

ELKOMIKA

Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi
& Teknik Elektronika

Perancangan dan Implementasi *Duplexer* Mikrostrip untuk Frekuensi LTE pada *Band ke-7*

Enceng Sulaeman, Arsyad Ramadhan Darlis, R. Harianti Asri Dewi

Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik

Waluyo, Aditya Fitriansyah, Syahrial

Perancangan dan Implementasi Sistem *Remote Tilting Antenna* untuk Aplikasi *Base Station*

Arsyad Ramadhan Darlis

Simulasi Perancangan Filter Analog dengan Respon Chebyshev

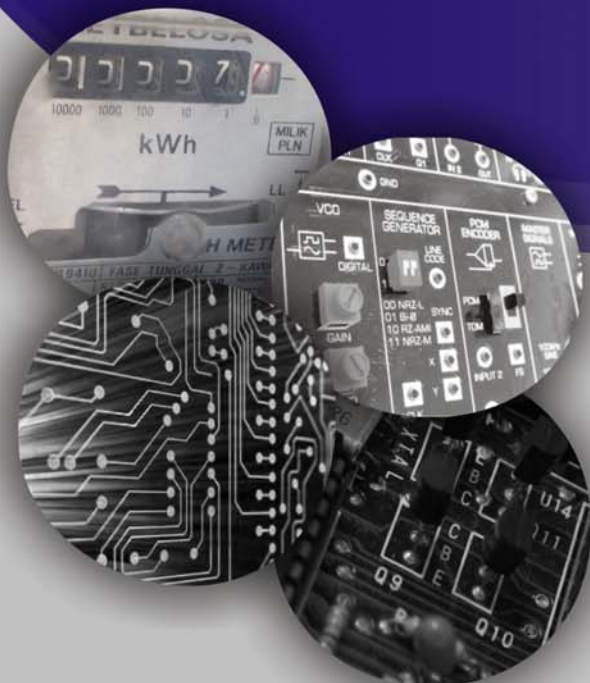
Rustamaji, Arsyad Ramadhan Darlis, Solihin

Implementasi Sistem IP PBX menggunakan Briker

Dwi Aryanta, Arsyad Ramadhan Darlis, Ardhiansyah Pratama

Perancangan dan Realisasi Simulator Sistem Pengendalian Level Tangki Berbasis Labview 8.6

Decy Nataliana, Nandang Taryana, Eman Firmansyah



Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Nasional
Bandung





DAFTAR ISI

Perancangan dan Implementasi <i>Duplexer</i> Mikrostrip untuk Frekuensi LTE pada <i>Band</i> ke-7 Enceng Sulaeman, Arsyad Ramadhan Darlis, R. Harianti Asri Dewi	68 – 78
Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik Waluyo, Aditya Fitriansyah, Syahrial	79 – 92
Perancangan dan Implementasi Sistem <i>Remote Tilting Antenna</i> untuk Aplikasi <i>Base Station</i> Arsyad Ramadhan Darlis	93 – 105
Simulasi Perancangan Filter Analog dengan Respon Chebyshev Rustamaji, Arsyad Ramadhan Darlis, Solihin	106 – 116
Implementasi Sistem IP PBX menggunakan Briker Dwi Aryanta, Arsyad Ramadhan Darlis, Ardhiansyah Pratama	117 – 127
Perancangan Dan Realisasi Simulator Sistem Pengendalian Level Tangki Berbasis Labview 8.6 Decy Nataliana, Nandang Taryana, Eman Firmansyah	128 - 139

Perancangan dan Implementasi Duplexer Mikrostrip untuk Frekuensi LTE pada band ke-7

ENCENG SULAEMAN¹, ARSYAD RAMADHAN DARLIS², R. HARIANTI ASRI DEWI²

1. Jurusan Teknik Telekomunikasi Politeknik Negeri Bandung
2. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional
Email : enceng_s@yahoo.com

ABSTRAK

Kebutuhan akan komunikasi bergerak semakin mengalami peningkatan dalam dunia teknologi yang ada saat ini, maka hadirilah teknologi terbaru yaitu Long Term Evolution (LTE). Dengan teknik duplex jenis Frequency Division Duplex (FDD), dirancanglah duplexer yang mampu melakukan proses pengiriman dan penerimaan dalam satu waktu dengan frekuensi yang berbeda antara uplink dan downlink. Pada penelitian ini dirancang dan diimplementasikan sebuah duplexer dengan menggunakan metoda Hybrid Coupler dan Bandstop Filter berbasis Split Ring Resonator untuk band frekuensi ke-7 pada teknologi LTE di sisi Base Transceiver Station (BTS). Duplexer dibuat dengan menggabungkan dua buah hybrid Coupler dan dua buah Bandstop Filter. Hasil pengukuran duplexer saat port Tx mengirimkan sinyal ke antena dengan nilai redaman pada frekuensi tengah downlink sebesar 3.168 dB. Lalu pada saat antena menerima sinyal untuk diteruskan ke Rx terdapat redaman di frekuensi tengah uplink sebesar 6 dB. Sedangkan untuk isolasi dari port Tx-port Rx dihasilkan sebesar 15 dB.

Kata kunci: Duplexer, Bandstop Filter, Split Ring Resonator, Hybrid Coupler, dan Long Term Evolution.

