

BANDPASS FILTER HAIRPIN LINE DENGAN DUMBBELL DEFECTED GROUND STRUCTURE PADA RECEIVER eNodeB UNTUK LTE FDD 1.8 GHZ

THE HAIRPIN LINE BANDPASS FILTER WITH DUMBBELL DEFECTED GROUND STRUCTURE ON eNodeB RECEIVER FOR 1.8 GHZ FDD-LTE

Muhammad Fadhil¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³

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

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

¹fadhilbrt@student.telkomuniversity.ac.id, ²heroe@telkomuniversity.ac.id, ³yuyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Long Term Evolution (LTE) merupakan salah satu sistem seluler versi mutakhir saat ini yang bekerja pada band 3 (1800 MHz), yaitu LTE FDD pada 1710-1785 MHz untuk uplink dan 1805-1880 MHz untuk downlink, sesuai rekomendasi 3GPP. Untuk meloloskan sinyal pada frekuensi tersebut diperlukan perangkat bandpass filter. Pada penelitian ini, suatu bandpass filter dirancang, direalisasikan, dan dievaluasi untuk meloloskan frekuensi uplink pada band 3 untuk eNodeB LTE. Filter ini memerlukan slope yang tajam untuk memperkecil terjadinya interferensi pada frekuensi yang berdekatan. Filter dirancang menggunakan metode mikrostrip hairpin line dengan penambahan Dumbbell Defected Ground Structure dan menggunakan respon frekuensi Chebyshev dengan ripple 0.01 dB.

Dimensi filter yang dihasilkan adalah sebesar 80.43 mm × 48.34 mm dengan menggunakan jenis substrat Duroid RT-5880 ($\epsilon_r = 2.2$) dan mempunyai bandwidth sebesar 75 MHz. Pengukuran filter pada frekuensi tengah (1.7475 GHz) menghasilkan nilai insertion loss sebesar -2.027 dB, return loss sebesar -18.944 dB, VSWR sebesar 1.255, dan impedansi resonator sebesar 57.006 – 5.026j Ω . Kemudian pada frekuensi 1.8 GHz menghasilkan nilai stopband rejection sebesar -9.8994 dB.

Kata Kunci: Bandpass filter, hairpin line, Dumbbell Defected Ground Structure, Chebyshev-2, eNodeB LTE

Abstract

Long Term Evolution (LTE) is considered as one of today's latest cellular technologies which can be used by public, especially in Indonesia. One of the band frequencies used is band 3 (1.8 GHz) which the FDD-LTE band is at 1710-1785 MHz for the uplink and at 1805-1880 for the downlink and has been recommended by 3GPP. In order to pass the required frequency, it needs a device called bandpass filter. The study of this final project, a bandpass filter is designed, built, and evaluated to pass the required uplink frequency on the band 3 for eNodeB LTE. This filter type requires a sharp slope to minimize the interference from adjacent frequencies. This filter is designed using hairpin line method with Dumbbell Defected Ground Structure as an addition and Chebyshev with 0.01 dB ripple as the frequency response.

The resulting filter dimension is 80.43 mm x 48.34 mm using Duroid RT-5880 ($\epsilon_r = 2.2$) as the substrate and has a bandwidth of 75 MHz. The results of measurement at the middle frequency (1.7475 GHz) are -2.027 dB on the insertion loss, -18.944 dB on the return loss, 1.255 on the VSWR, and 57.006 – 5.026j Ω on the resonator impedance. The result of the stopband rejection at 1.8 GHz is -9.8994 dB.

Keyword : Bandpass filter, hairpin line, Dumbbell Defected Ground Structure, Chebyshev, eNodeB LTE

1. Pendahuluan

Long Term Evolution (LTE) merupakan salah satu layanan seluler terancang saat ini yang dapat dirasakan oleh masyarakat umum, terutama di Indonesia. LTE sendiri mempunyai kecepatan transfer rate mencapai 100 Mbps saat pengguna dalam keadaan bergerak secara cepat dan 1 Gbps saat pengguna bergerak secara pelan ataupun diam pada sisi downlink, dan mencapai 50 Mbps pada sisi uplink^[16]. Berdasarkan hal diatas pemerintah Indonesia telah mengatur regulasi frekuensi yang ada di Indonesia untuk pemakaian LTE pada pemancar radio. Salah satu pita frekuensi yang digunakan adalah band 3 (1.8 GHz) dimana pita LTE FDD tersebut terdapat di 1710-1785 MHz untuk uplink dan 1805-1880 MHz untuk downlink^[14], dimana peraturan ini telah dikeluarkan dan ditetapkan oleh Third Generation Partnership Project (3GPP) pada Release 8^[2]. Agar frekuensi yang diperlukan dapat diloloskan maka diperlukan sebuah perangkat yaitu filter.

