

PERANCANGAN DAN REALISASI *DUAL-BAND BAND-STOP FILTER* DENGAN METODE *SPURLINE* DAN *STEPPED-IMPEDANCE RESONATOR* PADA FREKUENSI 2.45 GHZ DAN 5.8 GHZ

Ananda Dana Pratama¹, Elisma²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : ananda.dana.tcom417@polban.ac.id

²E-mail : elisma@polban.ac.id

ABSTRAK

Dengan teknologi telekomunikasi *wireless*, masyarakat mendapatkan kemudahan dalam berkomunikasi, tanpa perlu menggunakan dan instalasi kabel untuk berkomunikasi. Dengan seiring berjalannya waktu, jumlah pengguna teknologi yang semakin bertambah menyebabkan pengelolaan frekuensi menjadi terbatas. Trafik yang padat tersebut dapat menimbulkan *noise* dan interferensi pada operasi perangkat lainnya yang dapat merugikan pihak lain. Dengan demikian, diperlukan penghalang sinyal gelombang mikro dengan frekuensi tertentu. Untuk itu, pada makalah ini dirancang dan direalisasikan sebuah *dual-band band-stop filter* dengan menggunakan metode *spurline* dan *stepped-impedance resonator*. *Filter* tersebut dapat memblokir sinyal pada frekuensi 2.45 GHz dan 5.8 GHz dengan nilai *return loss* kurang dari 5 dB dan *insertion loss* lebih dari 20 dB. Bahan substrat yang digunakan adalah rogers 5880 yang memiliki ketebalan 1.57 mm dan konstanta dielektrik 2.2. Dimensi fisik filter mikrostrip yang berhasil direalisasikan memiliki ukuran bernilai 2 x 6.95 cm. Dari hasil pengukuran filter di lab, didapatkan nilai frekuensi tengah yang masing-masing bernilai 2.53 GHz dan 5.95 GHz, *insertion loss* pada frekuensi tengah masing-masing bernilai 15.52 dB dan 15.79 dB, *return loss* pada frekuensi tengah masing-masing bernilai 2.52 dB dan 2.48 dB, dan *bandwidth* masing-masing bernilai 157.05 MHz dan 221.67 MHz.

Kata Kunci

Band-stop filter, dual-band, spurline, stepped-impedance resonator, insertion loss, return loss

1. PENDAHULUAN

Perusahaan telekomunikasi di era globalisasi saat ini semakin berkembang seiring dengan pesatnya kebutuhan komunikasi. Teknologi telekomunikasi yang maju memberikan kemudahan kepada masyarakat untuk melakukan aktivitas komunikasi dan dapat meminimalisir biaya yang dikeluarkan. Perkembangan teknologi telekomunikasi sudah berkembang dari *wired network* menjadi *wireless network*. Dengan teknologi *wireless*, masyarakat menjadi lebih mudah untuk melakukan komunikasi jarak jauh [1].

ISM *band* merupakan pita frekuensi yang sudah digunakan secara luas di bidang komunikasi, militer, dan sains. Pita frekuensi dari ISM *band* adalah 2.4 GHz dan 5.8 GHz yang dimana kedua frekuensi tersebut merupakan *unlicensed band*. Dengan demikian, kedua pita frekuensi tersebut dapat digunakan secara bebas oleh masyarakat yang digunakan untuk mendukung berbagai kegiatan seperti melakukan komunikasi jarak jauh.

Seiring berjalannya waktu, semakin banyak produk komersial atau perangkat yang bekerja pada pita frekuensi tersebut sehingga terjadi peningkatan jumlah pengguna pada pita frekuensi tertentu. Dengan demikian, trafik yang padat terjadi pada pita frekuensi tersebut karena jumlah pengguna yang tinggi dapat menimbulkan yang dapat mengganggu kinerja operasi

perangkat lainnya di bidang komunikasi, sains, maupun militer. Masalah lain juga terjadi apabila sinyal yang tidak diinginkan menimbulkan interferensi yang merusak informasi yang ditransmisikan. Dengan demikian sebuah penggunaan *filter* pada suatu perangkat telekomunikasi *wireless*, memainkan peran penting dalam menyeleksi ataupun menolak frekuensi tertentu, sehingga interferensi dan *noise* dapat diminimalisir [2].