ABSTRACT

The necessary of mobile communication has increased in technology, now it released the new of technology is Long Term Evolution (LTE). Type of duplex is Frequency Division Duplex (FDD), designed a duplexer which it is capable for transmitting and receiving process at the same time with the different of frequency between uplink and downlink. Research of designed and implemented a duplexer using Hybrid Coupler and Bandstop filters based on Split Ring Resonators for the frequency band 7th on LTE technology at Base Transceiver Station (BTS). Duplexer is made by combining two coupler and two bandstop filter. The results of duplexer measurements, when Tx port transmit the signal to antenna port with attenuation at the downlink frequency center at 3.168 dB. Attenuation from antenna port to Rx port about 6 dB. Isolation between Tx port and Rx port about 15 dB.

Keywords: Duplexer, Bandstop Filter, Split Ring Resonator, Hybrid Coupler, and Long Term Evolution.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan komunikasi bergerak semakin mengalami peningkatan dalam dunia teknologi yang ada pada saat ini. Dengan semakin berkembangnya dunia telekomunikasi maka hadir teknologi terbaru yang disebut *Long Term Evolution* (LTE). LTE menawarkan berbagai kelebihan dibandingkan sistem sebelumnya, antara lain kecepatan akses data yang tinggi, peningkatan jumlah kapasitas kanal, dan dapat melayani komunikasi bergerak dengan performansi yang baik serta dapat menunjang kerja sama antar teknologi.

Sistem komunikasi dalam hal teknik pengiriman dibedakan menjadi 3 jenis yaitu, teknik dengan menggunakan *Simplex*, *Half Duplex*, dan *Full Duplex*. *Full Duplex* adalah sistem komunikasi dimana proses pengiriman dan penerimaan dapat dilakukan secara simultan. Untuk sistem komunikasi *full duplex* dibutuhkan sebuah duplexer. Ada dua jenis sistem *full duplex*: *Time Division Duplex* (TDD) dan *Frequency Division Duplex* (FDD). Pada TDD digunakan frekuensi *uplink* dan *downlink* yang sama, hanya waktu pengiriman dan penerimaan yang berbeda. Sebaliknya pada FDD waktu pengiriman dan penerimaan bersamaan tapi dengan frekuensi yang berbeda antara *uplink* dan *downlink*. (Siburian, 2011)

Sebelumnya duplexer mikrostrip pada frekuensi *uplink* 2500-2570 MHz dan frekuensi *downlink* 2620-2690 MHz dengan menggunakan metode *Coupler* juga *Bandstop* filter yang disatukan sehingga membentuk sebuah duplexer dan pada saat proses simulasi menggunakan CST *Microwave Studio*, telah dilakukan oleh Indah Wijayanti. (Wijayanti, 2010) Namun dengan menggunakan *software* simulator tersebut agak sulit untuk mensimulasikannya.

Lalu Jia-Sheng Hong dan M.J Lancaster, telah merancang duplexer dengan menggunakan metode *Tandem Coupler* serta *Bandstop* filter berbasis *Open-Loop Resonators* dengan mendapatkan hasil spesifikasi sesuai perancangannya. Duplexer yang dibuat terdiri dari dua buah *Tandem Coupler* dan dua buah *Bandstop* filter yang dipisahkan dengan skrup dan disambungkan dengan proses penyolderan. (Hong, 2001)

Tandem Coupler sulit untuk direalisasikan dengan mikrostrip karena terdapat *airbridge* yang dipasang menyilang antara *port 1* dan *port 2*. *Hybrid Coupler* lebih mudah disimulasikan dan direalisasikan dengan mikrostrip. *Bandstop* filter diimplementasikan dengan metoda *Split Ring Resonator* agar ukuran filter dapat diperkecil. Dengan demikian ukuran keseluruhan alat menjadi lebih kecil.

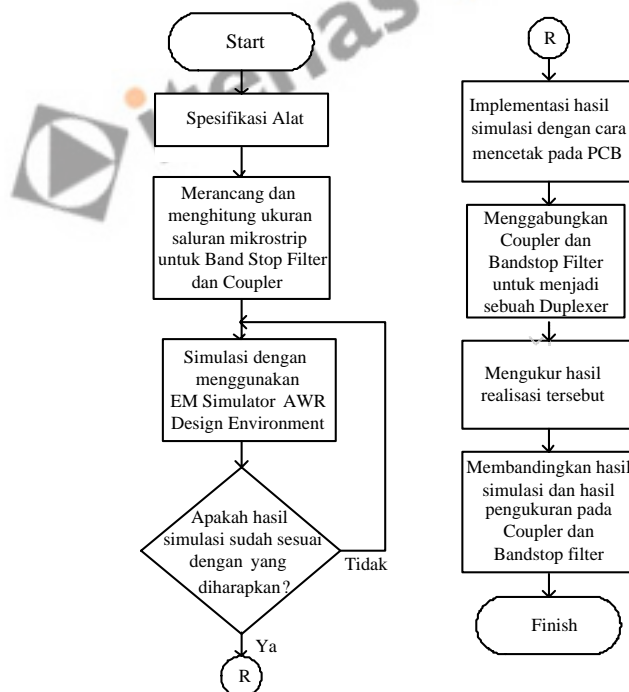
Dalam perancangan dan implementasi duplexer, ditentukan perumusan masalah yaitu, bagaimana membuat strip *Coupler* dengan menggunakan metode *Hybrid Coupler* dan strip *Bandstop* filter berbasis *Split Ring Resonators* yang disimulasikan pada *EM Simulator AWR Design Environment* serta bagaimana menggabungkan *Coupler* dan *Bandstop* filter menjadi sebuah duplexer. Proses penggabungan tersebut merupakan salah satu cara untuk membuat duplexer, serta disisi lain dapat menekan biaya menjadi lebih murah pada saat proses realisasinya.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah membuat sebuah duplexer dengan menggunakan mikrostrip, dengan cara menggabungkan dua buah *Coupler* yang menggunakan metode *Hybrid Coupler* dan dua buah *Bandstop* filter (BSF) berbasis *Split Ring Resonator* dengan mensimulasikan terlebih dahulu menggunakan sebuah *EM Simulator AWR Design Environment*, sehingga mendapatkan hasil respon duplexer yang diharapkan.

