi hingga 1 Gbps untuk pita frekuensi 3,1 – 10,6 GHz [1]. UWB sebelumnya dikenal sebagai *pulse radio*, tetapi *Federal Communication Commission* (FCC) dan *International Telecommunication Union Radiocommunication Sector* (ITU-R) mendefinisikan UWB sebagai transmisi antena yang *bandwidth* sinyal pancarannya melebihi 500 MHz atau 20% dari frekuensi tengahnya [2] [3]. UWB sudah banyak digunakan dalam bidang telekomunikasi antara lain, antena UWB *monopole* untuk komunikasi otomotif [4], antena UWB dengan pita *single notch* untuk *Wireless Local Area Network* (WLAN) *environment* [5], antena *miniaturized* UWB untuk *Wireless Body Area Network* (WBAN) [6], dan antena *grid array* UWB untuk sensor radar otomotif [7].

Teknologi nirkabel didukung oleh perkembangan antena mikrostrip yang memiliki kelebihan seperti, bentuknya kecil, mudah difabrikasi, dan dapat diaplikasikan pada gelombang mikro. Namun, antena mikrostrip memiliki kelemahan salah satunya yaitu *bandwidth* yang sempit. Hal

ini dikarenakan tidak adanya *matching* impedansi yang cocok untuk saluran transmisi sehingga koefisien pantul yang dihasilkan sangat besar [8] [9] [10]. Untuk meningkatkan *bandwidth* dapat menggunakan transformator *Chebyshev multisection*. Peningkatan *bandwidth* transformator *Chebyshev* dihasilkan dari besarnya nilai *ripple* selama melewati *passband matching* [11].

Dalam penelitian ini dilakukan optimasi pelebaran *bandwidth* terhadap perubahan jumlah *section* pada transformator *Chebyshev* dengan frekuensi tengah (f_0) 5,5 GHz, impedansi sumber (Z_0) 50 Ω dan impedansi beban (Z_L) 400 Ω . Peningkatan jumlah *section* pada transformator *Chebyshev* dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar dibandingkan dengan penggunaan jumlah *section* yang sedikit.

II. TRANSFORMATOR *CHEBYSHEV MULTISECTION*

Transformator *Chebyshev multisection* mampu mengoptimalkan *bandwidth* dari hasil riak (*ripple*) pada daerah *passband*. Peningkatan *bandwidth* transformator *Chebyshev* dihasilkan dari besarnya nilai *ripple* selama melewati *passband matching*. Dengan menekan bagian respon *passband* mampu menghasilkan *bandwidth* yang jauh lebih baik daripada transformator binomial. Transformator *Chebyshev* didesain dengan cara menyamakan $\Gamma(\theta)$ dengan polinomial *Chebyshev* untuk memperoleh nilai koefisien pantul [11] [12].

A. Polinomial *Chebyshev*

Orde ke- n dari polinomial *Chebyshev* dengan derajat n , dilambangkan dengan $T_n(x)$. Dengan menggunakan polinomial *Chebyshev* maka dapat didesain *matching network* dengan koefisien pantul yang dapat meningkatkan lebar *bandwidth*. Berikut bentuk persamaan dari empat polinomial *Chebyshev* pertama [11] [13] [14]:

$$T_1(x) = x \quad (2.1a)$$

$$T_2(x) = 2x^2 - 1 \quad (2.1b)$$

$$T_3(x) = 4x^3 - 3x \quad (2.1c)$$

$$T_4(x) = 8x^4 - 8x^2 + 1 \quad (2.1d)$$

Untuk orde polinomial yang lebih tinggi menggunakan persamaan berikut:

$$T_n(x) = 2 \times T_{n-1}(x) - T_{n-2}(x) \quad (2.2)$$

Dengan menggunakan polinomial *Chebyshev* memberikan solusi untuk transformator *traditional* yang tidak mampu memberikan *bandwidth* yang lebar [14]. Apabila $x = \cos \theta$ untuk $|x| < 1$. Polinomial *Chebyshev* dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [11]:

$$T_n(x) = \cos(n \cos^{-1} x) \quad ; \text{ untuk } |x| < 1 \quad (2.3)$$

$$T_n(x) = \cosh(n \cos^{-1} x) \quad ; \text{ untuk } x > 1 \quad (2.4)$$

Untuk mendapatkan *ripple* yang sama pada respons *passband*, harus memetakan θ_m menjadi $x = 1$ dan $\pi - \theta_m$ menjadi $x = -1$. Dalam hal ini, θ_m dan $\pi - \theta_m$ merupakan tepi atas dan tepi bawah dari *passband* [11], sehingga $\cos \theta$ dapat diganti dengan $\cos \theta / \cos \theta_m$ [13].

