

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 15 NOMOR 1

April 2019

**Substrate Integrated Waveguide Bandpass Filter dengan Complementary Split
Ring Resonator**

1-6

Dian Widi Astuti, Muslim, dan Trya Agung Pahlevi

JRE	Vol. 15	No. 1	Hal 1-74	Banda Aceh, April 2019	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	----------	---------------------------	--------------------------------------

Substrate Integrated Waveguide Bandpass Filter dengan Complementary Split Ring Resonator

Dian Widi Astuti, Muslim, dan Trya Agung Pahlevi
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Mercu Buana
Meruya Selatan No 1, Jakarta Barat 11650
e-mail: dian.widiastuti@mercubuana.ac.id

Abstrak—Substrate integrated waveguide (SIW) merupakan teknik mengimplementasikan *waveguide* ke bahan mikrostrip yang dapat diaplikasikan pada filter, antena, *mixer*, *coupler*, dan lain sebagainya. Pengimplementasian SIW ke filter dapat mengatasi masalah reduksi ukuran dan tingginya *insertion loss* yang biasa terjadi pada filter konvensional. Sedangkan metoda *complementary split ring resonator* (CSRR) mengatasi masalah reduksi ukuran dan selektifitas pada filter konvensional, dengan demikian penggabungan keduanya dapat memberikan performansi filter menjadi lebih baik. Penelitian ini mengusulkan kedua metode tersebut dalam merealisasikan suatu *bandpass filter* dengan mempergunakan studi parameter. Rancangan *bandpass filter* bekerja pada frekuensi 3,4 – 4,6 GHz dengan nilai *insertion loss* 0,5 dB dan nilai return loss di atas 15 dB serta memiliki satu *transmission zeros* pada frekuensi 3,32 GHz. Sedangkan hasil pengukuran memberikan nilai *insertion loss* di bawah 3 dB dan *return loss* 6,5 dB.

Kata kunci: *bandpass filter, complementary split ring resonator, substrate integrated waveguide, filter mikrostrip*

Abstract— Substrate integrated waveguide (SIW) is a technique to implement waveguide into microstrip material that can be applied to filter, antenna, mixer, coupler, and so on. Implementation of SIW to filter can overcome the problem of size reduction and high insertion loss commonly used in conventional filter. While the complementary split ring resonator (CSRR) method overcomes the problem of size reduction and selectivity in conventional filters, thus combining the two can provide better filter performance. This research proposes both methods in realizing a bandpass filter by using parameter study. Bandpass filter design works on a frequency of 3.4 – 4.6 GHz with an insertion loss value of 0.5 dB and a return loss value above 15 dB and has one transmission zeros at the frequency of 3.32 GHz. While the measurement results provide insertion loss value below 3 dB and 6.5 dB return loss.

Keywords: *bandpass filter, complementary split ring resonator, substrate integrated waveguide, microstrip filter*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Saluran transmisi mikrostrip merupakan salah satu jenis saluran transmisi planar yang dapat dipakai sebagai aplikasi komponen gelombang mikro, millimeter, dan terahertz selain *triplat* dan saluran koplanar. Saluran transmisi mikrostrip merupakan sebuah substrat dielektrika dengan permitivitas dan ketebalan tertentu. Setidaknya pada saluran transmisi mikrostrip akan terdiri dari *strip* tembaga pada bagian atas, substrat dan lapisan ground pada bagian bawahnya.

Pembuatan saluran transmisi mikrostrip sendiri dapat dilakukan dengan cara photolithografi dan *etching* yaitu dengan melarutkan bahan kimia tertentu untuk membuang lapisan tembaga di bagian tertentu. Ada juga yang mempergunakan teknologi lapisan *film* yang tipis sampai tebal untuk pembuatan saluran transmisi mikrostrip. [1]. Sehingga pembuatan komponen gelombang mikro tersebut dinilai cukup mudah dan murah apabila diproduksi secara

banyak. Adapun komponen gelombang mikro yang dapat diaplikasikan pada saluran transmisi planar adalah kopler, transformator, percabangan, dan filter.