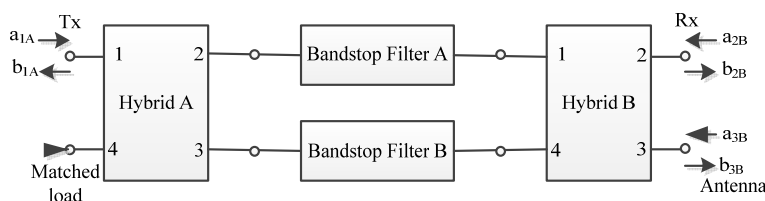
2. METODOLOGI

2.1 Perancangan simulasi

Perancangan sebuah duplexer dilakukan dengan cara menggabungkan dua buah *Coupler* dan dua buah *Bandstop* filter. *Coupler* yang akan dirancang menggunakan metode *Hybrid Coupler 90°*, yaitu *Coupler* yang memiliki kopling -3 dB serta beda fasa 90° pada keluarannya. Sedangkan untuk *Bandstop* filter berbasis *Split Ring Resonator* yang memiliki kelebihan yaitu ukuran filter dapat diperkecil sehingga ukuran keseluruhan alat menjadi lebih kecil. Duplexer ini bekerja pada band frekuensi ke-7 pada teknologi LTE dengan skema duplexing FDD, yang menggunakan frekuensi *uplink* 2500-2570 MHz dan frekuensi *downlink* 2620-2690 MHz. Kemudian untuk melakukan perancangan duplexer, hal yang dilakukan pertama adalah menentukan frekuensi kerja atau perancangan sistem, kemudian menghitung terlebih dahulu panjang dan lebar untuk saluran mikrostrip. Penggunaan EM Simulator AWR Design Environment bertujuan untuk melihat hasil respon *Coupler* dan *Bandstop* filter. Kemudian mengatur panjang dan lebar saluran mikrostrip agar mendapatkan hasil respon yang diharapkan. Lalu mengimplementasikan dengan cara mencetak pada PCB serta menggabungkan saluran mikrostrip untuk *Coupler* dan *Bandstop* filter agar menjadi sebuah duplexer dengan proses penyolderan. Kemudian mengukur hasil implementasi tersebut dan mengukur untuk mengetahui hasil respon keluarannya. Kemudian membandingkan dengan simulasi. *Flowchart* perancangan dan implementasi untuk duplexer ditunjukkan pada Gambar 1 untuk memudahkan pembaca agar memahami alur perancangan dan implementasi penelitian ini, serta Gambar 2 menunjukkan blok diagram Duplexer.



Gambar 1. *Flowchart* perancangan dan implementasi duplexer



Gambar 2. Blok diagram Duplexer

2.2 Perhitungan pada simulasi (Hong, 2001).

Perhitungan yang dilakukan sebelum simulasi adalah menentukan lebar saluran mikrostrip (W), konstanta dielektrik efektif, dan panjang saluran mikrostrip (λ). Untuk keperluan perancangan, bila diketahui impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik ϵ_r , lebar saluran (W) strip dapat dicari dengan Persamaan 1.

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] & W/d > 2 \end{cases} \quad (1)$$

Dengan A dan B menggunakan Persamaan 2,

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (2)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

Kemudian menghitung konstanta dielektrik efektif menggunakan Persamaan 4,

$$\epsilon_e = \begin{cases} \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\left[1 + \frac{12d}{W} \right]^{-1/2} + 0,04 \left[1 - \frac{W}{d} \right]^2 \right) & W/d \leq 1 \\ \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12d}{W} \right]^{-1/2} & W/d > 1 \end{cases} \quad (4)$$

Lalu panjang saluran mikrostrip dapat menggunakan Persamaan 5,

$$\lambda_g = \frac{c}{f_c \sqrt{\epsilon_e}} \quad (5)$$

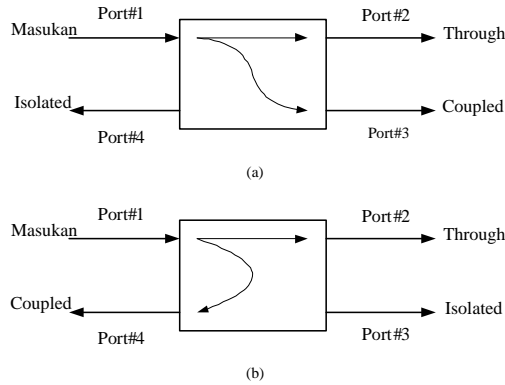
Dengan f_c menggunakan Persamaan 6.