$$T_n\left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_m}\right) = T_n(\sec \theta_m \cos \theta) = \cos n \left[\cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_m} \right) \right] \tag{2.5}$$

Lalu $|\sec \theta_m \cos \theta| \leq 1$ untuk $\theta_m < \theta < \pi - \theta_m$, maka $|T_n(\sec \theta_m \cos \theta)| \leq 1$. Karena $\cos n\theta$ dapat dinyatakan ke dalam bentuk persamaan $\cos(n - 2m)\theta$. Dengan mensubstitusikan $x = \sec \theta_m \cos \theta$ ke dalam persamaan polinomial *Chebyshev*, maka bentuk persamaan dari empat polinomial *Chebyshev* pertama dapat dinyatakan sebagai berikut [11] [13] [14]:

$$T_1(\sec \theta_m \cos \theta) = \sec \theta_m \cos \theta \tag{2.6a}$$

$$T_2(\sec \theta_m \cos \theta) = \sec^2 \theta_m (1 + \cos 2\theta) - 1 \tag{2.6b}$$

$$T_3(\sec \theta_m \cos \theta) = \sec^3 \theta_m (\cos 3\theta + 3\cos \theta) - 3\sec \theta_m \cos \theta \tag{2.6c}$$

$$T_4(\sec \theta_m \cos \theta) = \sec^4 \theta_m (\cos 4\theta + 4\cos 2\theta + 3) - 4\sec^2 \theta_m (\cos 2\theta + 1) + 1 \tag{2.6d}$$

B. Desain Transformator Chebyshev

Dasar dari pengembangan metode *matching* untuk transformator *multisection* adalah suatu sirkuit yang disebut sebagai transformator seperempat gelombang. Sirkuit ini mempresentasikan saluran transmisi yang terhubung dengan impedansi Z. Sirkuit ini sangat berguna untuk *matching* impedansi beban ke saluran transmisi dan dapat menunjukkan adanya gelombang berdiri yang menyebabkan saluran transmisi menjadi *mismatch*. Fitur lain dari tipe sirkuit ini dapat diperluas menjadi desain *multisection* untuk menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar [13]. Perancangan transformator *Chebyshev equal ripple* pada *passband* dilakukan dengan membandingkan $\Gamma(\theta)$ dengan $T_N(\sec \theta_m \cos \theta)$, N adalah jumlah tingkatan impedansi pada transformator. Apabila terdapat sejumlah N susunan linier dengan jarak yang konstan antarelelemen, maka dapat direpresentasikan dalam bentuk persamaan berikut [11] [13] [14]:

$$\Gamma(\theta) = 2e^{-jN\theta} [\Gamma_0 \cos N\theta + \Gamma_1 \cos(N-2)\theta + \dots + \Gamma_n \cos(N-2n)\theta + \dots + G(\theta)] \tag{2.7}$$

$$\Gamma(\theta) = Ae^{-jN\theta} T_N(\sec \theta_m \cos \theta) \tag{2.8}$$

dengan [13] :

$$G(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{2} \Gamma_{N/2} & ; \text{ untuk } N \text{ genap} \\ \Gamma\left(\frac{N-1}{2}\right) & ; \text{ untuk } N \text{ ganjil} \end{cases} \tag{1.9}$$

Dari persamaan (2.7) dan (2.8) didapatkan bentuk fungsi *Chebyshev*, maka nilai koefisien pantul dapat dihitung dengan menyamakan bentuk fungsi *Chebyshev* terhadap $\cos n\theta$. Jika *magnitude* koefisien pantul maksimum di daerah *passband* adalah Γ_m , maka dari persamaan (2.8) $\Gamma_m = |A|$ karena nilai maksimum $T_n(\sec \theta_m \cos \theta)$ pada *passband* merupakan *unity* [11].

Gabungan koefisien pantul dari setiap *section* menentukan hasil impedansi karakteristik *multisection*, sehingga apabila koefisien pantul terbagi sama di setiap *section* maka setiap *section* tersebut memiliki impedansi karakteristik yang sama [14].