Untuk frekuensi rendah, *lumped element* seperti induktor dan kapasitor digunakan pada desain *filter*, sedangkan *transmission line section* dan *waveguide elements* digunakan pada desain *filter* untuk frekuensi *microwave band-stop filter* [3] Salah satu metode yang sering digunakan dalam merancang *filter* mikrostrip adalah metode *Spurline* dan *Stepped Impedance Resonator*. Dengan demikian, digunakan kombinasi kedua metode tersebut untuk perancangan *Dual-Band Band-Stop Filter* pada frekuensi 2.45 GHz dan 5.8 GHz. Kedua metode tersebut merupakan metode sederhana yang memiliki karakteristik *dual-band* dan *bandwidth* maksimal 10 % dan dapat meminimalisir nilai dari dimensi fisik. [4]

2. DASAR TEORI

2.1. Band-Stop Filter

Band-Stop Filter adalah *filter* atau penyaring frekuensi yang menolak dan memblokir frekuensi yang berada di antara dua titik *cut-off*, sedangkan semua frekuensi yang berada di bawah frekuensi tertentu (dibawah titik *cut-off*) dan semua frekuensi yang berada diatas frekuensi tertentu (diatas titik *cut-off*) akan dilewatkannya.

2.2. Spurline

Spurline merupakan salah satu metode yang digunakan untuk merancang *band-stop filter*. Pada awalnya, *spurline* berasal dari bentuk *Stripline* oleh Shiffman dan Mattahei. Akan tetapi, Bates mengimplementasi *stripline* tersebut ke dalam bentuk mikrostrip. [5]

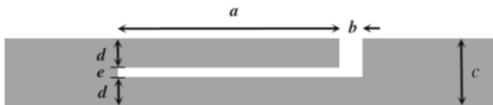
Spurline menawarkan *bandwidth* yang lebih besar dengan perkiraan 10%. Struktur resonan terletak didalam line. Hal ini menyebabkan reduksi pada *radiation loss* jika dibandingkan dengan desain *bandstop* dengan menggunakan *coupled-lines* or stubs. Jika diasumsikan velositi fasa dari even dan odd mode adalah sama, maka open circuit line dapa di persentasikan dengan karakteristik impandisi Z_1 sedangkan yang satu lagi disebut Z_{12} . Panjang dari spur a diperkirakan bernilai $\lambda/4$ pada midband. Sedangkan *gap(b)* dikenal sebagai efek *friengen field*, yang dimana adalah *line* ekstensi. Sehingga panjang keseluruhan spur adalah:

$$a = \frac{c}{4f_r \sqrt{\epsilon_{re0}}} - \delta l \quad (1)$$

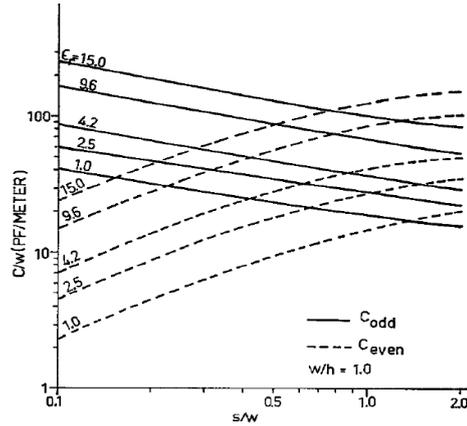
ϵ_{re0} adalah permitifitas efektif odd mode pada resonansi frekuensi

$$\delta l = C_{odd} V_{po} Z_{oo} \quad (2)$$

Z_{oo} , v_{po} and C_{odd} adalah impedansi karakteristik, fase *velocity*, dan kapasitansi dari odd mode. Z_{oo} - didapatkan dari Z_1 dan Z_{12} , sedangkan C_{oo} dapat ditemukan dari grafik yang ditunjukkan pada gambar ketika perbandingan W/h adalah 1