$$f_c = \sqrt{f_a \cdot f_b} \quad (6)$$

3. HASIL PERANCANGAN DAN ANALISIS

3.1 Coupler

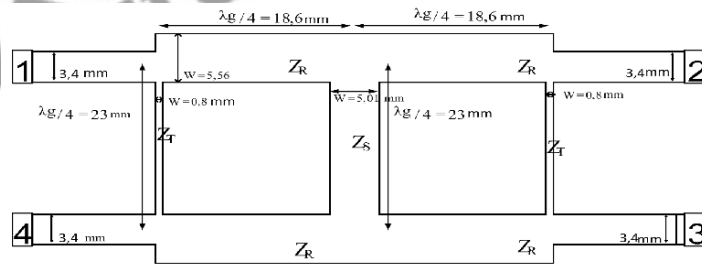
Perancangan pada *Coupler* diharapkan memiliki kopling -3 dB juga menghasilkan beda fasa 90° pada keluarannya, ini merupakan metode yang digunakan yaitu *Hybrid Coupler* 90° . Gambar 3 menunjukkan *Coupler* beserta arah input dan outputnya. (Sulaeman, 2010)



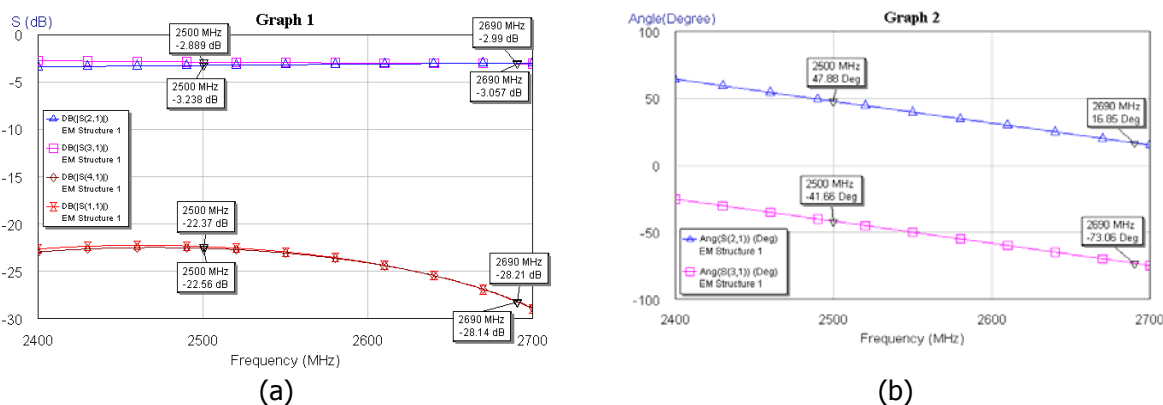
Gambar 3. *Four-port* sebagai *coupler* (a) forward, (b) backward

3.1.1 Perancangan dan realisasi *Coupler*

Setelah menghitung lebar dan panjang saluran mikrostrip untuk *Coupler* maka disimulasikan menggunakan *EM Simulator AWR Design Environment* untuk melihat hasil responnya. Hasil respon yang diharapkan adalah memiliki beda fasa 90° pada frekuensi kerja *Coupler* yaitu, 2500-2690 MHz. Gambar 4 menunjukkan hasil perancangan pada *Coupler*. Gambar 5 menunjukkan hasil respon frekuensi pada *Coupler* yang diharapkan memiliki kopling -3 dB antara S_{21} (direct) dan S_{31} (kopling) serta hasil respon beda fasanya. Respon beda fasa yang diharapkan antara S_{21} (direct) dan S_{31} (kopling) adalah 90° .



Gambar 4. Perancangan pada *Coupler*



Gambar 5. Hasil (a) respon frekuensi, dan (b) respon fasa pada *Coupler*

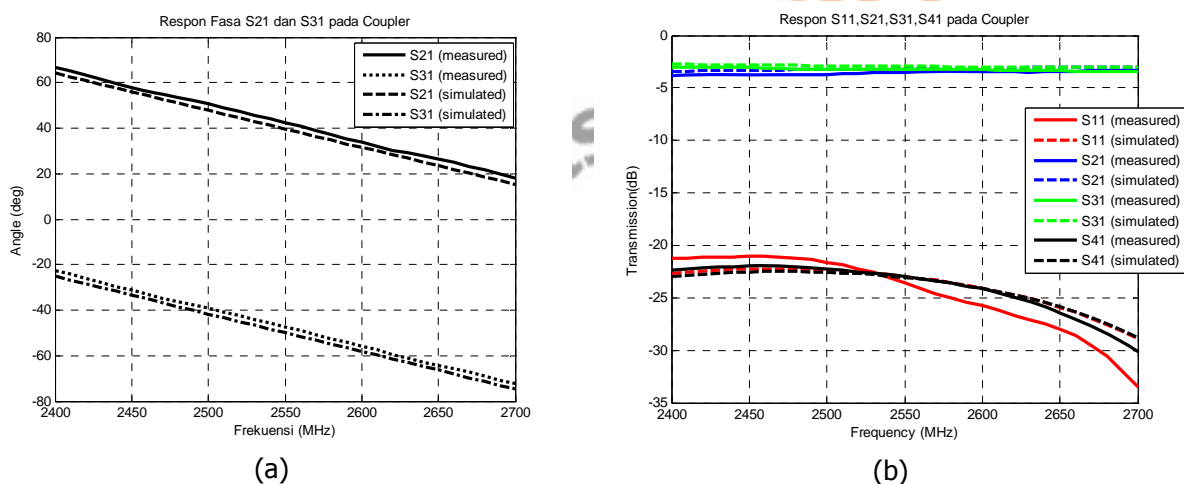
Setelah mendapatkan hasil simulasi *Coupler* yang sudah sesuai dengan apa yang diharapkan, langkah selanjutnya adalah mengimplementasikan dengan cara mencetak pada PCB berjenis Taconic yang memiliki tebal 1.52 mm dan besar $\epsilon_r = 3,5$. Kemudian memasang konektor berjenis SMA *gold* pada ujung *port*-nya, seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Implementasi Coupler