Salah satu jenis filter yang berfungsi melewatkan frekuensi pada batas bawah, f_1 sampai frekuensi batas atas, f_2 dinamakan dengan *bandpass filter* [2]. Selain itu terdapat juga *low pass filter* [3], *high pass filter*, *bandstop filter* [4], dan lain-lainnya, dimana kesemuanya diklasifikasikan berdasarkan fungsi dari filter tersebut. Permasalahan bercampurnya dua aplikasi frekuensi yang berdekatan atau yang lebih, dikenal dengan interferensi, sangat menjadi perhatian bagi penyedia layanan telekomunikasi berbasis tanpa kabel. Hal ini dikarenakan penyedia jasa layanan telekomunikasi tidak hanya memberikan jasa layanan dengan kapasitas besar tetapi harus juga memberikan kualitas layanan telekomunikasi yang bagus kepada setiap pelanggannya. Dengan demikian masalah interferensi harus dihilangkan, diperlukan suatu perangkat filter untuk memisahkan antara frekuensi yang ingin dipergunakan

dengan frekuensi yang ingin dibuang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pembuatan filter dapat mempergunakan teknologi *waveguide* ataupun dengan mempergunakan teknologi mikrostrip. Filter dengan teknologi mikrostrip memiliki kelebihan dikarenakan bahan mikrostrip yang merupakan bahan *low profile* (kecil, ringan, dan tipis) sehingga lebih mudah pembuatannya dibandingkan dengan teknologi *waveguide*. Walaupun terkadang diperoleh nilai *insertion loss* yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi *waveguide*, filter dengan teknologi mikrostrip tetap masih menjadi pilihan karena lebih murah jika difabrikasi dalam jumlah banyak.

Hal lain yang menjadi perhatian dalam merealisasikan suatu filter adalah ukurannya yang kecil atau padat sehingga tidak membutuhkan ruang besar saat disatukan dengan komponen lain seperti antenna ataupun amplifier. Salah satu cara meminiaturisasi filter adalah dengan mempergunakan metode *substrate integrated waveguide* (SIW) [5], [6] dimana penggunaan SIW juga memberikan suatu rancangan filter yang memiliki *insertion loss* yang kecil. Selain itu metode *defected ground structure* (DGS) [7], *half mode substrate integrated waveguide* (HMSIW) [8], [9] dan *complementary split ring resonator* (CSRR) pada filter SIW [10] dipercaya juga sebagai teknik untuk meminiaturisasi ukuran dari suatu filter.

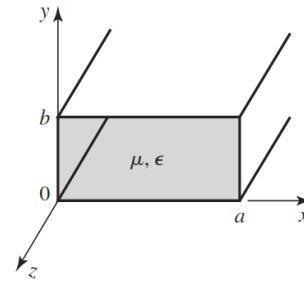
Masalah selektifitas dari suatu filter, dimana akan memberikan bentuk transmisi filter yang lebih ideal juga menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam merancang suatu filter. Selektifitas dan miniaturisasi dari suatu filter dapat diperoleh dengan mempergunakan *complementary split ring resonator* (CSRR) pada filter SIW ataupun HMSIW [11]–[17] sehingga dapat menghasilkan *transmission zeros* dan miniaturisasi dari ukuran filter tersebut.

Pada penelitian ini akan merealisasikan sebuah bandpass filter dengan mempergunakan metode SIW CSRR dengan harapan bisa menghasilkan rancangan suatu filter yang memiliki nilai *insertion loss* yang kecil, ukuran yang kecil dan memiliki selektifitas yang bagus. Nilai *insertion loss* serta ukuran fisik filter yang kecil dapat diperoleh dengan mempergunakan metode SIW, sedangkan untuk menghasilkan selektifitas yang bagus dapat diperoleh dengan mempergunakan CSRR.