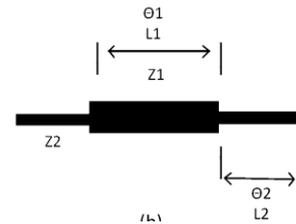
Gambar 1. Konfigurasi Spurline [5]



Gambar 2. Grafik C_{even} dan C_{odd} per unit lebar dengan nilai konstanta dielektrik dari 1 sampai dengan 15. [6]

2.3. Stepped-Impedance Resonator

Stepped Impedance Resonator (SIR) merupakan resonator yang berupa saluran mikrostrip yang dapat menghasilkan *dual band* pada filter dengan ukuran resonator yang dapat diubah agar menghasilkan ukuran dimensi filter yang kecil. Saluran mikrostrip pada SIR memiliki struktur seperti pada umumnya saluran mikrostrip yang terdiri dari bidang tanah dan konduktor strip dipisahkan oleh substrat dielektrik dengan konstanta dielektrik [7]. Bentuk dasar SIR saat $\lambda g/2$ dapat ditunjukkan pada Gambar II.12.



Gambar 3. Bentuk dasar *stepped impedance* resonator

Nilai dimensi dari induktor dan kapasitor pada rangkaian *lumped element* dapat di konversi menjadi transmisi *lines*. Induktor dapat diganti dengan menggunakan *short-circuit stub* dengan bernilai βl dan impedansi karakteristik L . Sedangkan kapasitor juga dapat diganti dengan menggunakan *open-circuit stub* yang bernilai βl dan impedansi karakteristik $1/C$. Persamaan dibawah adalah persamaan untuk mendapatkan nilai βl . [8]

$$Z_{in} = jZ_h \tan \beta l = j\omega L' \quad (3)$$

$$Z_{in} = -jZ_l \cot \beta l = -j \frac{1}{\omega C'} \quad (4)$$

2.4. Parameter Pengukuran

Insertion loss atau IL adalah rugi sisipan yang dapat menunjukkan ukuran keefektifan sebuah filter. Untuk *band-stop filter*, semakin besar nilai IL, semakin bagus *band-stop filter* dalam menghalau sinyal [9]. Selanjutnya adalah *return loss* atau RL yang merupakan

parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang dan daya yang kembali sebagai pantulan [10]. Parameter selanjutnya adalah Frekuensi tengah merupakan ukuran frekuensi yang memiliki nilai IL yang paling besar sehingga menjadi pusat diantara frekuensi *cut-off* atas dan bawah Lebar pita frekuensi yang dibatasi frekuensi *cut-off* dikenal dengan *bandwidth*. Untuk mengetahui *bandwidth* dapat menggunakan persamaan dibawah ini. [9]

$$BW = f_1 - f_2 \quad (5)$$

3. METODOLOGI PELAKSANAAN

3.1. Spesifikasi Dual-Band Band-Stop Filter

Terdapat spesifikasi yang diharapkan dari hasil realisasi *dual-band band-stop* yang terukur yang ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Band-Stop Filter* yang diharapkan

Parameter	Nilai
Frekuensi Tengah	$f_{01}=2450\text{MHz}$ $f_{02}=5800\text{MHz}$
Toleransi Frekuensi Tengah	5% dari frekuensi tengah
<i>Bandwidth</i>	Maksimal 10% dari frekuensi tengah
<i>Insertion Loss</i> (IL)	$\geq 20 \text{ dB}$
<i>Return Loss</i> (RL)	$\approx 0 \text{ dB}$

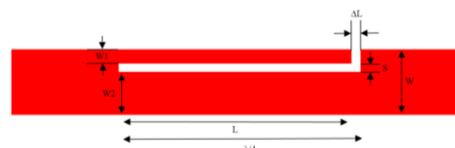
Terdapat juga spesifikasi bahan substrat *band-stop filter* yang akan digunakan yaitu Rogers 5880 adalah konstanta dielektrik bernilai 2.2. dielektrik loss tangen bernilai 0.0009, dan ketebalan dielektrik bernilai 1.57mm

3.2. Perancangan

3.2.1. Spurline

Spurline memiliki beberapa nilai dimensi fisik yang harus ditetapkan untuk mendapatkan spesifikasi yang sudah ditentukan. Cara yang digunakan untuk menentukan dimensi fisik *spurline* adalah dengan cara *trial & error*. Cara tersebut merupakan cara dimana melakukan pengujian pada setiap perubahan nilai dimensi fisik dan melakukan optimasi hingga mendapatkan nilai *error* yang paling minimal.

