

Desain dan Implementasi Duplexer dengan Metoda *Pseudo-Interdigital* untuk Uplink dan Downlink LTE

Design and Implementation of Duplexer with *Pseudo-Interdigital* Method for LTE Uplink and Downlink

Enceng Sulaeman^{a,*}, Yaya Sulaeman^b, Asep Yudi Hercuadi^b

^aProgram Studi Teknik Telekomunikasi D4, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Desa Ciwaruga, Bandung, Indonesia

^bPusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
Komp LIPI Gd 20, Jl Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia

Abstrak

Duplexer merupakan perangkat yang dapat mengisolasi *receiver* dari *transmitter* saat keduanya saling berbagi antena yang sama, digunakan agar komunikasi bisa berjalan secara *full duplex*. Ada dua metode transmisi *duplex* yaitu *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD). FDD merupakan teknik *duplex* yang menggunakan dua frekuensi yang berbeda untuk melakukan komunikasi dalam dua arah, sedangkan TDD menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data.

Gabungan dua *bandpass filter* dengan metoda *pseudo-interdigital* untuk aplikasi LTE (*long term evolution*). Metode ini lebih unggul dibandingkan duplexer dengan metoda *hybrid*. Duplexer bekerja pada FDD LTE band ke-7 yaitu frekuensi *uplink* 2500-2570 MHz dan *downlink* 2620-2690 MHz. Dari hasil pengukuran diperoleh sebagai berikut: nilai frekuensi *center* pada *uplink* 2639 MHz dan pada *downlink* 2659 MHz, *insertion loss* pada *uplink* 1,561 dB dan *downlink* 1,74 dB, *bandwidth* ± 70 MHz, isolasi 23,03 dB, serta nilai *return loss* 23,5 dB pada *uplink* dan *downlink* 23,45 dB.

Kata kunci: duplexer, FDD (*frequency division duplex*), *uplink*, *downlink*, LTE (*long term evolution*), *pseudo-interdigital*.

Abstract

Duplexer is a device that can isolate the receiver from the transmitter while both share the same antenna, it is used so that communication can be run in full duplex. There are two methods of transmitting duplex, i.e. frequency division duplex (FDD) and time division duplex (TDD). Duplex FDD is a technique that uses two different frequencies for communication in both directions, while TDD uses a single frequency and the frequency is used by all channels for sending and receiving data.

A combination of two bandpass filters with the method for application Pseudo-Interdigital LTE (long term evolution). This method is superior to the hybrid duplexer method. Duplexer LTE FDD band worked on the 7th the uplink frequency 2500-2570 MHz and 2620-2690 MHz downlink. From the measurement results, it is obtained as follows: the value of the center frequency of 2639 MHz uplink and 2659 MHz downlink, insertion loss in 1.561 dB uplink and 1.74 dB downlink, ± 70 MHz bandwidth, isolation 23.03 dB, and return loss of 23.5 dB and 23.45 dB on uplink and downlink respectively.

Keywords: duplexer, FDD (*frequency division duplex*), *uplink*, *downlink*, LTE (*long term evolution*), *pseudo-interdigital*.

I. PENDAHULUAN

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi generasi ke-4 yang siap melayani komunikasi bergerak dengan performansi yang lebih baik serta dapat menunjang inter-operasi antar teknologi dalam standar *Third Generation Partnership Project* (3GPP). Ada dua metoda transmisi yang digunakan LTE yaitu *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD). TDD merupakan teknik *duplex* yang menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data. Setiap kanal tersebut di-*multiplexing* dengan menggunakan basis waktu sehingga setiap

kanal memiliki *time slot* yang berbeda, sedangkan FDD menggunakan dua frekuensi yang berbeda pada waktu yang sama untuk melakukan komunikasi dalam dua arah [1]. FDD mempunyai kemampuan untuk menyelenggarakan suatu komunikasi yang simultan antara *mobile station* dengan *base station*. Untuk keperluan ini maka FDD menyediakan dua band frekuensi sebagai kanal yang terpisah untuk masing-masing pengguna. Satu band frekuensi digunakan untuk melayani trafik dari *base station* ke *mobile station* yang dikenal dengan sebutan *forward band* atau *downlink*, satu band lagi digunakan untuk melayani trafik dari *mobile station* ke *base station*, yang biasa disebut dengan *reverse band* atau *uplink*.

Pada metoda FDD, frekuensi *uplink* dan *downlink* dibedakan seperti untuk frekuensi *downlink* 2620-2690 MHz dan *uplink* dengan frekuensi 2500-2570 MHz pada band ke-7 [2]. Dengan adanya frekuensi *uplink* dan *downlink* maka diperlukan sebuah duplexer. Fungsi utama duplexer dalam teknik *full duplex* yaitu

* Corresponding Author.

Email: enceng@yahoo.com

Received: November 28, 2013; Revised: Desember 12, 2013

Accepted: Desember 23, 2013

Published: Desember 30, 2013

© 2013 PPET - LIPI

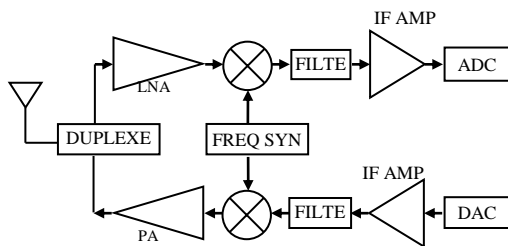
doi : 10.14203/jet.v13.73-80

untuk melewati sinyal yang diterima dan yang meninggalkan antenna diolah tanpa ada kebocoran saat menerima dan mengirim sinyal karena keduanya terjadi pada waktu yang bersamaan.