3.1.2 Hasil pengukuran dan analisis *Coupler*

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui bagaimana hasil simulasi yang telah direalisasikan pada sebuah PCB berjenis Taconic dengan tebal 1.52 mm dan $\epsilon_r = 3,5$, apakah sama dengan hasil simulasi sebelum direalisasikan. Gambar 7 merupakan gabungan dari hasil respon pengukuran dan simulasi menggunakan *software* MATLAB agar terlihat perbedaannya.



Gambar 7. Simulasi dan pengukuran (a) respon fasa, (b) respon frekuensi pada *Coupler*

Tabel 1 merupakan perbandingan hasil simulasi dan pengukuran untuk respon fasa yang diambil di dua titik sesuai dengan Gambar 7(a).

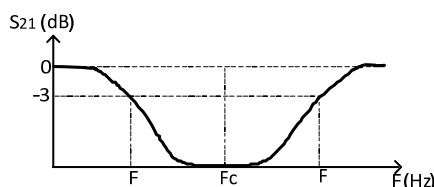
Tabel 1. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran pada *Coupler*

	2500 MHz			2690 MHz		
	S21	S31	Δ	S21	S31	Δ
Simulasi ($^{\circ}$)	47.88	-41.66	89.54	16.85	-73.06	89.91
Pengukuran ($^{\circ}$)	50.57	-39.15	89.72	19,73	-70.67	90.4

Sesuai dengan Tabel 1, terlihat bahwa terdapat perbedaan antara beda fasa saat simulasi dan pengukuran, hal ini dikarenakan pada saat simulasi menggunakan *perfect conductor* yang berarti saat simulasi dianggap tidak terdapat redaman, tetapi nyatanya setelah diimplementasikan redaman muncul dan tidak dapat diabaikan. Redaman yang muncul disebabkan pada proses penyolderan serta pada kabel-kabel saat pengukuran.

3.2 Band Stop Filter

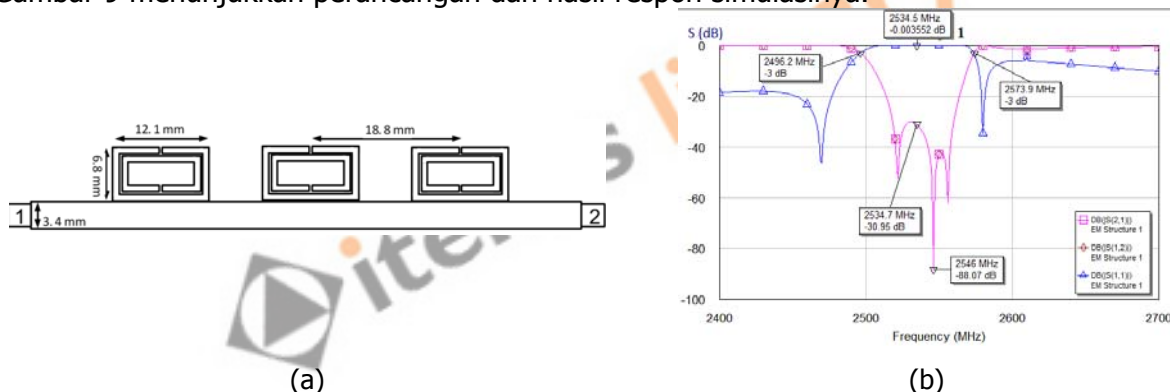
Band Stop Filter berfungsi untuk meredam frekuensi *uplink* (2500-2570 MHz) pada penelitian ini, dengan menggunakan metode *Split Ring Resonator* yang memiliki keuntungan ukuran filter dapat diperkecil, sehingga ukuran keseluruhan alat menjadi lebih kecil. Respon frekuensi yang diharapkan pada *Bandstop* filter ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Respon frekuensi *Band Stop Filter* (BSF)

3.2.1 Perancangan *Band Stop Filter*

Sama halnya dengan perancangan pada *Coupler*, yaitu sebelum melakukan simulasi dilakukan terlebih dahulu perhitungan untuk menentukan lebar dan panjang saluran untuk *Bandstop* filter. *Bandstop* filter bekerja pada frekuensi *uplink* yaitu 2500-2570 MHz dengan frekuensi tengah 2535 MHz. Lalu mensimulasikan dengan *EM Simulator AWR Design Environment* agar mengetahui bagaimana respon dari *Band Stop Filter* mikrostrip tersebut. Gambar 9 menunjukkan perancangan dan hasil respon simulasinya.