Dari persamaan (2.4) dan pendekatan pada persamaan (2.6), maka untuk menentukan θ_m dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\sec \theta_m = \cosh \left[\frac{1}{N} \cosh^{-1} \left(\frac{\ln Z_L / Z_0}{2\Gamma_m} \right) \right] \quad (2.10)$$

Setelah θ_m diketahui, maka *bandwidth* fraksional dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = 2 - \frac{4\theta_m}{\pi} \quad (2.11)$$

Apabila impedansi saluran transmisi tidak *matching* dengan impedansi beban dapat menimbulkan daya refleksi di saluran transmisi yang akan saling berinterferensi dengan daya maju. Interferensi ini dapat menghasilkan gelombang berdiri yang kisaran besarnya tergantung dengan besarnya daya refleksi. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada gelombang berdiri di suatu saluran transmisi. Rentang nilai VSWR adalah 1 sampai tak hingga. Nilai VSWR yang besar mengakibatkan semakin besarnya *mismatch* saluran transmisi dan nilai VSWR yang kecil menjadikan saluran transmisi semakin *matching*. Besarnya VSWR sangat ditentukan oleh koefisien pantul (Γ) di sepanjang saluran transmisi, yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [15] [16] [17]:

$$\Gamma = \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right| \quad (2.12)$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.13)$$

III. PARAMETER TRANSFORMATOR CHEBYSHEV

A. Spesifikasi Transformator Chebyshev Multisection

Dalam perancangan transformator *Chebyshev multisection* terdapat spesifikasi sebagai berikut:

- Frekuensi kerja (f_r) : 1 – 10 GHz
- Frekuensi tengah (f_0) : 5,5 GHz
- Impedansi saluran (Z_0) : 50 Ω
- Impedansi beban (Z_L) : 400 Ω
- Koefisien pantul (Γ_m) : 0,05
- Panjang *section* (ℓ) : $\lambda/4$



Gambar 1. Dimensi *Matching Impedansi* dengan Transformator *Chebyshev*

IV. PERANCANGAN DAN ANALISIS TRANSFORMATOR CHEBYSHEV

A. Perancangan Transformator Chebyshev 2 Sections

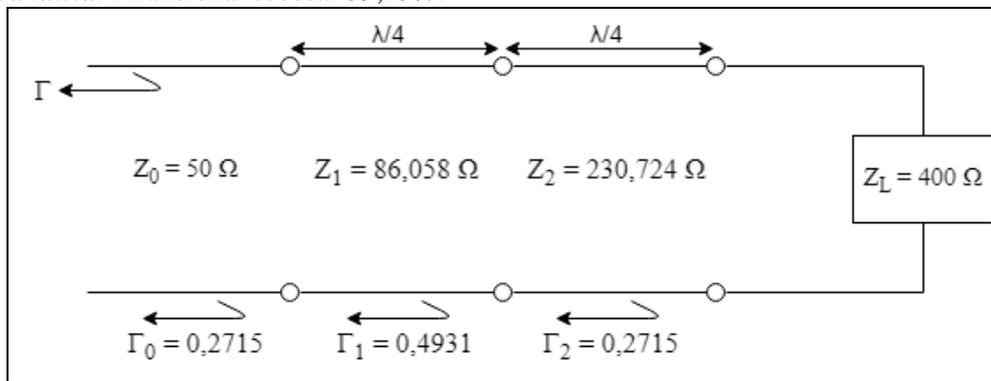
Dengan menggunakan persamaan (2.10) didapatkan nilai $\sec \theta_m = 3,301$ maka $\theta_m = 72,366^\circ$. Untuk mencari fungsi Chebyshev pada $N = 2$ digunakan persamaan (2.7) dan (2.8) sehingga didapatkan fungsi Chebyshev $2\Gamma_0 \cos 2\theta + \Gamma_1 = A \sec^2 \theta_m + A \sec^2 \theta_m \cos 2\theta - A$ maka nilai koefisien pantul dapat dihitung dengan menyamakan fungsi Chebyshev terhadap $\cos n\theta$. Apabila diasumsikan bahwa koefisien pantul sepanjang transformator adalah simetris, maka koefisien pantul tiap section adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Gamma_0 &= \Gamma_2 = 0,2715 \\ \Gamma_1 &= 0,4931 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai impedansi karakteristik tiap section adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n = 0 &\rightarrow \ln Z_1 = 2\Gamma_0 + \ln Z_0 \rightarrow Z_1 = 86,058 \Omega \\ n = 1 &\rightarrow \ln Z_2 = 2\Gamma_1 + \ln Z_1 \rightarrow Z_2 = 230,724 \Omega \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai bandwidth fraksional digunakan persamaan (2.11), sehingga diperoleh nilai bandwidth fraksional sebesar 39,25%.