Ada beberapa metoda perealisasi duplexer yang sudah ada sebelumnya, diantaranya menggunakan gabungan *four-pole band pass filter* dengan metoda *branch-line hybrid coupler* [3], dan gabungan metoda tandem *hybrid coupler* dengan *bandstop filter* [4]. Dari perealisasi metoda-metoda tersebut memiliki desain yang lebih rumit dan ukurannya cukup besar. Untuk itu penulis merealisasi duplexer yang lebih sederhana, hanya terdiri dari dua bandpass filter dengan menggunakan metoda *Pseudo-Interdigital*.

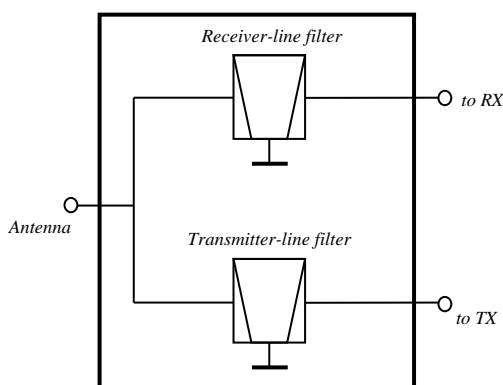
II. TEORI DUPEKSER

Duplexer merupakan perangkat yang dapat mengisolasi *receiver* dari *transmitter* saat keduanya saling berbagi antenna yang sama. Fungsi utama duplexer adalah untuk melewati sinyal yang diterima dari antenna ke *receiver* dan melewati sinyal daya besar pemancar dari filter Tx ke antenna, atau dengan kata lain, sinyal yang datang dan yang meninggalkan antenna diolah tanpa ada kebocoran saat menerima dan mengirim sinyal, karena keduanya terjadi pada waktu yang bersamaan. Posisi duplexer pada blok transceiver dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok *Transceiver* Sederhana untuk Komunikasi Nirkabel [5].

Duplexer seringkali disebut sebagai komponen penting yang memberikan dua arah sinyal radio secara *full duplex*. Duplexer yang ideal menghasikan isolasi yang sempurna dengan tidak adanya *insertion loss* ke antenna dan dari antenna [6]. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, duplexer terdiri dari dua filter.



Gambar 2. Diagram Blok Duplexer

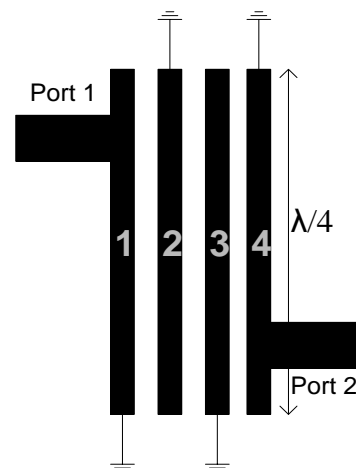
A. Band Pass Filter (BPF)

Bandpass filter adalah rangkaian yang melewati frekuensi pada daerah diantara frekuensi *cut-off* pertama dan frekuensi *cut-off* kedua serta meredam frekuensi di luar daerah tersebut [7]. *Bandpass filter* merupakan penggabungan dari *lowpass filter* dan *highpass filter*.

Pada Gambar 3 merupakan spesifikasi *bandpass filter* (BPF). Daerah *passband* dibatasi oleh dua frekuensi tepi. Frekuensi tepi yang rendah menunjukkan batas frekuensi rendah dari suatu *highpass filter* dan frekuensi tepi yang tinggi menunjukkan batas frekuensi tinggi dari suatu *lowpass filter*.

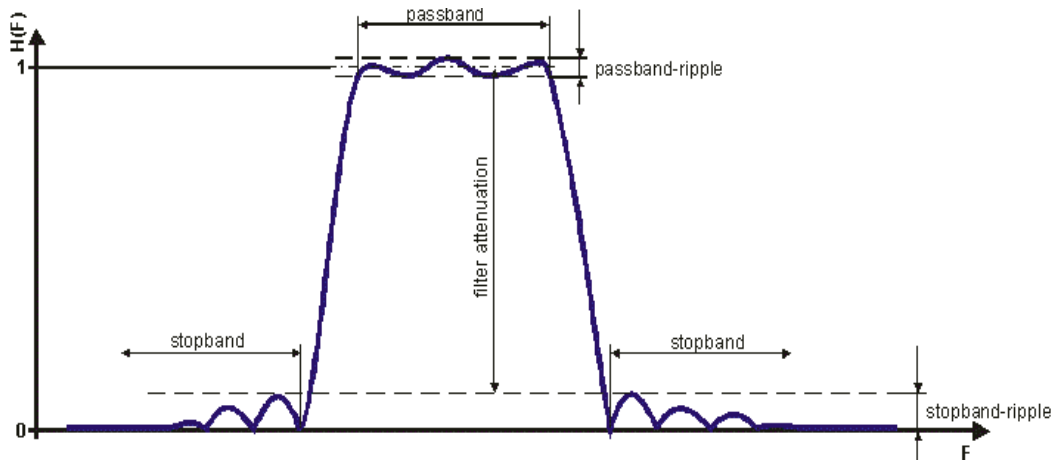
B. Metoda Pseudo-Interdigital

Metoda *pseudo-interdigital* merupakan pengembangan dari metoda *interdigital* yang merupakan salah satu mikrostrip *transmission line filter* yang paling populer digunakan untuk desain [8]. *Bandwidth* yang sempit dan pembuatan yang sangat murah karena tidak memerlukan koneksi melalui lubang ke substrat adalah salah satu kelebihan *interdigital*. Desain resonator *interdigital* seperti yang terlihat pada Gambar 4, panjang masing-masing resonatornya yaitu $\lambda/4$ dan masing-masing ujung resonatornya terhubung dengan *ground*.