Pada penelitian kali ini digunakan jenis filter yaitu Bandpass Filter untuk meloloskan frekuensi uplink pada band 3 (1710-1785 MHz). Fungsi dari bandpass filter ini adalah melewatkan frekuensi tertentu dengan meloloskan frekuensi yang diinginkan (passband) dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan (stopband). Filter ini memerlukan tingkat akurasi slope yang cukup tajam untuk memperkecil terjadinya interferensi pada frekuensi yang berdekatan, dan memiliki bandwidth mencapai 75 MHz. Bandpass filter ini dirancang menggunakan metoda hairpin line dengan penambahan metode Dumbbell Defected Ground Structure (DGS) yang diharapkan dapat menambah bandwidth transmisi. DGS adalah sebuah teknik dimana Ground Plane dimodifikasi secara sengaja untuk menambah performansi pada filter dengan cara menggabungkan sel-sel DGS dengan slot yang sempit, maka efektifitas dari kapasitansi dan induktansi di garis transmisi akan bertambah dengan menggunakan DGS yang berisi area terukir (terusak) yang lebar dan yang sempit^[8].

Jenis substrat yang digunakan adalah Rogers Duroid 5880 ($\epsilon_r = 2.2$). Perancangan filter ini menggunakan software HFSS Ansoft sebagai simulator dan ADS LineCalc sebagai software tambahan. Filter ini didesain menggunakan respon frekuensi *Chebyshev* dengan *ripple* 0.01 dB.

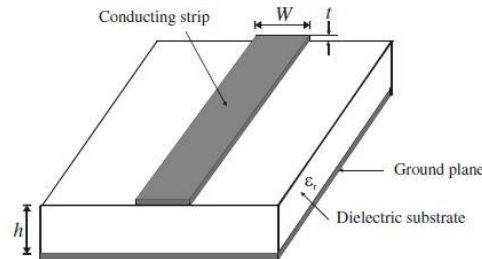
2. Dasar Teori

2.1 Filter

Filter adalah perangkat yang dirancang dengan kemampuan tertentu untuk dapat meloloskan sinyal yang diinginkan dengan frekuensi tertentu dan meredam sinyal diluar band frekuensi tersebut [15]. Jenis dari bandpass filter dibagi berdasarkan letak band frekuensinya, yaitu passband dan stopband. Passband adalah daerah frekuensi yang akan diloloskan oleh filter, sementara stopband adalah daerah frekuensi yang akan diredam (tidak diloloskan) oleh filter. Batas daerah passband ditandai oleh frekuensi cutoff (f_c), yaitu titik saat harga dayanya turun setengah dari harga daya sebelumnya atau sebesar -3 dB dari frekuensi passband [8].

2.2 Microstrip Line

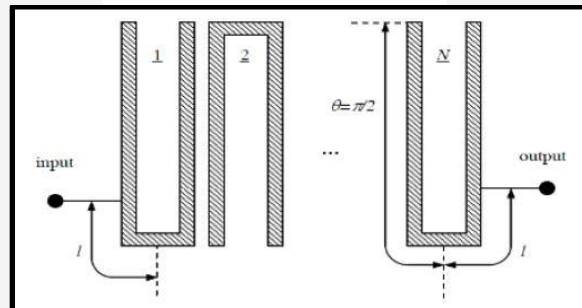
Microstrip merupakan salah satu media transmisi yang digunakan di dalam rangkaian microwave. Microstrip terdiri dari strip konduktor (microstrip line) dengan lebar (W) dan ketebalan (t) yang berada diatas substrat dielektrik yang mempunyai konstanta dielektrik relatif (ϵ_r), ketebalan (h), dan dibawah substrat terdapat konduktor ground plane [7]. Bentuk geometris dari microstrip dapat dilihat di gambar berikut:



Gambar 1 Bentuk geometric dari filter microstrip [6]

2.3 Filter Hairpin Line

Hairpin Filter adalah jenis filter yang mempunyai struktur resonator yang tersusun rapi. Filter ini mempunyai konsep yang didapat dengan lipatan resonator parallel-coupled, half-wavelength resonator filters menjadi bentuk “U”. Jenis bentuk resonator “U” ini yang disebut resonator hairpin [6]. Lipatan resonator ini penting dengan mengambil perkiraan pengurangan dari panjang coupled line, yang mana mengurangi kopling antara resonator. Begitu juga jika dua lengan masing-masing resonator Hairpin dihitung dengan teliti, dua lengan ini berfungsi sebagai sepasang saluran coupled yang mempunyai pengaruh dalam kopling dengan baik. Berikut gambar komponen yang akan dihitung dari perancangan filter hairpin line. Berikut gambar komponen yang akan dihitung dari perancangan filter hairpin line.