Gambar 2. Dimensi Transformator Chebyshev 2 Sections

B. Perancangan Transformator Chebyshev 3 Sections

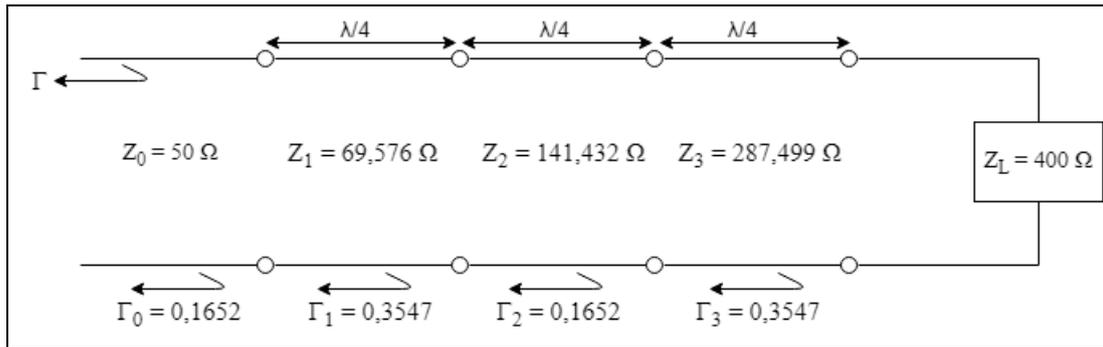
Dengan menggunakan persamaan (2.10) didapatkan nilai $\sec \theta_m = 1,876$ maka $\theta_m = 57,795^\circ$. Untuk mencari fungsi Chebyshev pada $N = 3$ digunakan persamaan (2.7) dan (2.8) sehingga didapatkan $2\Gamma_0 \cos 2\theta + 2\Gamma_1 \cos \theta = A \sec^3 \theta_m \cos 3\theta + 3A \sec^3 \theta_m \cos \theta - 3A \sec \theta_m \cos \theta$ maka nilai koefisien pantul dapat dihitung dengan menyamakan fungsi Chebyshev terhadap $\cos n\theta$. Apabila diasumsikan bahwa koefisien pantul sepanjang transformator adalah simetris, maka koefisien pantul tiap section adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Gamma_0 &= \Gamma_3 = 0,1652 \\ \Gamma_1 &= \Gamma_2 = 0,3547 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai impedansi karakteristik tiap section adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n = 0 &\rightarrow \ln Z_1 = 2\Gamma_0 + \ln Z_0 \rightarrow Z_1 = 69,576 \Omega \\ n = 1 &\rightarrow \ln Z_2 = 2\Gamma_1 + \ln Z_1 \rightarrow Z_2 = 141,432 \Omega \\ n = 2 &\rightarrow \ln Z_3 = 2\Gamma_2 + \ln Z_2 \rightarrow Z_3 = 287,499 \Omega \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai bandwidth fraksional digunakan persamaan (2.11), sehingga diperoleh nilai bandwidth fraksional sebesar 71,57%.



Gambar 3. Dimensi Transformator Chebyshev 3 Sections

C. Perancangan Transformator Chebyshev 4 Sections

Dengan menggunakan persamaan (2.10) didapatkan nilai $\sec \theta_m = 1,466$ maka $\theta_m = 47,007^\circ$. Untuk mencari fungsi Chebyshev pada $N = 4$ digunakan persamaan (2.7) dan (2.8) sehingga didapatkan fungsi sebagai berikut:

$$\leftrightarrow 2\Gamma_0 \cos 4\theta + 2\Gamma_1 \cos 2\theta + \Gamma_2 = A \sec^4 \theta_m \cos 4\theta + 4A \sec^4 \theta_m \cos 2\theta$$

$$+ 3A \sec^4 \theta_m - 4A \sec^2 \theta_m \cos 2\theta - 4A \sec^2 \theta_m + A$$

maka nilai koefisien pantul dapat dihitung dengan menyamakan fungsi Chebyshev terhadap $\cos n\theta$. Apabila diasumsikan bahwa koefisien pantul sepanjang transformator adalah simetris, maka koefisien pantul tiap section adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Gamma_0 &= \Gamma_4 = 0,1156 \\ \Gamma_1 &= \Gamma_3 = 0,2474 \\ \Gamma_2 &= 0,3136 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai impedansi karakteristik tiap section adalah sebagai berikut:

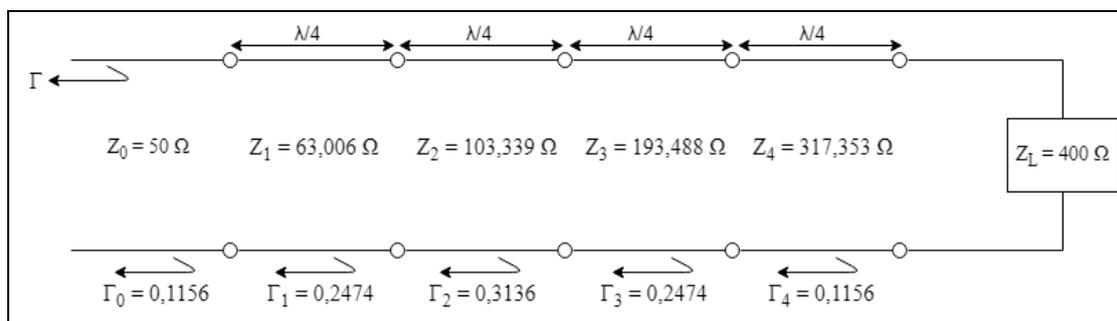
$$n = 0 \rightarrow \ln Z_1 = 2\Gamma_0 + \ln Z_0 \rightarrow Z_1 = 63,006 \Omega$$

$$n = 1 \rightarrow \ln Z_2 = 2\Gamma_1 + \ln Z_1 \rightarrow Z_2 = 103,339 \Omega$$

$$n = 2 \rightarrow \ln Z_3 = 2\Gamma_2 + \ln Z_2 \rightarrow Z_3 = 193,488 \Omega$$

$$n = 3 \rightarrow \ln Z_4 = 2\Gamma_3 + \ln Z_3 \rightarrow Z_4 = 317,353 \Omega$$

Untuk mencari nilai bandwidth fraksional digunakan persamaan (2.11), sehingga diperoleh nilai bandwidth fraksional sebesar 95,54%.

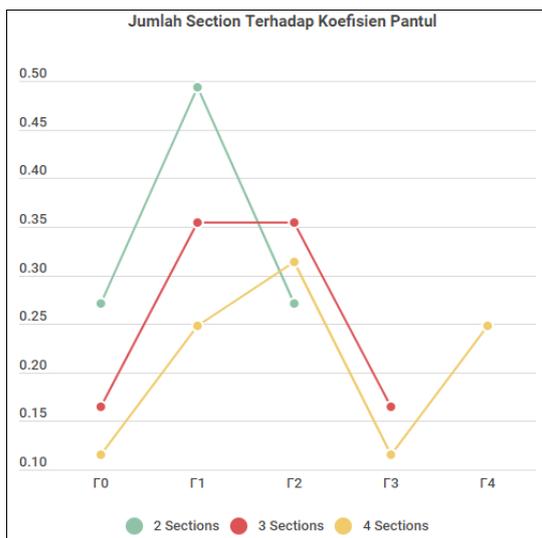


Gambar 4. Dimensi Transformator Chebyshev 4 Sections

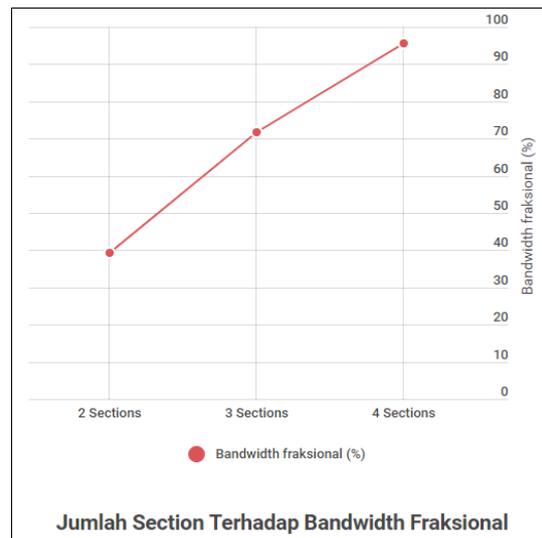
D. Analisis Capaian Spesifikasi Transformator Chebyshev