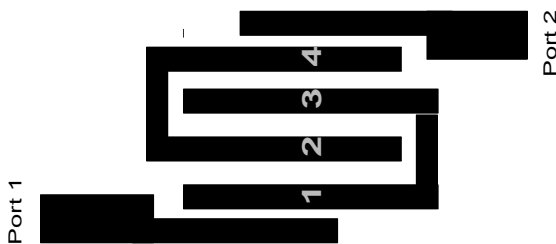


Gambar 4. Layout Metoda *Interdigital Filter*.

Metoda *pseudo-interdigital* yang terlihat pada Gambar 5, dijelaskan menggunakan modifikasi dari filter *interdigital* dengan *grounding* diganti menggunakan sepasang $\lambda/4$ yang terkoneksi atau *virtual ground*. *Pseudo-interdigital* memiliki keuntungan dibandingkan *interdigital* di antaranya, lebih murah dalam pabrikan, *grounding* tidak perlu dilubangi ke substrat, mempunyai *zero transmission* pada ferkuensi tertentu di atas dan di bawah *passband*, dapat diperkecil, dan mempunyai selektivitas yang tinggi. *Pseudo-interdigital* juga mempunyai kekurangan yaitu sangat kompleks sifat penghubung antar resonator dan prosedur desain yang sederhana pada filter ini tidak ada, cara mengatasinya dengan *di-tuning* dan optimalisasi filter.



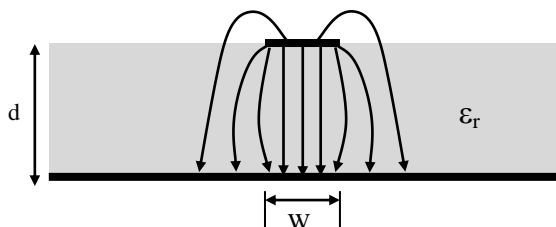
Gambar 3. Spesifikasi Band pass Filter



Gambar 5. Layout Metoda Resonator Pseudo-Interdigital.

C. Mikrostrip

Mikrostrip adalah saluran yang terdiri dari konduktor strip (*line*) dan sebuah konduktor bidang tanah yang dipisahkan oleh medium dielektrik dengan konstanta dielektrik ϵ_r . Di atas strip adalah udara sehingga jika tanpa *shielding* sebagian medan elektromagnetik akan meradiasi, dan sebagian lagi ada yang masuk kembali ke dalam substrat dielektrik. Jadi ada dua dielektrik yang melingkupi strip yaitu udara dengan konstanta dielektrik satu dan substrat dengan konstanta dielektrik $\epsilon_r > 1$. Dengan demikian saluran mikrostrip, secara keseluruhan, dapat kita pandang sebagai sebuah saluran dengan dielektrik homogen yang lebih besar dari satu tapi lebih kecil dari ϵ_r . Konstanta dielektrik ini disebut konstanta dielektrik efektif (*effective dielectric constant*). Seperti yang dilihat pada gambar 6 adalah pola medan listrik pada saluran mikrostrip.



Gambar 6. Pola Medan Listrik pada Saluran Mikrostrip [9].

Pendekatan yang mudah untuk menganalisis karakteristik saluran, adalah dengan, mula-mula, menganggap medium yang memisahkan kedua konduktor adalah udara. Pada kasus ini bidang tanah bertindak sebagai cermin sehingga kita punya saluran

yang lebarnya sama dan berjarak $2d$ satu sama lain. Kemudian dicari kapasitansi terdistribusi antara kedua saluran ini, kita sebut C_0 . Konstanta dielektrik efektif adalah perbandingan antara kapasitansi terdistribusi saluran dengan dielektrik terhadap C_0 . Jadi konstanta dielektrik efektif [9].

$$1 < \epsilon_r = \frac{C}{C_0} < \epsilon_r \tag{1}$$

Pada frekuensi rendah, kapasitansi terdistribusi C_0 , dicari dengan teknik pemetaan konformal, yaitu

$$C_0 = \begin{cases} \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{\epsilon d}{W} + \frac{W}{d}\right)} & \frac{W}{d} \leq 1 \\ \epsilon_0 \left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W}{d} + 1.444\right) \right] & \frac{W}{d} > 1 \end{cases} \tag{2}$$

Konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_e = \begin{cases} \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\left[1 + \frac{12d}{W} \right]^{\frac{1}{2}} + 0.04 \left[1 - \frac{W}{d} \right]^2 \right) & \frac{W}{d} \leq 1 \\ \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12d}{W} \right]^{\frac{1}{2}} & \frac{W}{d} > 1 \end{cases} \tag{3}$$

Untuk keperluan perancangan, bila diketahui impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik ϵ_r , lebar strip dapat dicari dari:

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \frac{W}{d} \leq 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \right] & \frac{W}{d} > 2 \end{cases} \tag{4}$$

Dengan,

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \tag{5}$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \tag{6}$$