Nilai-nilai dimensi fisik *spurline* dapat ditentukan berdasarkan nilai *W feedline* yang sudah diperhitungkan. Nilai dimensi dari *L*, ΔL , *S*, *W1* dan *W2* diatur sedemikian rupa hingga mendapatkan respon frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan. Berdasarkan percobaan, perubahan nilai dimensi fisik dari *L* dan ΔL , berpengaruh pada nilai frekuensi tengah. Sedangkan untuk perubahan nilai *S*, *W1*, dan *W2* berpengaruh pada *bandwidth* dan frekuensi *cut-off*. Setelah dilakukan percobaan, ditetapkan nilai dimensi fisik *spurline* yang menghasilkan respon frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan yang ditunjukkan oleh tabel 2.



Gambar 4. Bentuk fisik metode *spurline* dilihat dari sisi atas

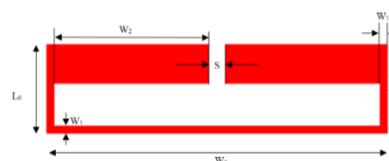
Tabel 2. Dimensi Fisik *Band-Stop Filter* Metode *Spurline*

Parameter	Nilai (mm)
<i>W</i>	4.838
<i>W1</i>	0.254
<i>W2</i>	4.33
<i>S</i>	0.254
ΔL	0.254
<i>L</i>	22.775

3.2.2 Stepped-Impedance Resonator

Perancangan metode *stepped-impedance* resonator dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu dimulai dengan merancang prototipe lumped element sirkuit dari *low-pass filter*, melakukan transformasi *low-pass filter* menjadi *band-stop filter*, mengubah *lumped element* menjadi mikrostrip *line*, dan melakukan optimasi dengan fitur yang disediakan oleh aplikasi *Advance Design System 2020*.

Untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yang lebih kecil, nilai dimensi fisik dari mikrostrip *line* yang didapatkan dari optimasi, digunakan untuk menyusun *stepped-impedance* resonator *hairpin*. Penentuan jumlah *hairpin* yang akan digunakan menjadi bagian dari perancangan SIR. Jumlah *hairpin* berpengaruh pada *bandwidth*. Desain SIR *hairpin* diletakkan bersebelahan dengan jalur *feedline* dengan gap yang sudah ditentukan.



Gambar 5. Bentuk fisik metode *stepped-impedance* resonator *hairpin* dilihat dari sisi atas

Tabel 3. Dimensi fisik *stepped impedance resonator hairpin*

Parameter	Nilai(mm)
Jarak antar <i>hairpin</i> (<i>G</i>)	11.124
Jarak antara <i>hairpin</i> dengan <i>feeder</i> (ΔG)	0.5
<i>L0</i>	2.167
<i>L1</i>	0.765
<i>L2</i>	1.402
<i>W0</i>	7.936
<i>W1</i>	0.254
<i>W2</i>	3.564
<i>S</i>	0.3

3.2.3 Penggabungan Metode *Spurline* dan *Stepped-Impedance Resonator*

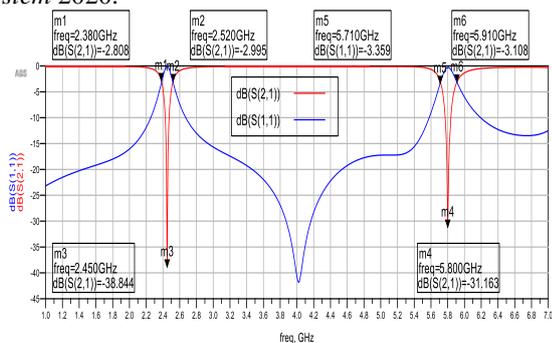
Langkah selanjutnya setelah menetapkan nilai akhir dari dimensi fisik untuk kedua metode adalah proses penggabungan untuk menghasilkan sifat *dual-band* pada *filter*. Proses penggabungan yang dilakukan adalah menempatkan kedua metode tersebut di dalam satu garis feeder yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 6