Gambar 9. (a) Perancangan, dan (b) Hasil respon *Band Stop Filter*

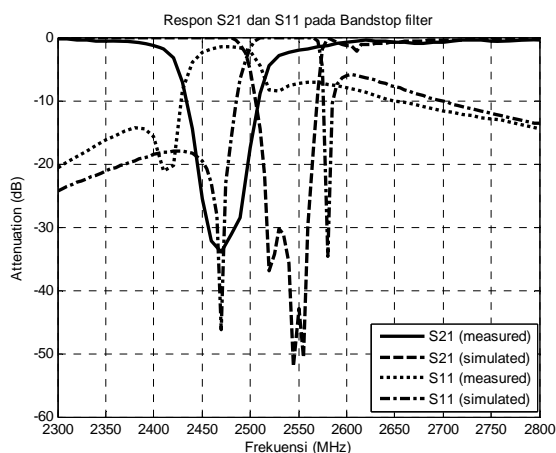
Gambar 9 menunjukkan hasil respon frekuensi. Pada *bandwidth* mendapatkan nilai sebesar 78 MHz, dengan redaman > 20 dB, dan nilai *Insertion Loss* mendekati nol. Untuk mencapai spesifikasi yang tepat dengan perancangan awal, sangat sulit dilakukan. Proses simulasi ini membantu perancangan, sehingga dapat mendekati hasil yang diharapkan. Lalu dengan menambahkan elemen resonator menjadi tiga, bertujuan untuk mendapatkan hasil respon frekuensi yang mendekati filter ideal (filter yang lebih curam). Kemudian pada saat proses implementasi dilakukan, diharapkan tidak terlalu jauh dengan hasil yang telah disimulasikan ini. Langkah selanjutnya juga sama dengan implementasi pada *Coupler* yaitu dengan cara mencetak pada PCB berjenis Taconic yang memiliki tebal 1,52 mm dan besar $\epsilon_r = 3,5$. Kemudian memasang konektor berjenis SMA *gold* pada ujung *port*-nya, seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Implementasi *Band Stop Filter*

3.2.2 Hasil pengukuran dan analisis *Band Stop Filter*

Hasil simulasi dan pengukuran untuk respon parameter S_{21} dan S_{11} pada *Band Stop Filter* dapat ditunjukkan pada Gambar 11 dengan menggabungkannya menggunakan *software* MATLAB. Terlihat bahwa terdapat pergeseran frekuensi tengah, hal ini mengakibatkan berubahnya nilai range frekuensi, frekuensi tengah, dan besarnya *bandwidth* pada saat perancangan, simulasi, dan pengukuran. Hasil perbandingan ketiga proses tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 11. Hasil simulasi dan pengukuran S_{21} dan S_{11} pada *Band Stop Filter*

Tabel 2. Perbandingan hasil perancangan, simulasi dan pengukuran pada *Band Stop Filter*

Parameter	Perancangan	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi tengah (f_0) (MHz)	2535	2534.7	2474.4
Range Frekuensi (MHz)	2500 – 2570	2496.2 – 2573.9	2420 – 2530
Bandwidth (MHz)	70	77.7	110

Pergeseran frekuensi tengah disebabkan oleh tidak presisinya jalur yang dibuat, sehingga pada saat pengukurannya membuat *range* frekuensi bergeser serta nilai *bandwidth* yang membesar, juga adanya redaman yang ditimbulkan pada proses penyolderan yang kurang baik serta pada kabel-kabel saat pengukuran. Juga pada saat simulasi *perfect conductor* yang berarti saat simulasi dianggap tidak terdapat redaman, tetapi nyatanya setelah diimplementasikan redaman muncul dan tidak dapat diabaikan. Redaman yang sangat besar ini mengakibatkan nilai *bandwidth* membesar sehingga nilai faktor kualitas menurun, seperti ditunjukkan pada Tabel 3 yang menggunakan persamaan faktor kualitas.

Tabel 3. Perbandingan nilai faktor kualitas

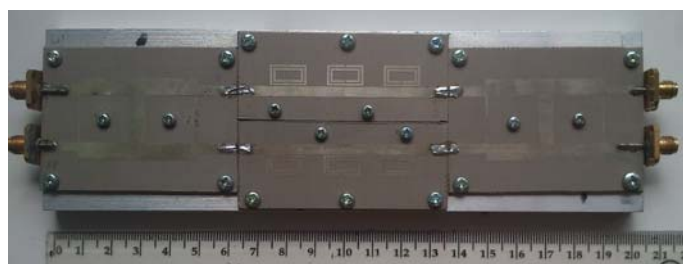
$Q = \frac{f_0}{BW} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$		
Perancangan	Simulasi	Pengukuran
$Q = \frac{f_0}{BW} = \frac{2535}{70} = 36.21$	$Q = \frac{f_0}{BW} = \frac{2534.7}{77.7} = 32.62$	$Q = \frac{f_0}{BW} = \frac{2474.4}{110} = 22.49$

Berdasarkan pada Tabel 3, semakin besar nilai Q , maka semakin tinggi nilai selektivitasnya, dan sebaliknya jika semakin kecil nilai Q , maka semakin rendah nilai selektivitasnya, dan ini

mempengaruhi filter saat melewatkan maupun meredam sinyal yang diinginkan. Kemudian pengaruh saat pemilihan jenis konektor, dan proses pemasangan konektor yang tidak baik pada proses implementasi sangat mempengaruhi hasil pengukurannya.