III. PERANCANGAN DUPEKSER

Duplekser yang direalisasikan ini terdiri dari gabungan dua *bandpass filter* dengan menggunakan metoda *pseudo-interdigital*. Duplekser ini bekerja pada aplikasi LTE frekuensi *uplink* 2500-2570 MHz dan *downlink* 2620-2690 MHz. Besar Masing-masing *bandwidth* adalah 70 MHz dan duplekser direalisasikan menggunakan saluran mikrostrip. Saluran mikrostrip yang digunakannya yaitu substrat *Taconic*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Permittivitas relative (ϵ_r) : 3,5
2. Tebal dielektrik (d) : 1,524 mm
3. Tebal konduktor (t) : 0.0035 mm
4. Loss Tangen (δ) : 0,0018

A. Penentuan Konstanta Dielektrik Efektif (ϵ_e)

Penentuan konstanta dielektrik untuk saluran resonator diperoleh dari Persamaan 3. Jika diketahui nilai permitivitas relative $\epsilon_r=3,5$, tebal dielektrik $d=1,524$ mm dan $W=1.4$ mm maka nilai ϵ_e yang diperoleh adalah 2,572

B. Penentuan Panjang Resonator

Panjang resonator yang digunakan untuk metode *pseudo-interdigital* adalah $\lambda_g/4$. Perhitungan dalam menentukan panjang resonator harus didapat terlebih dahulu nilai konstanta dielektrik (ϵ_e). Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, untuk perancangan duplekser ini terdiri dari dua *Bandpass filter* (BPF).

Bandpass filter untuk *uplink* yang bekerja pada frekuensi 2500-2570 MHz memiliki frekuensi tengah (f_c) sebesar 2.534 GHz dan panjang saluran resonator (λ_g) 73,86 mm. Pada filter ini dirancang dengan panjang resonator (l_a) = $\frac{\lambda_g}{4}$, maka didapat 18,455 mm.

Setelah didapatkan nilai $\frac{\lambda_g}{4}$ *uplink*, selanjutnya ditentukan $\frac{\lambda_g}{4}$ *downlink*. *Bandpass filter* *downlink* bekerja pada frekuensi 2620-2690 MHz, memiliki frekuensi tengah (f_c) sebesar 2.654 GHz dan panjang saluran resonator (λ_g) 70.48 mm. Pada filter metoda *Pseudo-Interdigital* dirancang dengan panjang resonator (l_a) = $\frac{\lambda_g}{4}$, maka didapat 17,62 mm.

C. Penentuan Faktor Kualitas (Q)

Faktor kualitas (Q) menyatakan besarnya daya hilang (*loss*) pada daerah resonansi. BPF metoda *pseudo-interdigital* termasuk jenis resonator dengan *Q unloaded*. Letak saluran catu ini nantinya digunakan untuk mengontrol *insertion loss* dan *return loss* dari filter. Berikut perhitungan *Q* :

1. FBW frekuensi *uplink*

$$FBW = \frac{f_b - f_a}{f_t} = \frac{2570 - 2500}{2534} = 0.027 = 2.7\%$$

2. FBW frekuensi *downlink*

$$FBW = \frac{f_b - f_a}{f_t} = \frac{2690 - 2620}{2654} = 0.026 = 2.6\%$$

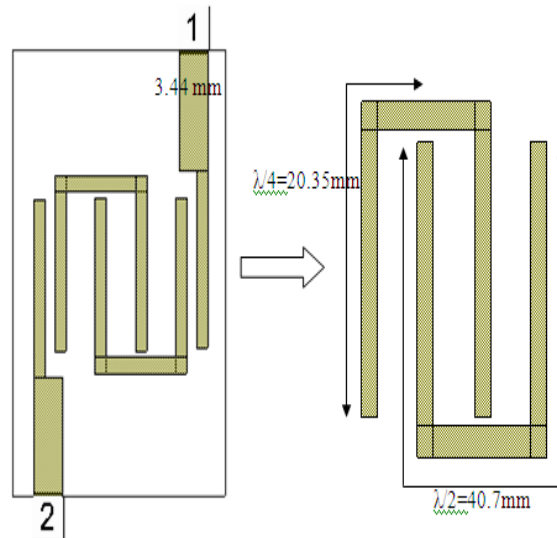
D. Penentuan Lebar Saluran Catu

Lebar saluran catu (W) untuk masing-masing impedansi karakteristik dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 sampai Persamaan 6. Jika untuk $Z_0 = 50 \Omega$, $\epsilon_r = 3,5$, $B = 6,3307$, maka lebar saluran mikrostrip diperoleh 3,44 mm.

E. Simulasi pada Software AWR

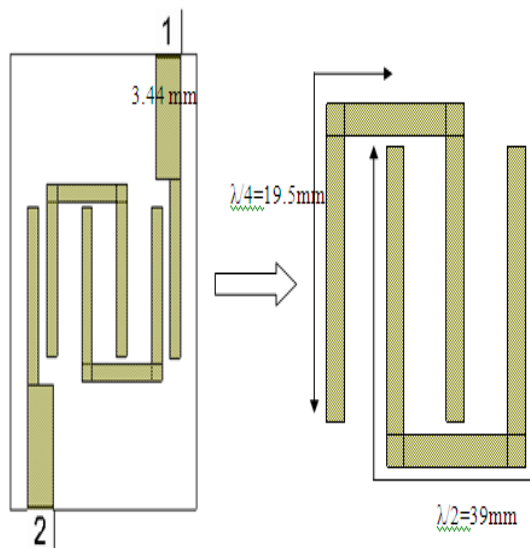
Simulasi duplekser ini dibagi beberapa tahap yaitu:

- Langkah pertama simulasi BPF *uplink*, tampilan simulasi *uplink* seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dan hasil respon simulasi ditunjukkan pada Gambar 8.