Gambar 2 Struktur Hairpin line [6]

2.4 Koefisien Kopling dan Spasi antar Resonator

Dalam membentuk saluran, saluran dilipat berbentuk “U” dan kemudian disusun dalam model sehingga seluruh filter dapat lebih ringkas. Untuk mendesain hairpin line dapat dengan teknik kopling dimana koefisien kopling dapat ditentukan dengan persamaan (2.1):

$$M_{i,i+1} = \frac{BW}{f_c \sqrt{g_n g_{n+1}}}, i = 1, 2, 3 \dots \quad (2.1)$$

2.5 Saluran Input

Pembuatan saluran input terdapat dalam 2 metode, yaitu Coupled Feed Line dan Tap Line [10].

1.) Coupled Feed Line

Coupled feed line merupakan jenis saluran input $\lambda/4$ yang mempunyai impedansi yang sama dengan saluran resonator dan dihubungkan dengan saluran 50 ohm.

2.) Tap Line

Tap line merupakan saluran impedansi 50 ohm yang langsung dihubungkan dengan saluran filter.

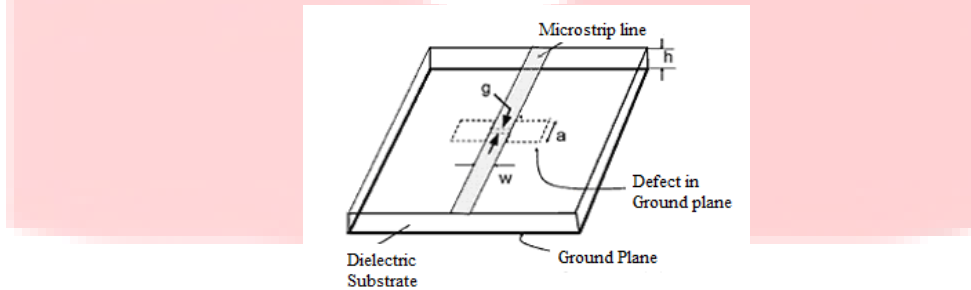
Posisi pencatutan berpengaruh terhadap faktor kualitas yang dihasilkan, dapat menggunakan persamaan (2.2):

$$Q = \frac{g_n(g_{n+1})}{FBW} \tag{2.2}$$

Dimana FBW = Fractional Bandwidth = (BW/Frek.Tengah)

2.6 Defected Ground Structure

Defected Ground Structure (DGS) adalah sebuah struktur yang terusak di ground plane microstrip line secara periodik ataupun non periodik. Dengan menggoreskan sebuah slot di ground plane dari rangkaian microstrip, sel DGS akan dapat direalisasikan [18]. Arus distribusi di ground plane akan terganggu dikarenakan adanya slot yang tergoreskan.



Gambar 3 Bentuk Dumbbell DGS [12]

Kelebihan dari penggunaan DGS adalah mampu menghasilkan bandwidth filter yang sempit dan slope yang tajam. Kekurangannya DGS tidak cocok atau tepat untuk pembuatan filter yang mempunyai bandwidth yang lebar. a.

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Penentuan Spesifikasi Perancangan Filter

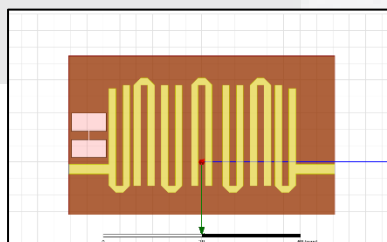
Spesifikasi dalam perancangan band pass filter pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Tabel Spesifikasi Bandpass Filter

Frekuensi -3 dB atas	1.785 MHz
Frekuensi -3 dB bawah	1.710 MHz
Frekuensi tengah	1.747,5 MHz
Frekuensi stopband atas (-60 dB)	1.870 MHz
Frekuensi stopband bawah (-60 dB)	1.625 MHz
Bandwidth	75 MHz
Z terminal	50 Ω
Insertion loss	> -3 dB
Return loss	< -10 dB
Respon frekuensi	Chebyshev ripple 0.01 dB

3.2 Simulasi dan Optimasi Bandpass Filter Hairpin Line

Setelah menghitung semua parameter yang penting pada resonator, langkah yang harus dilakukan adalah melakukan simulasi dari hasil perhitungan di software simulator HFSS Ansoft. Jika hasil belum mencapai spesifikasi yang ditentukan, maka optimasi dilakukan sampai hasil yang didapat sesuai spesifikasi yang diinginkan.