Pada transformator Chebyshev, jumlah section yang digunakan mempengaruhi besarnya bandwidth fraksional yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah section, maka bandwidth

fraksional semakin besar. Hal ini dikarenakan, koefisien pantul yang dihasilkan akan semakin kecil apabila jumlah *section* semakin banyak. Nilai koefisien pantul yang baik adalah sama dengan nol. Gambar 5. menunjukkan bahwa penggunaan empat *sections* mampu menghasilkan koefisien pantul mendekati nol. Apabila koefisien pantul yang dihasilkan mendekati atau sama dengan nol, maka VSWR semakin kecil. Semakin besar VSWR maka semakin besar pula *mismatch* dan semakin kecil VSWR maka saluran transmisi pada transformator *Chebyshev* semakin *matching*. Dengan menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13) penggunaan 2 *sections* menghasilkan VSWR sebesar 2,045; 3 *sections* sebesar 1,712; dan 4 *sections* sebesar 1,534. Jika suatu saluran transmisi semakin banyak jumlah *section* yang digunakan, maka di input saluran (sumber) VSWR yang dihasilkan semakin kecil. VSWR terbesar berada di beban, sedangkan VSWR terkecil berada di input saluran. Penggunaan jumlah *section* yang banyak akan menghasilkan sudut θ_m semakin kecil, maka *bandwidth* fraksional semakin besar karena saling berbanding terbalik terhadap sudut θ_m . Nilai *bandwidth* fraksional sebanding dengan nilai *bandwidth* terhadap frekuensi tengah (f_0), maka penggunaan 2 *sections* menghasilkan *bandwidth* sebesar 2,159 GHz, 3 *sections* sebesar 3,936 GHz, dan 4 *sections* sebesar 5,255 GHz. Pelebaran *bandwidth* antenna mikrostrip dengan menggunakan metode transformator *Chebyshev multisection* dapat dikategorikan sebagai teknologi UWB karena syarat dari UWB yaitu dapat menghasilkan *bandwidth* lebih dari 500 MHz atau 20% dari frekuensi tengahnya (1,1 GHz). *Bandwidth* yang dihasilkan dengan penggunaan 4 *sections* pada transformator *Chebyshev* lebih besar dibandingkan dengan syarat *bandwidth* teknologi UWB.



Gambar 5. Perbandingan Jumlah *Section* Terhadap Koefisien Pantul



Gambar 6. Perbandingan Jumlah *Section* Terhadap *Bandwidth* Fraksional

V. KESIMPULAN

Jumlah *section* pada transformator *Chebyshev* mempengaruhi besarnya *bandwidth* fraksional yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah *section* yang digunakan, maka koefisien pantul yang dihasilkan akan semakin lebih kecil karena koefisien pantul tersebut terbagi ke dalam masing-masing jumlah *section* yang digunakan, sehingga dapat menghasilkan *bandwidth* fraksional yang besar, VSWR yang kecil, dan saluran transmisi yang semakin *matching*. Semakin kecil koefisien pantul yang dihasilkan maka VSWR semakin bagus. Selain itu, penggunaan jumlah *section* yang banyak mampu menghasilkan impedansi karakteristik (Z_n) yang mendekati nilai impedansi sumber (Z_0) dan impedansi beban (Z_L). Penggunaan 2 *sections* pada transformator *Chebyshev* menghasilkan *bandwidth* fraksional sebesar 39,25%; 3 *sections* sebesar 71,75%; dan 4 *sections* sebesar 95,54%. Nilai *bandwidth* sebanding dengan *bandwidth* fraksional dan