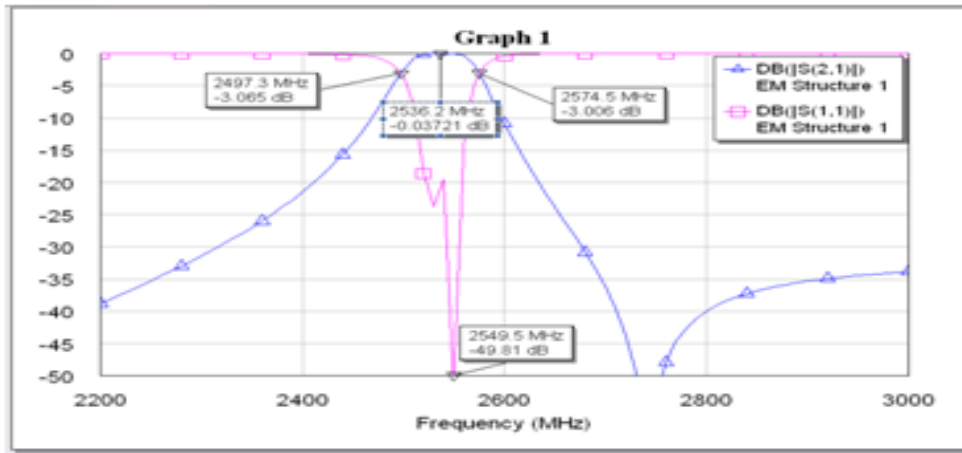


Gambar 7. Tampilan Simulasi BPF *Uplink*.

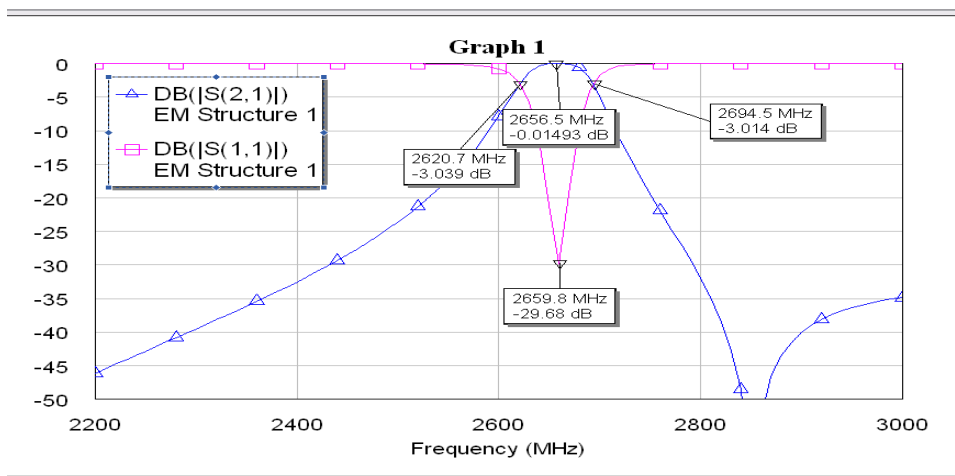
- Selanjutnya simulasi BPF *downlink*, tampilan simulasi *downlink* seperti ditunjukkan pada Gambar 9 dan hasil respon simulasi ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Tampilan Simulasi BPF *Downlink*.



Gambar 8. Hasil Respon Frekuensi BPF Uplink.

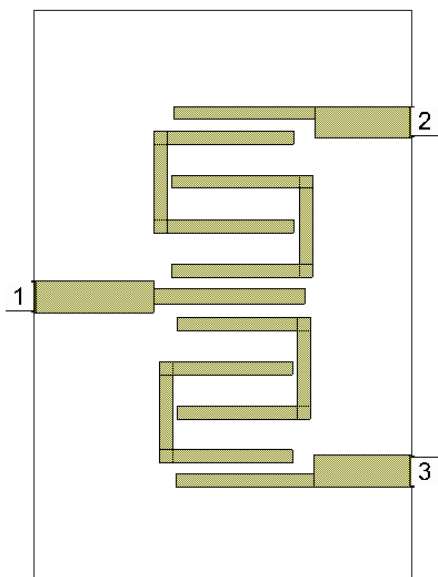


Gambar 10. Hasil Respon Frekuensi BPF Downlink.

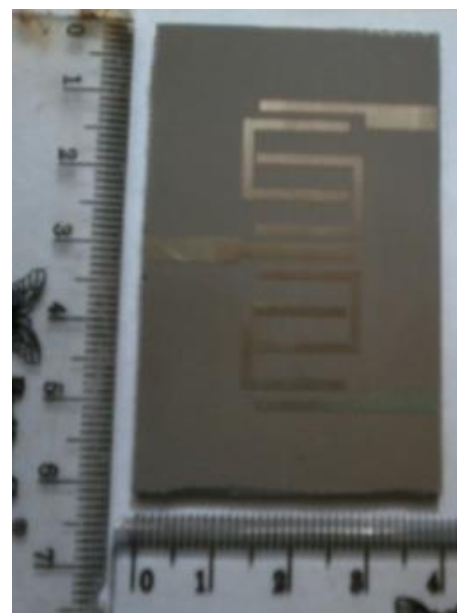
- Setelah masing-masing respon frekuensi BPF *uplink* dan *downlink* didapatkan, langkah selanjutnya yaitu menyatukan untuk menjadi duplexer. Tampilan simulasi duplexer ditunjukkan pada Gambar 11 dan hasil respon frekuensi duplexer ditunjukkan pada Gambar 12.