Gambar 4 Layout Hairpin Line dengan DGS setelah dioptimasi

Dari hasil optimasi akhir ditemukan insertion loss sebesar -0.6252 dB pada frekuensi tengah 1.7475 GHz dan return loss sebesar -14.7806 dB pada frekuensi 1.7475 GHz, kemudian bandwidth sebesar 75 MHz. Nilai stopband rejection yang ditemukan sebesar -7.7552 dB pada frekuensi 1.8 GHz. Berikut grafik hasil VSWR dan Impedansi resonator.

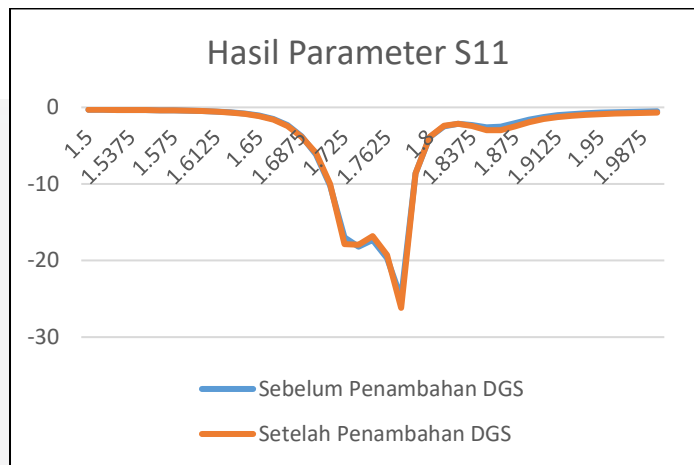
4. HASIL PERANCANGAN DAN ANALISIS BANDPASS FILTER

4.1 Analisis Perbandingan Hasil Spesifikasi

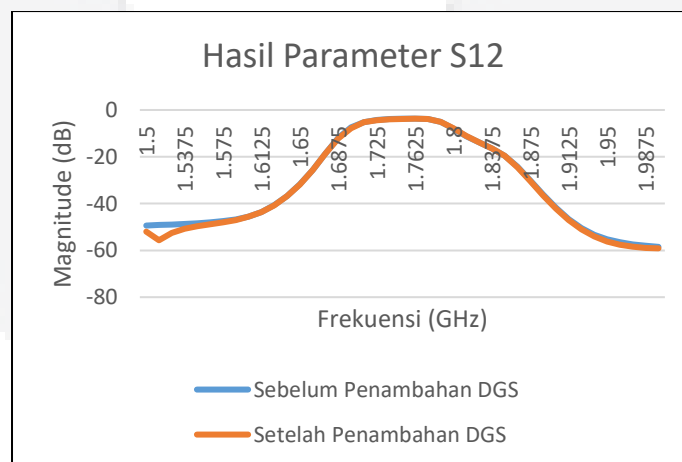
Hasil yang didapat sebelumnya, dirangkum dalam bentuk table dan grafik. Berikut grafik hasil perbandingan filter sebelum dan sesudah ditambahkan DGS pada saat simulasi

Tabel 2 Perbandingan Filter Sebelum dan Sesudah ditambah DGS

Parameter	Spesifikasi	Sebelum Penambahan DGS	Setelah Penambahan DGS
Frekuensi Tengah	1.7475 GHz	75 MHz	75 MHz
Bandwidth	75 MHz	75 MHz	75 MHz
Return Loss	< -10 dB	-17.2793 dB	-16.7682 dB
Insertion Loss	> -3 dB	-3.7156dB	-3.8222 dB
Stopband rejection Pada Frekuensi 1.8 GHz	< -20 dB	-8.02594 dB	-8.07482 dB
VSWR	< 2	1.3169	1.3323