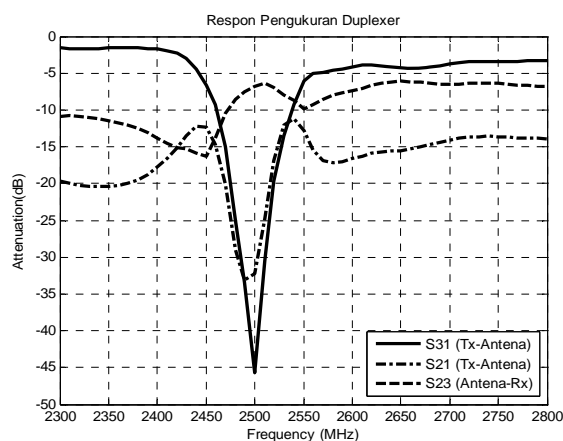
3.3 Duplexer

Setelah mengimplementasikan *Coupler* dan *Bandstop* filter langkah selanjutnya adalah dengan cara menggabungkan kedua sistem tersebut menjadi satu dengan cara proses penyolderan, sehingga *Coupler* dan *Bandstop* filter bersatu menjadi sebuah sistem yang dinamakan Duplexer. Dapat dilihat pada Gambar 12 yang merupakan hasil penggabungan *Coupler* dan *Bandstop* filter dengan proses penyolderan sehingga menjadi sebuah Duplexer dengan memasang empat buah konektor berjenis SMA *gold* pada sisi ujung *port*-nya.



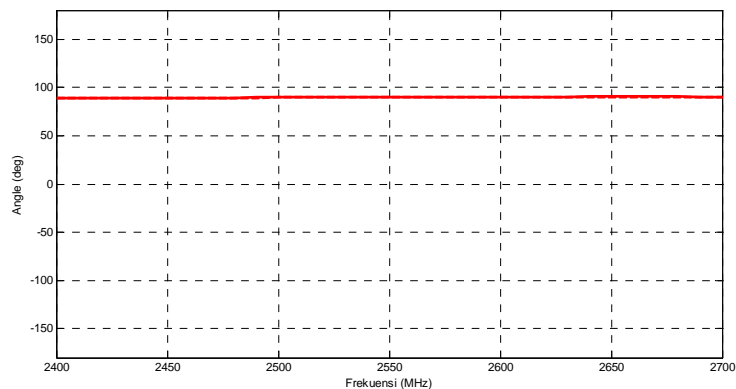
Gambar 12. Implementasi Duplexer

Pada Gambar 13 merupakan hasil pengukuran pada duplexer. Dilihat dari hasil pengukuran tersebut, terjadi pergeseran pada frekuensi *uplink*, hal ini disebabkan karena respon *Bandstop* filter yang dihasilkan pun bergeser frekuensinya. Kemudian faktor beda fasa yang dihasilkan pada *Coupler* pun mempengaruhi, karena respon *Coupler* yang dihasilkan kurang dan lebih dari 90° , yaitu 89.72° dan 90.4° , karena untuk mendapatkan 90° yang tepat sangat sulit untuk direalisasikan. Namun saat hasil respon pengukuran fasa parameter S_{21} dan S_{31} pada *Coupler* menggunakan *software* MATLAB ternyata mendekati 90° untuk setiap frekuensinya, seperti pada Gambar 14. Namun apabila dengan ketelitian yang sangat besar pada saat menggunakan *software* MATLAB akan terlihat ternyata pada setiap frekuensinya tidak 90° , bahkan besarnya sudut naik turun walaupun hanya dua angka dibelakang koma. Dapat dilihat pada Gambar 15, dengan tidak tepatnya fasa yang dihasilkan oleh *Coupler* menyebabkan hasil kinerja pengukuran pada duplexer tidak seoptimal mungkin pada saat mengirim atau bahkan menerima sinyal saat waktu bersamaan dan tanpa adanya kebocoran.