F. Realisasi ke Bahan Dielektrik (PCB) Taconic

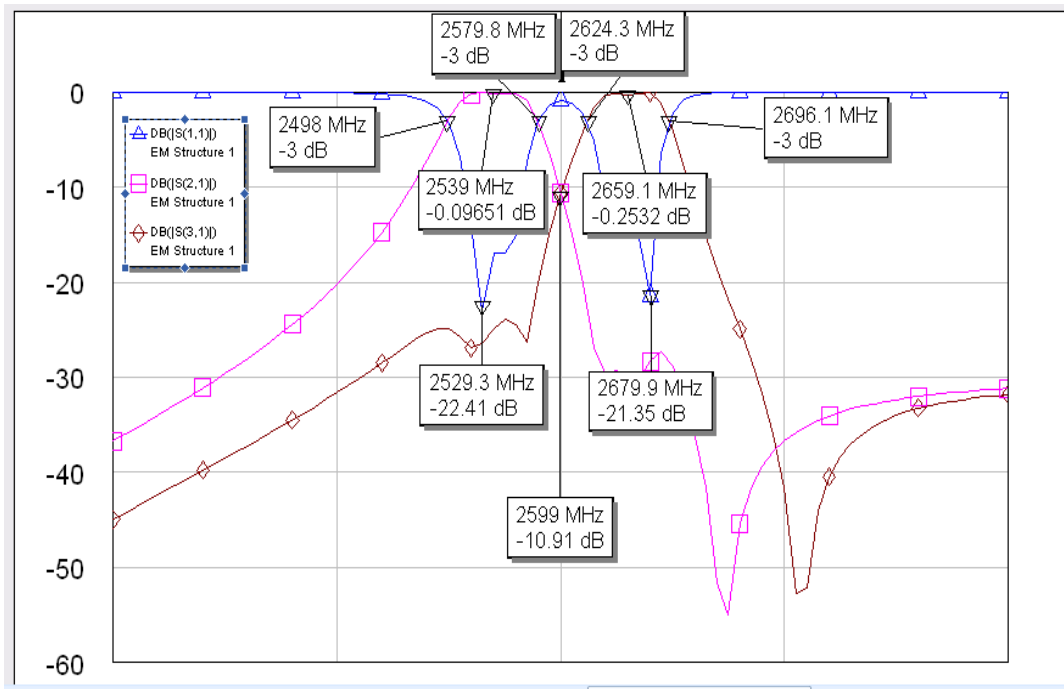
Setelah pembuatan film negatif, langkah selanjutnya adalah realisasi *layout* filter ke bahan *taconic* yang dapat dilihat pada Gambar 13.



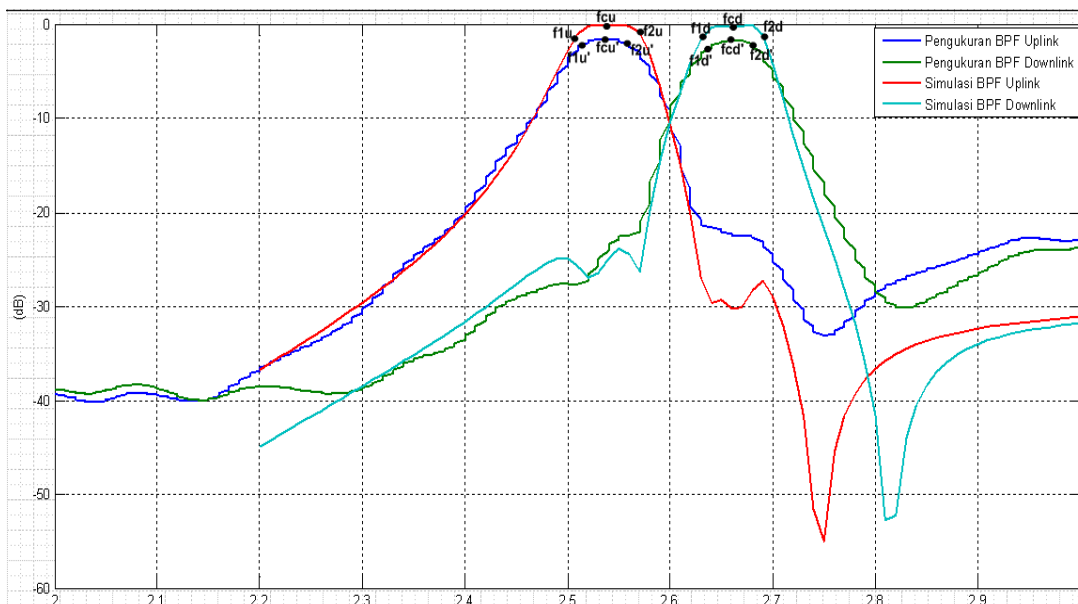
Gambar 11. Tampilan Simulasi Duplexer.



Gambar 13. Realisasi Duplexer pada *taconic*.



Gambar 12. Hasil Respon Frekuensi Duplexer.



Gambar 14. Hasil Simulasi dan Pengukuran Respon Frekuensi.