Gambar 6. Bentuk fisik *dual-band band-stop filter* metode *spurline* dan *stepped-impedance resonator*

3.3. Simulasi

Langkah selanjutnya setelah semua persiapan simulasi sudah dilakukan adalah melakukan simulasi respon frekuensi dari perancangan *dual-band band-stop filter* dengan menggunakan aplikasi *Advanced Design System 2020*.



Gambar 7. Grafik simulasi respon frekuensi dari perancangan *dual-band band-stop filter*

Tabel 4. Spesifikasi pada simulasi *dual-band band-stop filter*

Parameter	Nilai
Frekuensi Cut Off Bawah (GHz)	$f_{c11} = 2.39$
	$f_{c12} = 2.52$
Frekuensi Cut Off Atas (GHz)	$f_{c21} = 5.72$
	$f_{c22} = 5.92$
Frekuensi Tengah (GHz)	$f_{01} = 2.45$
	$f_{02} = 5.8$
Insertion Loss(dB)	$IL_1 = 38.84$
	$IL_2 = 31.16$
Return Loss(dB)	$RL_1 = 0.11$
	$RL_2 = 0.39$

3.4. Realisasi



Gambar 8. Realisasi *Dual-Band Band-Stop Filter*

Setelah mendapatkan hasil simulasi yang memenuhi spesifikasi yang diharapkan, layout *dual-band band-stop filter* tersebut direalisasikan ke sebuah PCB. Layout tersebut di *ekspor* dari *software* Advance Design System 2020 dalam bentuk gerber *file* dan di *import* ke dalam *software* Eagle Autodesk untuk membuat garis tepi pada layout *filter*. Fungsi garis tepi adalah untuk memberikan informasi ukuran yang akan dicetak kepada jasa cetak PCB. Karena keterbatasan ukuran PCB Rogers 5880 yang tersedia, maka ukuran yang akan dicetak adalah 6.95 x 2 cm. Setelah diberi garis tepi, *file layout* tersebut di *export* menjadi *file dxf* oleh *software* Eagle Autodesk. di berikan ke pada pihak jasa cetak PCB beserta dengan bahan PCB Rogers 5880.

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1. Pengujian

Setelah dilakukan proses realisasi, tahap selanjutnya adalah pengujian dari realisasi filter yang telah di buat. Tujuan dari pengukuran ini adalah mendapatkan data-data yang diperlukan yang nantinya akan dibandingkan dengan spesifikasi yang telah ditentukan dari hasil simulasi sebelumnya pada aplikasi *Advanced Design System 2020*. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan Anritsu Shockline Economy Network Analyzer MS46322A

Tabel 5. Spesifikasi pada pengukuran *dual-band band-stop filter*

Spesifikasi	Pengukuran
Frekuensi Stop (GHz)	$f_{c11} = 2.45$
	$f_{c12} = 2.53$
	$f_{c21} = 5.84$
	$f_{c22} = 5.06$
Bandwidth -3dB (MHz)	$BW_1 = 157.05$
	$BW_2 = 221.67$
Frekuensi Tengah (Ghz)	$f_{01} = 2.53$
	$f_{02} = 5.95$
Insertion Loss (dB)	$IL_1 = 14.5$
	$IL_2 = 15.79$
Return Loss (dB)	$RL_1 = 2.52$
	$RL_2 = 2.48$



Gambar 9. Grafik Hasil Pengukuran *Return Loss* dan *Insertion Loss*

Tabel 6 merupakan data data simulasi dan pengukuran yang disajikan dalam bentuk tabel. Tabel

ini berfungsi sebagai pembanding pada setiap spesifikasi yang didapatkan.