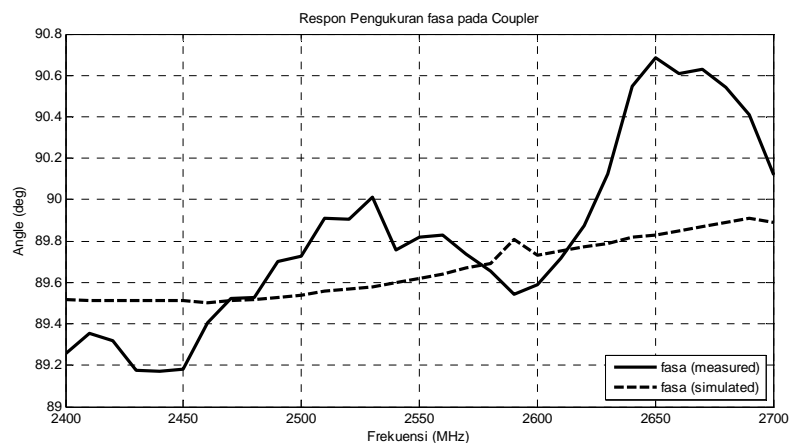


Gambar 13. Hasil pengukuran Duplexer

Pada respon parameter S_{31} , merupakan *port* Tx menuju ke Antenna menghasilkan respon yang cukup baik, karena pada saat Tx menuju Antena bekerja pada saat frekuensi *downlink*, sehingga untuk frekuensi *uplink* diredam sebesar mungkin, sedangkan untuk frekuensi *downlink* dipancarkan sebesar-besarnya. Hasil pengukuran parameter S_{31} untuk frekuensi tengah *uplink* dihasilkan sebesar 45.612 dB sedangkan untuk frekuensi tengah *downlink* dihasilkan redaman sebesar 3.168 dB. Pada frekuensi *uplink* dengan nilai tersebut sudah cukup baik karena > 20 dB, sedangkan untuk frekuensi *downlink* (frekuensi yang digunakan pada saat Tx memancarkan sinyal menuju ke antena) dengan nilai redaman 3.168 dB tersebut kurang baik karena akan mempengaruhi sinyal yang akan dipancarkan. Hal ini juga dipengaruhi dari respon fasa pada *Coupler* yang beda fasanya tidak 90° .



Gambar 14. Respon fasa s_{21} dan s_{31} pada Coupler dengan 90°



Gambar 15. Respon fasa s_{21} dan s_{31} pada Coupler dengan $\pm 90^\circ$

Kemudian hasil pengukuran respon parameter S_{21} yang merupakan isolasi, diharapkan meredam sinyal sebesar-besarnya, ini dikarenakan pada saat Tx akan memancarkan sinyal melalui antena, tidak ada sinyal yang masuk ke Rx. Ini merupakan salah satu fungsi dari duplexer, yaitu mengatur sinyal agar tidak terjadi kebocoran saat menerima dan mengirim sinyal, karena keduanya terjadi pada waktu yang bersamaan. Pada Gambar 13, hasil respon parameter S_{21} sudah cukup baik yaitu dihasilkan redaman sebesar 32 dB pada frekuensi tengah *uplink* sedangkan pada frekuensi tengah *downlink* dihasilkan redaman sebesar 15 dB. Tabel 4 menunjukkan hasil nilai redaman yang dihasilkan pada saat pengukuran duplexer.

Tabel 4. Nilai Redaman pada Duplexer

Parameter	Attenuation (dB)	
	Frekuensi <i>Uplink</i> (2420 – 2530 MHz)	Frekuensi <i>Downlink</i> (2620 – 2690 MHz)
S_{31} (Tx – Antena)	45.612	3.168
S_{21} (Tx – Rx)	32	15
S_{23} (Antena – Rx)	6	6.5

Lalu untuk hasil pengukuran respon parameter S_{23} , dimana antena akan menerima sinyal dari *user* yang akan diteruskan ke Rx, hasilnya kurang baik karena pada frekuensi *uplink* di sisi *passband* didapatkan nilai redaman sebesar 6 dB. Nilai ini akan mempengaruhi sinyal yang diterima oleh Rx. Hal ini dikarenakan adanya redaman yang sangat besar yang ditimbulkan kurang tepatnya fasa pada *Coupler* seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 15.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, proses simulasi dan hasil pengukuran maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengukuran pada *Coupler* dihasilkan respon fasa yang linier dengan beda fasa di frekuensi 2500 MHz adalah sebesar 89.72° , serta di frekuensi 2690 MHz dihasilkan 90.4° . Dihasilkan beda fasa saat pengukuran dengan simulasi di frekuensi 2500 MHz dan 2690 MHz sebesar 0.18° dan 0.49° .
2. *Band Stop Filter* menghasilkan respon frekuensi yang bergeser dari hasil respon simulasinya yaitu frekuensi tengah menjadi 2474.4 MHz serta *range* frekuensi 2420 – 2530 MHz dan *bandwidth* sebesar 110 MHz sedangkan pada simulasinya besarnya *bandwidth* 77 MHz. Redaman yang terjadi pada frekuensi *downlink* sebesar 0.7 dB.
3. Pada duplexer, Tx mengirimkan sinyal ke antena dengan nilai redaman pada frekuensi tengah *downlink* sebesar 3.168 dB. Lalu pada saat antena menerima sinyal untuk diteruskan ke Rx terdapat redaman di frekuensi tengah *uplink* sebesar 6 dB. Kemudian untuk isolasi dari *port Tx-port Rx* dihasilkan 15 dB.

DAFTAR RUJUKAN

- Siburian, S. (2011). Pengenalan Teknologi *Long Term Evolution*. Sumatra Utara : Universitas Sumatera Utara.
- Wijayanti, Indah. (2010). Realisasi dan Analisis *BSF Duplexer Microstrip* Pada Frekuensi *Uplink 2500-2570MHz* dan *Downlink 2620-2690MHz*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- Hong, Jia-Sheng. dan Lancaster, M.J. (2001). *Microstrip Filter for RF Microwave Applications. Case Study For Mobile Communications Applications*. Canada.
- Hong, Jia-Sheng. dan Lancaster, M.J. (2001). *Microstrip Filter for RF Microwave Applications. Transmissions Lines and Components*. Canada.
- Sulaeman, Enceng Ir. (2010). Bahan Ajar Kuliah : *Power Divider & Directional Coupler*, Program Studi Teknik Telekomunikasi. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.