IV. PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

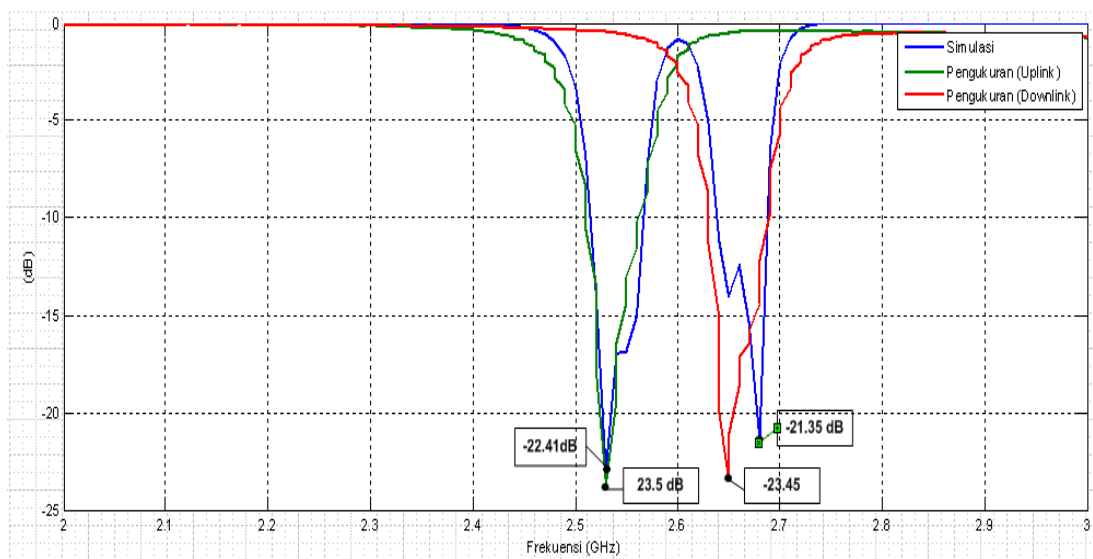
Setelah proses pabrikan duplexer selesai dilakukan, hasil pengukuran akan dibandingkan dengan hasil simulasi yang diperoleh sebelumnya untuk kemudian dianalisis perbedaannya. Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan data parameter-parameter duplexer yang telah direalisasikan. Pengukuran yang dilakukan antara lain adalah *insertion loss*, *return loss* dan isolasi.

A. Insertion Loss

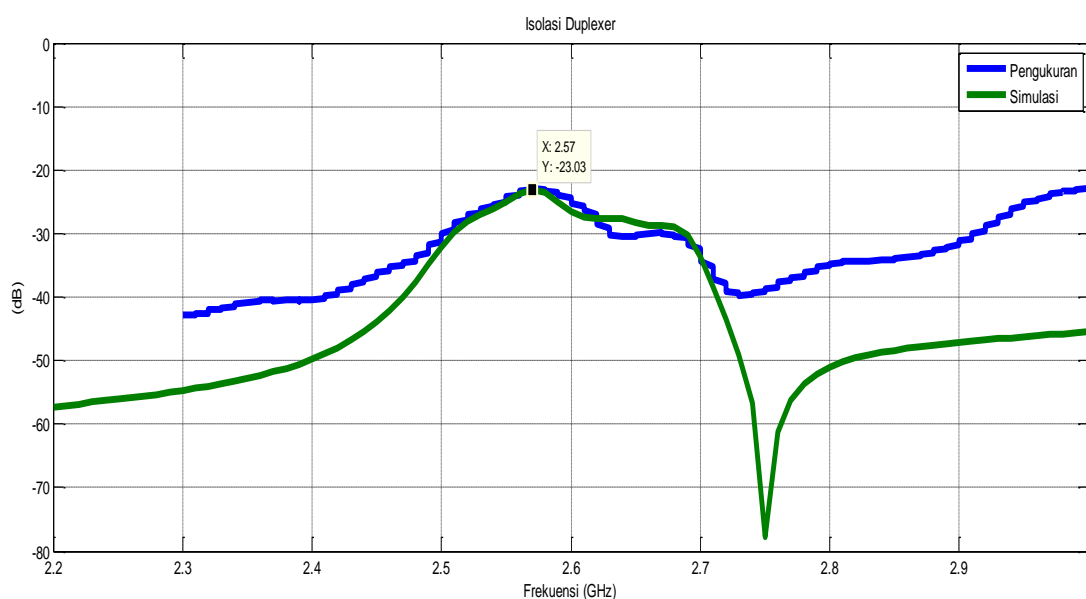
Dengan melihat Gambar 14 respon frekuensi dari hasil simulasi dan pengukuran terdapat perbedaan nilai *insertion loss*. Pada Tabel 1 dijelaskan perbandingan nilai *insertion loss* hasil simulasi dengan pengukuran.

TABEL I
PERBANDINGAN INSERTION LOSS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

| Simulasi | Pengukuran |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| $f_{1u} = 2498,8 \text{ MHz} ; -3 \text{ dB}$ | $f_{1u}' = 2498,8 \text{ MHz} ; -4,014 \text{ dB}$ |
| $f_{cu} = 2539 \text{ MHz} ; -0,096 \text{ dB}$ | $f_{cu}' = 2539 \text{ MHz} ; -1,640 \text{ dB}$ |
| $f_{2u} = 2579,2 \text{ MHz} ; -3 \text{ dB}$ | $f_{2u}' = 2579 \text{ MHz} ; -4,856 \text{ dB}$ |
| $f_{1d} = 2624,3 \text{ MHz} ; -3 \text{ dB}$ | $f_{1d}' = 2624 \text{ MHz} ; -4,203 \text{ dB}$ |
| $f_{cd} = 2659 \text{ MHz} ; -0,253 \text{ dB}$ | $f_{cd}' = 2659 \text{ MHz} ; -1,250 \text{ dB}$ |
| $f_{2d} = 2696,1 \text{ MHz} ; -3 \text{ dB}$ | $f_{2d}' = 2696 \text{ MHz} ; -4,268 \text{ dB}$ |



Gambar 15. Hasil simulasi dan pengukuran return loss



Gambar 16. Hasil Simulasi dan Pengukuran Isolasi.