Tabel 6. Perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran

Spesifikasi	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Stop (GHz)	$f_{c11} = 2.39$	$f_{c11} = 2.45$
	$f_{c12} = 2.52$	$f_{c12} = 2.53$
	$f_{c21} = 5.72$	$f_{c21} = 5.84$
	$f_{c22} = 5.92$	$f_{c22} = 5.06$
Bandwidth -3dB (MHz)	$BW_1 = 135$	$BW_1 = 157.05$
	$BW_2 = 200$	$BW_2 = 221.67$
Frekuensi Tengah (Ghz)	$f_{01} = 2.45$	$f_{01} = 2.53$
	$f_{02} = 5.8$	$f_{02} = 5.95$
Insertion Loss (dB)	$IL_1 = 38.84$	$IL_1 = 14.5$
	$IL_2 = 31.16$	$IL_2 = 15.79$
Return Loss (dB)	$RL_1 = 0.11$	$RL_1 = 2.52$
	$RL_2 = 0.39$	$RL_2 = 2.48$

4.2. Analisis

Berdasarkan tabel 6, terdapat perbedaan frekuensi tengah antara hasil simulasi dan hasil simulasi. Pada hasil simulasi, nilai frekuensi tengah yang didapatkan adalah 2.45 GHz dan 5.8 GHz yang dimana hasil simulasi tersebut sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Sedangkan pada hasil pengukuran, nilai frekuensi tengah yang didapatkan adalah 2.53 GHz dan 5.95 GHz. Berdasarkan spesifikasi yang diharapkan, nilai frekuensi tengah memiliki nilai toleransi bernilai maksimal 5%. Dengan demikian, nilai frekuensi tengah pada hasil pengukuran memiliki persentase 3.24% untuk frekuensi pertama dan 2.58% untuk frekuensi kedua. Dari nilai persentase yang didapatkan tersebut membuktikan bahwa nilai frekuensi stop yang didapatkan sesuai dengan spesifikasi yang didapatkan. Pergesaran frekuensi tengah tersebut disebabkan oleh perubahan nilai konstanta dielektrik. Berdasarkan percobaan yang sudah dilakukan, semakin kecil nilai konstanta dielektrik maka nilai frekuensi tengah akan bergeser kekanan. Sehingga, dari hasil frekuensi tengah pada pengukuran menunjukkan bahwa nilai konstanta dielektrik pada bahan rogers 5880 adalah kurang dari 2.2. Nilai konstanta dielektrik yang tidak sesuai disebabkan adanya nilai toleransi sebesar 0.2 yang dicantumkan pada *datasheet* Rogers 5880.

Nilai *bandwidth* yang didapatkan pada hasil simulasi adalah 135 Mhz dan 200 MHz. Nilai *bandwidth* tersebut sudah memenuhi nilai spesifikasi yang diharapkan yaitu dimana nilai *bandwidth* yang diharapkan memiliki nilai maksimal 245 MHz dan 580 MHz. Sedangkan pada hasil pengukuran, nilai *bandwidth* yang didapatkan adalah 157.05 MHz dan 221.67 MHz. Sehingga nilai *bandwidth* pada hasil pengukuran sudah memenuhi hasil pengukuran.

Nilai *insertion loss* pada frekuensi tengah pada spesifikasi yang diharapkan memiliki nilai lebih dari 20 dB. Nilai *insertion loss* ini menunjukkan kualitas *filter*

dalam meredam atau menghilangkan sinyal RF pada frekuensi tengah yang diharapkan. Pada hasil simulasi, nilai *insertion loss* yang didapatkan adalah 38.84 dB pada frekuensi pertama dan 31.16 dB pada frekuensi kedua. Berdasarkan kedua nilai *insertion loss* yang didapatkan dari simulasi, nilai *insertion loss* tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan karena memiliki nilai lebih dari 20 dB. Sedangkan pada hasil pengukuran, nilai *insertion loss* yang didapatkan adalah 14.51 dB dan 15.79 dB. Nilai *insertion loss* tersebut belum memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Sedangkan untuk nilai *return loss* yang dimana menunjukkan kualitas *filter* dalam memantulkan sinyal. Semakin kecil nilai *return loss*, maka nilai pantul dari filter tersebut semakin besar. Nilai *return loss* pada spesifikasi yang diharapkan memiliki nilai kurang dari 5dB. Berdasarkan nilai *return loss* yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu 0.11 dB dan 0.39 dB, nilai tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Sedangkan pada hasil pengukuran, nilai *insertion loss* yang didapatkan memiliki nilai masing-masing 2.52 dB dan 2.48 dB. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *return loss* dari hasil pengukuran sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