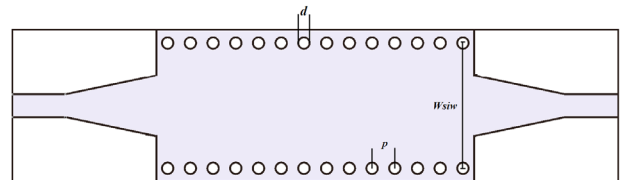
III. METODE

A. Substrate integrated waveguide

Substrate integrated *waveguide* filter sebenarnya merupakan pengaplikasian teknologi *waveguide* (Gambar 1) ke substrat mikrostrip. Pada *waveguide* frekuensi *cut-off*, f_c merupakan batasan frekuensi terkecil yang dapat merambat di dalam *waveguide*, yang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut,



Gambar 1. Geometri dari *waveguide* segiempat [18]



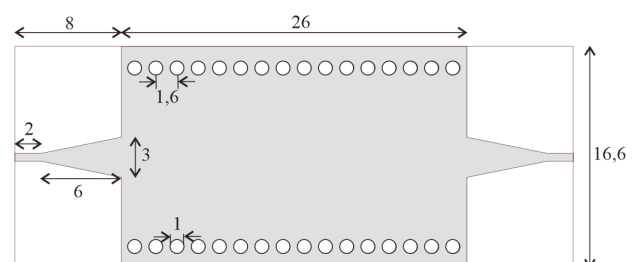
Gambar 2. Konfigurasi *substrate integrated waveguide*

$$f_c = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (1)$$

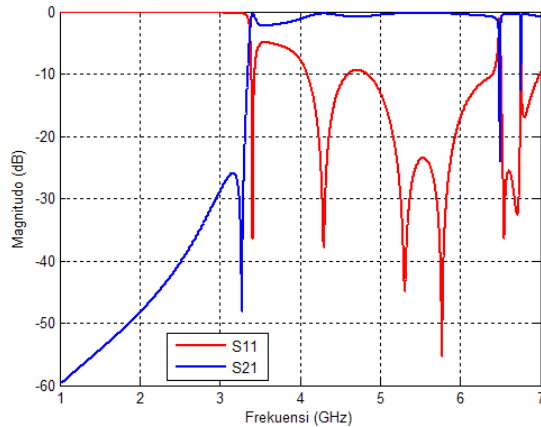
Penamaan m dan n merupakan mode-mode dari jumlah sinyal gelombang sinus setengah gelombang yang merambat pada arah sumbu x dan sumbu y di dalam *waveguide* segiempat tersebut. Mode-mode tersebut terbentuk dari medan listrik dan medan magnet di dalam *waveguide* tersebut, dengan demikian setiap *mode* akan memiliki frekuensi *cut-off* yang berbeda, [18].

Sedangkan struktur dari SIW terdiri atas dua barisan lubang-lubang yang tersusun secara paralel. Lubang-lubang tersebut berlapiskan konduktor sehingga menghubungkan lapisan konduktor lapisan atas dengan konduktor lapisan bawah. Gambar 2 memperlihatkan konfigurasi dari SIW. Lubang-lubang tersebut memiliki diameter, d dengan jarak antar pusat lubang terdekat, p , sehingga $d/p \geq 0,5$ harus terpenuhi agar mengurangi rugi-rugi energi yang keluar di antara lubang tersebut, [19].

Desain *bandpass filter* disimulasi dengan menggunakan simulator gelombang elektromagnetik Ansys HFSS. Serta pemilihan material substrat dengan nilai permitivitas besar ($\epsilon_r = 10,8$) dilakukan untuk memberikan miniaturisasi desain *bandpass filter* seperti yang telah dilakukan oleh [20]. Frekuensi *cut-off* pada SIW dapat diperoleh dari persamaan (1) dengan mempertimbangkan diameter lubang, $d = 1$ mm, jarak antar pusat lubang yang berdekatan,



Gambar 3. Desain frekuensi *cut-off* (satuan dalam mm)

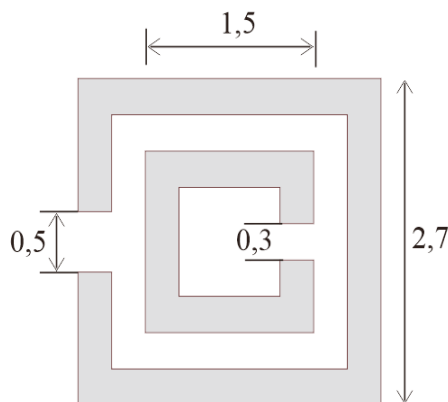
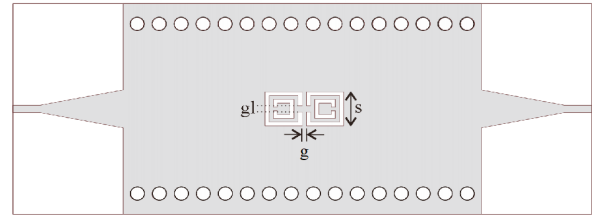

Gambar 4. Hasil simulasi frekuensi *cut-off*.