B. Return Loss

Pada dasarnya pengukuran *return loss* merupakan pengukuran koefisien pantul. Dari hasil simulasi dan pengukuran ini dapat diketahui salah satu parameter duplexer seperti VSWR. Gambar 15 menunjukkan hasil simulasi dan pengukuran, sedangkan nilai VSWR dapat dilihat pada Tabel 2.

Terjadi perbedaan ukuran panjang resonator $\lambda/4$ antara hasil perhitungan terhadap simulasi. Panjang resonator untuk *uplink* saat perhitungan 18,455 mm, sedangkan pada simulasi 20,35 mm. Panjang resonator untuk *downlink* saat perhitungan 17,62 mm, sedangkan pada simulasi 19,5 mm.

Nilai *return loss* yang dihasilkan BPF frekuensi *uplink* sebesar 23,5 dB pada frekuensi 2539 MHz dan BPF frekuensi *downlink* 23,45 dB pada frekuensi 2650 MHz yang digunakan adalah *perfect*, sedangkan pada perealisasiannya terdapat redaman konduktor dan *loss tangen* bernilai 0,0018. Faktor lainnya yang juga berpengaruh adalah proses fabrikasi, penyolderan yang kurang baik, serta pengaruh penggunaan *casing*.

TABEL II
PERBANDINGAN RETURN LOSS DAN VSWR HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

| | Simulasi | | Pengukuran | |
|-------------------------|----------|----------|------------|----------|
| | Uplink | Downlink | Uplink | Downlink |
| Return Loss (dB) | 23,05 | 21,38 | 23,5 | 23,45 |
| VSWR | 1,15 | 1,18 | 1,1432 | 1,1440 |

C. Isolasi

Pada prinsipnya duplexer harus memberikan isolasi yang besar antara BPF satu dengan BPF yang lainnya. Isolasi ini penting agar *link* tidak saling mempengaruhi satu dengan yang lain. Pada Gambar 16 menunjukkan nilai isolasi (S_{23}) duplexer yaitu 23,03 dB.

Duplexer yang telah direalisasikan ini memiliki nilai isolasi maksimal antara *bandpass uplink* dan *downlink* sebesar 23 dB. Ketika duplexer menerima sinyal dari antenna, sinyal tersebut dilewatkan ke filter *uplink* dengan redaman 1,640 dB sedangkan pada frekuensi *downlink* diredam 30,238 dB. Ketika

duplekser mengirim sinyal ke antena seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14, sinyal tersebut dilewatkan ke filter *downlink* dengan redaman 1,250 dB sedangkan pada frekuensi *uplink* diredam 25,006 dB.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran duplekser ini didapatkan respon frekuensi tengah pada *uplink* 2539 MHz dan 2659 MHz pada *downlink*. Sedangkan saat simulasi frekuensi tengah *uplink* dan *downlink* diperoleh 2534 MHz dan 2654 MHz. Penyimpangan disebabkan karena kesalahan ukuran resonator pada duplekser yang direalisasikan.

Dari hasil pengukuran diperoleh *insertion loss* untuk frekuensi tengah *uplink* dan *downlink* senilai 1,640 dB dan 1,250 dB, sedangkan dari hasil simulasi yaitu 0,096 dB dan 0,253 dB. Hal ini disebabkan karena saat simulasi *loss tangen* bernilai 0 dan konduktor.

REFERENSI

- [1] (2013). Difference Between FDD LTE (FD-LTE) and TDD LTE (TD-LTE) Networks [Online]. Available:

- <http://www.differencebetween.com/difference-between-fdd-lte-fd-lte-and-vs-tdd-lte-td-lte-networks/>
- [2] (2013). LTE Frequency Bands & Spectrum Allocations [Online]. Available: <http://www.radio-electronics.com>
- [3] Y. A. Paramita, "Perancangan dan Realisasi Duplekser untuk BTS DCS 1800", Tesis, IT. Telkom, Bandung, Indonesia, 2009.
- [4] I. Wijayanti, "Realisasi Duplexer pada Band Frekuensi 1920 MHz – 2170 MHz dengan Metoda Tandem Hybrid Coupler dan Bandstop Filter", Tesis, IT. Telkom, Bandung, Indonesia, 2010.
- [5] E. L. C. Ng, "Microwave Transceiver Circuit Building Blocks", Master Thesis, EECS Department, University of California, Berkeley, 2003.
- [6] S. D. Kannagara, "Adaptive Duplexer For Software Radio", PhD Thesis, Centre for Telecommunications and Micro-Electronics, Faculty of Health, Engineering and Science, Victoria University, Melbourne, Australia, Nov. 2006.
- [7] E. Sulaeman, "Resonator Gelombang Mikro", Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia, Laporan Teknik, 2010.
- [8] D. Zayniyev, D. Budimir, D. G. Zouganelis, "Microstrip filters and duplexers for WIMAX applications", *Antenas and Propagation International Symposium, 2007 IEEE*, June 2007, pp. 1078-1085,.
- [9] E. Sulaeman, "Filter Gelombang Mikro", Tesis, Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia, 2010