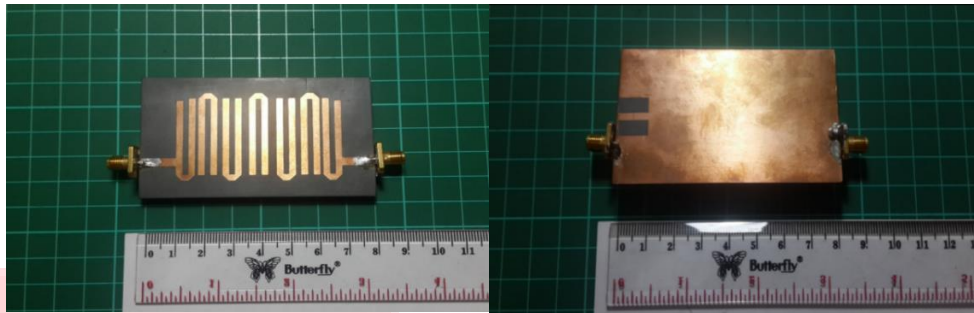
Gambar 5 Hasil Parameter S11



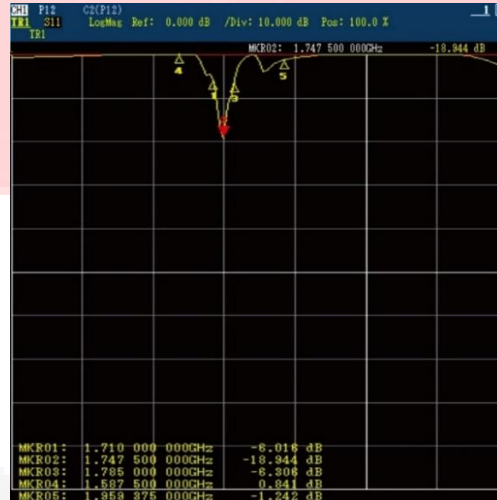
Gambar 6 Hasil Parameter S12

4.2 Realisasi dan Analisis Pengukuran Bandpass Filter Hairpin Line dengan Dumbbell Defected ground Structur

Realisasi perancangan menghasilkan filter yang mempunyai dimensi 80.43mm x 48.34mm dengan material substrat RT Duroid 5880 dengan ketebalan substrat dan tembaga sebesar 1.64 mm. Luas yang didapat adalah 3887.99 mm²



Gambar 7 Realisasi filter tampak Atas dan Bawah



Gambar 8 Hasil Pengukuran Parameter S11 pada hasil realisasi

Pengukuran return loss yang dihasilkan menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi awal, yaitu <-10 dB. Namun hasil yang didapatkan berbeda dari hasil simulasi sebelumnya. Dari hasil pengukuran yang didapat terlihat return loss pada frekuensi kerja (1.7475 GHz) yang ditunjukkan oleh marker “2” mencapai -18.944 dB. Hal ini juga dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan proses fabrikasi dan penyolderan konektor pada PCB yang mengakibatkan perubahan nilai return loss yang cukup signifikan namun masih dapat diterima karena nilai ini masih sesuai dengan spesifikasi awal.

Untuk mencari jumlah gelombang yang dipantulkan (direfleksikan) dan yang jumlah gelombang yang diteruskan oleh port input dapat menggunakan persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3.

$$RL = 20 \log \Gamma \tag{3.1}$$

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \tag{3.2}$$

$$\vec{P}_{av} = \frac{1}{2} \vec{E}^2 \tag{3.3}$$

Nilai acuan/ketetapan minimal untuk daya yang direfleksikan adalah kurang dari 33.33%. Langkah pertama adalah mencari nilai koefisien pantul (Γ) dari nilai return loss yang didapatkan, dipakailah persamaan 3.1 didapatkan nilai $\Gamma = 0.113$.

Kemudian langkah selanjutnya adalah mencari nilai \vec{E} dari persamaan 3.1 dengan nilai daya rata-rata yang ditransmisikan (\vec{P}_{av}) oleh Network Analyzer sebesar 1mW. Nilai $\vec{E} = 1.41 \text{ V/m}$. Karena nilai koefisien pantul (Γ) sebesar 0.113, maka nilai V^- adalah sebesar 0.113 kali dari nilai \vec{E} dan nilai V^+ adalah 0.887 kali dari nilai \vec{E} . Nilai $V^- = 0.15933 \text{ V/m}$ dan $V^+ = 1.25067 \text{ V/m}$.

Kemudian dicari berapa persentase amplitudo yang dipantulkan dan yang diteruskan dibandingkan dengan amplitudo awal, dapat ditarik kesimpulan bahwa amplitudo gelombang yang dipantulkan (direfleksikan) pada frekuensi tengah (1.7475 GHz) adalah 11.3% dari amplitudo awal dan amplitudo gelombang yang diteruskan adalah sebesar 88.7% dari amplitudo awal. Karena jumlah amplitudo gelombang yang dipantulkan kurang dari 33% maka performansi filter sudah sesuai dengan ketetapan sebelumnya dan lebih baik. Kemudian daya yang hilang karena pantulan menjadi lebih kecil.