$p=1,6$ mm, maka diperoleh jarak paralel antar barisan lubang, $W_{SW}=13,4$ mm. Rancangan desain frekuensi *cut-off* diperlihatkan pada Gambar 3, dimana warna abu-abu adalah lapisan tembaga.

Sedangkan hasil simulasi frekuensi *cut-off* diperlihatkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 terlihat bahwa grafik faktor transmisi, S_{21} memberikan batas frekuensi terkecil yang dapat dilewati, yaitu 3,38 GHz dengan penurunan 3 dB. Sehingga desain ini dapat dipakai untuk desain *bandpass filter* pada daerah frekuensi 3,4 sampai 4,6 GHz. Karena frekuensi 3,4 GHz telah melebihi frekuensi terendah yang dapat dilewatkan.

B. Complementary Split Ring Resonator

Berawal dari *split ring resonator* (SRR) yang telah menarik perhatian komunitas peneliti di bidang elektromagnetik dan *microwave* dikarenakan aplikasi potensialnya di sintesis metamaterial dengan permeabilitas negatif yang efektif. Kemudian penelitian berkembang ke *complementary split ring resonator* (CSRR) yang pertama kali oleh Falcone et al [21] sebagai *resonator* metamaterial baru dan telah membuktikan memiliki pemitivitas negatif. Kemudian, karakteristik SRR dan CSRR termasuk model rangkaian ekuivalennya telah dipelajari dan dikembangkan secara intensif dimana SRR dianggap sebagai resonan


Gambar 5. Dimensi dari *complementary split ring resonator* (dimensi dalam satuan mm)


Gambar 6. Desain dua buah CSRR

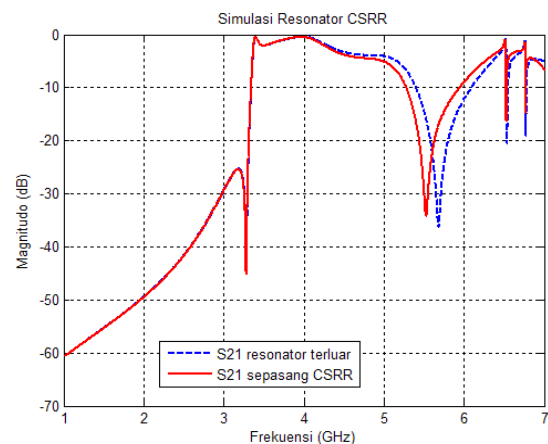
dipol magnetik yang dapat dieksitasi oleh medan magnet aksial, sedangkan CSRR menunjukkan perilaku sebagai resonan dipol elektrik, yang membutuhkan eksitasi medan listrik aksial. Aplikasi dari CSRR berkembang sebagai miniaturisasi perangkat planar gelombang mikro seperti filter, antenna, diplexer, dan *coupler*.

Complementary split ring resonator terdiri atas dua buah *square open loop resonator* dengan ukuran yang berbeda. *Square open loop resonator* dalam berukuran lebih kecil dibandingkan dengan *square open loop resonator* terluar, dengan arah gap yang saling berlawanan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

Penambahan struktur CSRR bertujuan untuk mendapatkan desain *bandpass filter* yang lebih selektif dan *compact* pada desain *bandpass filter*. Pertama kali dilakukan penambahan *square open loop resonator* terluar terlebih dahulu pada desain frekuensi *cut-off* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Hal ini bertujuan melihat grafik transmisi atau S_{21} parameternya terlebih dahulu. Kemudian dilakukan penambahan *resonator* dalam. Gambar 6 memperlihatkan hasil simulasi sebelum dan sesudah penambahan *resonator* dalam dari *square open loop resonator* tersebut.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa pemberian *resonator* luar dan dalam akan memberikan hasil wilayah *bandpass filter* yang lebih sempit dibandingkan dengan satu buah *square open loop resonator* terluar saja. Frekuensi *cut-off* tidak berpengaruh terhadap penambahan resonator dalam tersebut.