Berdasarkan perbandingan nilai *insertion loss* dan *return loss*, terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan yang terjadi disebabkan oleh faktor proses realisasi, proses soldering, temperatur pada *filter*, konektor yang digunakan, dan kabel yang digunakan. Faktor - faktor tersebut yang menyebabkan *filter* yang sudah direalisasi tidak mampu memiliki kualitas sebagai penghalang sinyal yang sama dengan simulasi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan dan realisasi filter secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa

1. Pada hasil pengukuran *dual-band band-stop filter*, didapatkan frekuensi stop dengan rentang frekuensi 2.45 GHz sampai dengan 2.53 GHz untuk *band* frekuensi pertama dan rentang frekuensi 5.84 GHz dan 5.06 GHz
2. Didapatkan spesifikasi dari *filter* dimana nilai frekuensi tengah masing-masing bernilai 2.53 GHz dan 5.95 GHz, *insertion loss* pada frekuensi tengah masing-masing bernilai 14.52 dB dan 15.79 dB, *return loss* pada frekuensi tengah masing-masing bernilai 2.52 dB dan 2.48 dB, dan *bandwidth* masing masing bernilai 157.05 MHz dan 221.67 MHz.
3. Dari data pengukuran, terdapat spesifikasi yang tidak memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu nilai *insertion loss* yang kurang dari 20dB pada kedua band frekuensi stop. Faktor yang menyebabkan ketidaksesuaian antara hasil pengukuran dan perancangan disebabkan oleh redaman dari konektor, redaman akibat *miss match*, faktor realisasi, dan ukuran bahan PCB yang tidak sesuai.

4. *Filter* yang berhasil direalisasikan memiliki nilai dimensi fisik mikrostrip dengan ukuran 2x6.95 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. C. Dewi, "WIRELESS TECHNOLOGY DEVELOPMENT: HISTORY, NOW, AND THEN," *ComTech*, vol. 2, no. 2, pp. 1224-1240, 2011.
- [2] S. Ariyanti and L. P. Arif, "EVALUASI PEMANFAATAN FREKUENSI 2.4 GHz DALAM PENYELENGGARAAN INTERNET WIRELESS," *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, vol. 9, no. 3, pp. 293-315, 2011.
- [3] S. Mumtaz, "Spurious response elimination techniques for microwave low pass and band pass filter," Universitas Sains Malaysia, 2005.
- [4] H. G. S. Alrwuili, "Dual-Band Bandstop Filter (Dbbsf) Using Spurline & Stepped-Impedance Resonator With Tunable Devices," University of Colorado Colorado Springs, 2018.
- [5] Z. Awang, *Microwave Systems Design*, Singapore: Springer Singapore, 2014.
- [6] R. Bates, "Design of microstrip spur-line band-stop filters," *MICROWAVES, OPTICS AND ACOUSTICS*, vol. 1, no. 6, pp. 209-214, 1977.
- [7] K. Xu, "Novel Design Of A Compact Triple-Band Bandpass Filter Using Short Stub-Loaded JSirs And Embedded Sirs Structure," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 142, p. 309, 2013.
- [8] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001.
- [9] F. Sahala and E. Sulaeman, "Perancangan dan Simulasi Bandpass Filter untuk Aplikasi IF Radar Coastal pada Frekuensi 500 MHz - 700 MHz," *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 13-19, 2020.
- [10] E. Sulaeman, "Filter Gelombang Mikro," in *HF & Gelombang Mikro*, Bandung, Politeknik Negeri Bandung, 2007, pp. 1-10.