Gambar 9 Hasil Pengukuran Parameter S12 pada hasil realisasi

Pengukuran pada parameter S12 menunjukkan hasil yang cukup sesuai namun masih terdapat beberapa parameter yang tidak sesuai dengan spesifikasi awal. Berikut gambar dari hasil pengukuran. Pada gambar grafik diatas terlihat hasil insertion loss pada frekuensi resonansi (1.7475 GHz) yang ditunjukkan oleh marker “2” mencapai -2.027 dB. Hasil ini menunjukkan penurunan dari hasil simulasi (-0.6263 dB) sebesar -1.4007 dB, namun hasil yang didapatkan masih sesuai dengan spesifikasi awal yaitu ≥ -3 dB. Frekuensi cutoff bawah (1.7475 GHz) mempunyai insertion loss sebesar -3.256 dB dan frekuensi cutoff atas (1.785 GHz) mempunyai nilai insertion loss sebesar -4.476 dB. Bandwidth yang dihasilkan juga sesuai dengan spesifikasi awal yaitu 75 MHz. Nilai insertion loss menunjukkan karakteristik sinyal yang ditransmisikan dari port input ke port output. Idealnya nilai insertion loss adalah sebesar 0 dB, namun karena terdapat banyaknya rugi-rugi dalam filter maka nilai tersebut terbilang sangat sulit untuk dicapai.

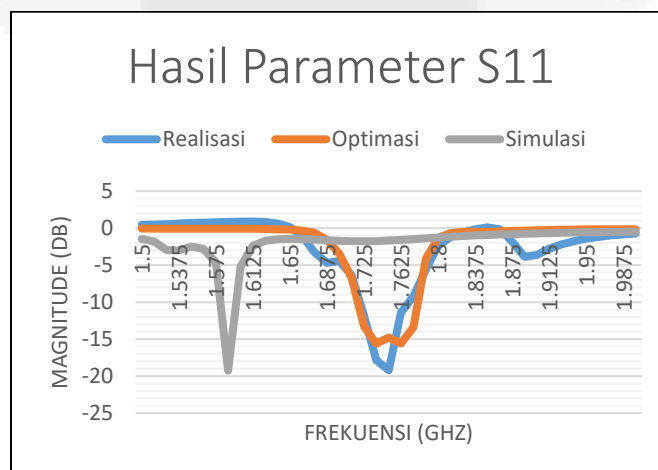
Berbeda dari hasil insertion loss dan bandwidth yang dihasilkan, nilai stopband rejection pada frekuensi bawah yang dihasilkan, pada frekuensi 1.8 GHz nilai stopband rejection yang dihasilkan sebesar -9.8994 dB. Nilai tersebut masih sangat jauh dari nilai acuan standar filter RF yaitu < -20 dB. Hasil memperlihatkan bahwa filter tidak cukup curam untuk diaplikasikan pada filter eNodeB dan akan menghasilkan noise (derau) karena interferensi yang besar antara frekuensi yang berdekatan.

4.2 Rangkuman Analisis Perbandingan Hasil Spesifikasi

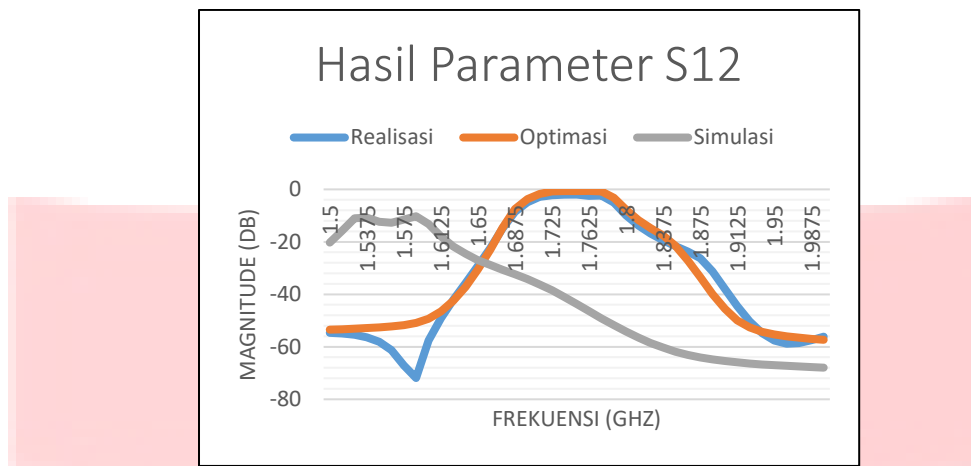
Rangkuman dibuat untuk mengetahui apakah filter yang telah dibuat sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dengan membandingkan hasil pengukuran saat simulasi awal, selesai optimasi akhir, dan realisas. Berikut grafik dan tabel hasil perbandingan saat simulasi awal, optimasi akhir, dan hasil pengukuran:

Tabel 3 Hasil Perubahan dari simulasi kalkulasi teori, optimasi akhir, dan realisasi