frekuensi tengah, maka dengan menggunakan 2 *sections* pada transformator *Chebyshev* menghasilkan *bandwidth* sebesar 2,159 GHz, 3 *sections* sebesar 3,936 GHz, dan 4 *sections* sebesar 5,255 GHz. Transformator *Chebyshev Multisection* dapat meningkatkan lebar *bandwidth* pada antena mikrostrip dan dikategorikan sebagai teknologi UWB karena *bandwidth* yang dihasilkan lebih dari 500 MHz ataupun 20% dari frekuensi tengahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Singh, D. R. Phalswal, and V. Gahlaut, "A compact CPW-fed UWB antenna with dual band notch features," *Proc. - 2016 Int. Conf. Micro-Electronics Telecommun. Eng. ICMETE 2016*, pp. 61–65, 2017.
- [2] I. Sm, T. Itu, and R. Assembly, "Characteristics of ultra-wideband technology Annex 1 UWB terms , definitions and abbreviations," no. 2006, 2018.
- [3] M. Ghafari, P. Brennan, and M. Ghavami, "UWB power propagation for bio-medical implanted devices," *2015 17th Int. Conf. E-Health Networking, Appl. Serv. Heal. 2015*, pp. 483–487, 2015.
- [4] M. G. N. Alsath and M. Kanagasabai, "Compact UWB Monopole Antenna for Automotive Communications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 9, pp. 4204–4208, 2015..
- [5] S. Jacob and P. Mohanan, "UWB antenna with single notch-band for WLAN environment," 2011 IEEE Indian Antenna Week - Work. Adv. Antenna Technol. IAW 2011, pp. 4–7, 2011.
- [6] H. I. Hraga, C. H. See, R. A. Abd-Alhameed, and N. J. McEwan, "Miniaturised UWB antenna for a Wireless Body Area Network," *LAPC 2012 - 2012 Loughbrgh. Antennas Propag. Conf.*, no. November, pp. 3–6, 2012.
- [7] M. G. N. Alsath, L. Lawrance, and M. Kanagasabai, "Bandwidth-Enhanced Grid Array Antenna for UWB Automotive Radar Sensors," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 11, pp. 5215–5219, 2015.
- [8] R. C. Park, "Implementation of long microstrip line-fed antenna for WLAN applications," 2013 Int. Conf. Inf. Sci. Appl. ICISA 2013, pp. 6–7, 2013.
- [9] A. I. Semenikhin and D. V. Semenikhina, "Wideband compact microstrip antenna with capacitance microstrip feeding," 2012 15th Int. Symp. Antenna Technol. Appl. Electromagn. ANTEM 2012, pp. 3–5, 2012.
- [10] D. F. Mona, E. S. Sakomura, and D. C. Nascimento, "Microstrip-to-Probe Fed Microstrip Antenna Transition," 2018 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Usn. Natl. Radio Sci. Meet. APSURSI 2018 - Proc., pp. 1521–1522, 2018.
- [11] Pozar, David M., "Microwave Engineering," 4th Edition, University of Massachusetts: Jhon Wiley and Sons, 2012.
- [12] W. B. W. Alison, "Simplified Procedure for the Design of Multisection Chebyshev Quarterwave Transformers," *Electron. Lett.*, vol. 4, no. 16, pp. 331–332, 1968.
- [13] B. Lutovac, "Optimal chebyshev multisection matching transformer design in wipl-d." *EFT Journal of Electrical Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 80-92, 2016.
- [14] L. Wu and Z. Shi, "Research and improvement on chebyshev transformer in practical application," *IET Conf. Publ.*, vol. 2011, no. 586 CP, pp. 762–765, 2012.
- [15] T. Aoyagi, K. Takizawa, and H. Kurihara, "Numerical simulations for site VSWR with consideration of diffracted wave of pyramidal electromagnetic wave absorber," *cccc2012 Asia-Pacific Symp. Electromagn. Compat. APEMC 2012 - Proc.*, pp. 753–756, 2012.
- [16] R. Yuwono and A. I. Masukan, "Unjuk Kerja Antena UWB Egg Berdasarkan Dimensinya," vol. IV, no. 2, pp. 1–8, 2010.
- [17] A. M. Winzemer and A. M. Winzemer, "Methods for Obtaining the Voltage Standing-Wave Ratio on Transmission Lines Independently of the Detector Characteristics," *Proc. IRE*, vol. 38, no. 3, pp. 275–279, 1950.



Nadia Fitriana Latifah adalah mahasiswa aktif S-1 Teknik Telekomunikasi di Universitas Telkom angkatan 2016. Lahir di Klaten, 19 Mei 1997. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SD N 1 Ngawen, SMP N 4 Klaten, dan SMA N 2 Klaten. Saat ini, penulis aktif melakukan penelitian Tugas Akhir mengenai pelebaran *bandwidth* antena mikrostrip.