Parameter	Spesifikasi	Simulasi Awal	Optimasi Akhir	Realisasi
Frekuensi Tengah	1.7475 GHz	1.55975 GHz	1.7475 GHz	1.7475 GHz
Bandwidth	75 MHz	80.9 MHz	75 MHz	75 MHz
Return Loss	< -10 dB	-23.1844 dB	-14.7806	-18.944 dB
Insertion Loss	> -3 dB	-10.2382 dB	-0.6252 dB	-2.027 dB
VSWR	< 2	6.6079	1.4661	1.255



Gambar 10 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran S11



Gambar 11 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran S12

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini telah dirancang bandpass filter hairpin line dengan penambahan Dumbbell Defected Ground Structure. Berdasarkan hasil simulasi dan hasil pengukuran serta analisis yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Filter yang dirancang telah berhasil direalisasikan dan bekerja dengan cukup baik pada rentang frekuensi 1.71 – 1.785 GHz dengan frekuensi tengah 1.7475 GHz dan memiliki bandwidth 75 MHz sesuai dengan spesifikasi awal. Dimensi filter yang dihasilkan 80.43 mm x 48.34 mm dan mengalami pengurangan ukuran (miniaturisasi) sebesar 0.6978 % dari ukuran filter yang dirancang pada simulator.
2. Optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran-ukuran dari beberapa parameter filter, seperti mengubah ukuran resonator pada substrat dan mengubah ukuran *Dumbbell DGS* pada *ground plane*.
3. Nilai return loss pada realisasi sebesar -18.944 dB pada frekuensi tengah (1.7475 GHz), sudah mencapai pada spesifikasi awal yaitu < -10 dB. Nilai return loss yang ditemukan pada frekuensi cutoff bawah (1.71 GHz) sebesar -6.016 dB dan pada frekuensi cutoff atas (1.785 GHz) sebesar -6.306 dB.
4. Nilai insertion loss pada realisasi sebesar -2.027 dB pada frekuensi tengah (1.7475 GHz), sudah mencapai spesifikasi awal yang diinginkan yaitu > -3 dB. Nilai insertion loss yang ditemukan pada frekuensi cutoff bawah (1.71 GHz) sebesar -3.256 dB dan pada frekuensi cutoff atas (1.785 GHz) sebesar -4.476 dB.
5. Nilai insertion loss pada realisasi sebesar -2.027 dB pada frekuensi tengah (1.7475 GHz), sudah mencapai spesifikasi awal yang diinginkan yaitu > -3 dB. Nilai insertion loss yang ditemukan pada frekuensi cutoff bawah (1.71 GHz) sebesar -3.256 dB dan pada frekuensi cutoff atas (1.785 GHz) sebesar -4.476 dB.
6. Nilai insertion loss pada realisasi sebesar -2.027 dB pada frekuensi tengah (1.7475 GHz), sudah mencapai spesifikasi awal yang diinginkan yaitu > -3 dB. Nilai insertion loss yang ditemukan pada frekuensi cutoff bawah (1.71 GHz) sebesar -3.256 dB dan pada frekuensi cutoff atas (1.785 GHz) sebesar -4.476 dB.

5.2 Saran

Saran yang dapat dijadikan pedoman untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan metode yang sama adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada perancangan di simulator, sebaiknya lebih memperhatikan cara perancangan filter pada modul-modul simulator yang sudah disediakan agar hasil yang didapatkan tidak jauh dari hasil realisasi.
2. Dalam menentukan bentuk-bentuk dan nilai-nilai parameter pada filter diperlukan ketelitian pada semua bagian filter agar dihasilkan filter yang lebih baik. Terutama saat pembulatan nilai-nilai parameter sangat perlu diperhatikan. Semakin tepat bagian-bagian parameter yang diujikan, semakin tepat pula hasil yang diperoleh pada saat realisasi agar hasilnya lebih mendekati spesifikasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Sebaiknya nilai pembulatan bilangan di tiap-tiap parameternya dilakukan ketika sudah pada tahap akhir perhitungan sebelum hasil akan dicetak pada PCB.
3. Proses fabrikasi sangat perlu diperhatikan, setiap ukuran dari tiap komponen parameter filter harus sesuai dengan hasil yang didapatkan pada optimasi sebelumnya di simulator, agar hasil yang telah di-etching pada PCB sesuai dengan perancangan.
4. Pemilihan substrat sebaiknya diperhatikan dengan betul. Agar hasil lebih baik, dapat memilih bahan substrat dengan nilai loss tangent yang lebih kecil. Namun pemilihan bahan substrat ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan.
5. Sebelum penyolderan dilakukan, harap bagian konektor SMA seperti bahan Teflon dan bagian-bagian yang lebih lainnya dibuang. Dengan membuang bagian-bagian ini akan meningkatkan kualitas daya sinyal yang

masuk pada filter. Setelah bagian tersebut dibuang, proses penyolderan timah pada PCB dan konektor harus dilakukan dengan teliti, tepat, dan hati-hati agar tidak menghasilkan redaman daya transmisi yang terlalu besar.

6. Untuk mendapatkan hasil pengukuran realisasi yang lebih baik, sangat disarankan untuk menambahkan shielding pada filter. Dengan menggunakan shielding, akan mengurangi gangguan (interferensi) radiasi dari gelombang-gelombang elektromagnetik di sekitar ruangan pengukuran.

DAFTAR REFERENSI

- [1] A. Hasan, and Nadeem A. E. 2008. Novel Microstrip Hairpinline Narrowband Bandpass Filter Using Via Ground Holes. Atlanta: Progress in Electromagnetics Research, PIER 78, 393-419, 2008.
- [2] Cox, Christopher. 2012. An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE, and 4G Communications. West Sussex: John Wiley & Sons.
- [3] Chen, Jian. (2016). RF CMOS Band Pass Filters with Wide Tuning Frequency, Controllable Pass Band and High Stopband Rejection: Using Passive and Active Inductors (Doctoral dissertation, Wright State University, Dayton, USA).
- [4] Depkominfo RI. 2010. Whitepaper Work Group Spectrum 4G. Yogyakarta.
- [5] Holma, Harri, and Antti Toskala. 2009. LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Chippingham: John Wiley & Sons.
- [6] Hong, Jia-Sheng, and M.J. Lancaster. 2001. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications. New York: John Wiley and Sons.
- [7] J. S. Park, J-S. Yun, and D Ahn, "A design of the novel coupled-line band pass filter using defected ground structure with wide stop band performance," IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques", Vol.50, No.9, Sept.
- [8] Kinayman, Noyan, and M.I. Aksun. 2005. Modern Microwave Circuits. Artech House, Inc.
- [9] Hassan, Hamid Ali. 2015. Design & Size Reduction Analysis of Micro Strip Hairpin Band Pass Filters. Master's Thesis in Electronics. Gävle: Faculty of Engineering and Sustainable Development, University of Gävle.
- [10] Martin, Peter. 2006. Designing Edge-coupled Microstrip Band-Pass Filters Using in Microwave Office. California: Applied Wave Research Inc.
- [11] Matthiae, G., E. M. T. Jones, and L Young. 1985. Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, And Coupling Structures. United States: Artech House Books.
- [12] Moyra, T., Parui, K. S., and Das S. 2012, "Design of T-Split Power Dividers Using Dumbbell Shaped DGS, ""ЖУРНАЛ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ"" "JOURNAL OF RADIO ELECTRONICS" N 8, 2012.
- [13] Narayana, J. L., Krishna S. R., Reddy L. P., Subrahmanyam, G. V., and Sindhu M. 2012. High Dimensional Modeling of Microstrip Hairpin Bandpass Filter Using Artificial Neural Networks, "International Journal of Future Generation Communication and Networking", Vol. 5 No.1, March. 2012.
- [14] Peraturan Menkominfo RI No. 27 Tahun 2015. n.d. Persyaratan Teknis Alat dan / atau Perangkat Telekomunikasi Berbasis Standar Teknologi Long Term Evolution.
- [15] Pozar, David M. 2012. Microwave Engineering: Fourth Edition. United States: John Wiley & Son, Inc. 53.
- [16] Sesia, Stefania, Issam Toufik, and Matthew Baker. 2009. LTE - The UMTS Long Term Evolution. West Sussex: John Wiley & Son.
- [17] Singh Kamaljeet, Rand Ramasubramanian, Pal S. Coupled Microstrip Filters: Simple Methodologies for Improved Characteristics. Bangalore: Communication Systems Group, ISRO Satellite Center.
- [18] Vidhya, K., and T. Jayanthi. 2011. Design of Microstrip Hairpin Band Pass Filter Using Defected Ground Structure and Open Stubs. IEEE 2011 International Conference on Information and Electronics Engineering 6.
- [19] Wardhana, Lingga, Faksi Bagus Aginsa, Anton Dewantoro, Isybel Harto, Gita Mahardhika, and Alfin Hikmaturokhan. 2014. 4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia. Jakarta Selatan: www.penulisbuku.com.
- [20] William, Arthur B., and Fred J. Taylor. 2006. Electronic Filter Design Handbook. United States: McGraw Hill.