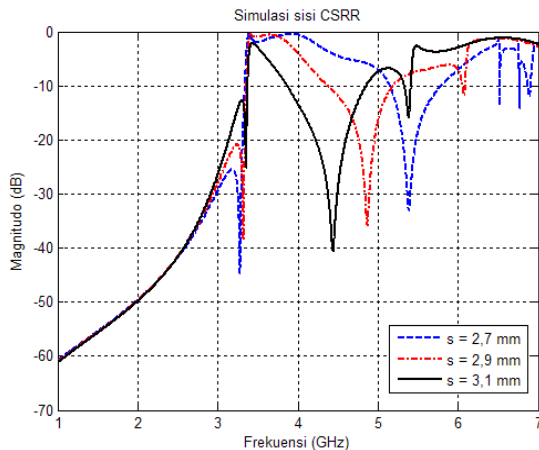
Kemudian dilakukan parameter studi terhadap panjang sisi, s dari CSRR. Pada Gambar 8 terlihat bahwa semakin besar sisi CSRR maka semakin sempit wilayah lolosnya, terlihat dari grafik S_{21} dengan $s=2,7$ mm yang berwarna



Gambar 7. Hasil simulasi dari pemberian resonator

Tabel 1. Hasil simulasi parameter s

s (mm)	Insertion loss (dB)	Bandwidth-3 dB (MHz)
2,7	1,99	940
2,9	1,04	570
3,1	2,12	110

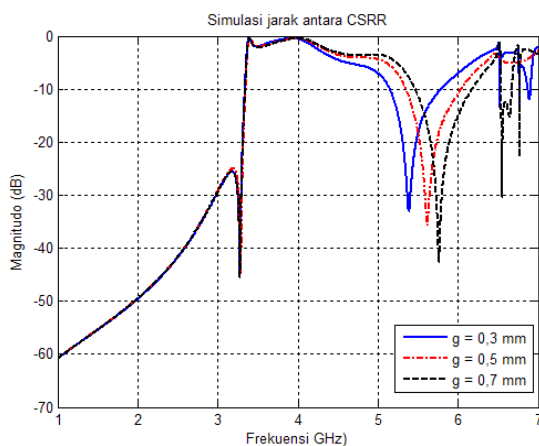


Gambar 8. Hasil simulasi jarak panjang sisi CSRR

biru ke grafik S_{21} dengan $s=3,1$ mm, yang berwarna hitam. Hal yang sama juga terjadi pada kebalikannya. Adapun hasil simulasi parameter s diperlihatkan pada Tabel 1.

Kemudian dilakukan parameter studi terhadap parameter jarak antara dua buah CSRR, g . Pada Gambar 9 memperlihatkan hasil simulasi dengan penambahan sepasang CSRR. Pada Gambar terlihat terjadi penurunan grafik faktor transmisi di frekuensi 5,3870 GHz, untuk $g=0,3$ mm sehingga dapat disimpulkan semakin jauh jarak antara CSRR maka akan semakin lebar *bandwidth* yang akan dihasilkan dari bandpass filter. Perubahan nilai parameter g tersebut tidak memiliki pengaruh pada frekuensi *cut-off* dari *bandpass filter*. Sedangkan rangkuman pergeseran parameter g diperlihatkan pada Tabel 2.

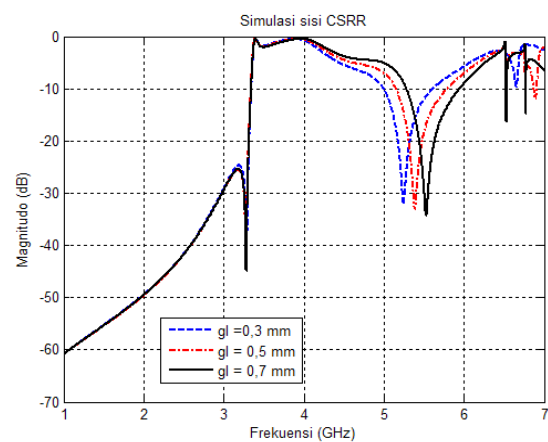
Parameter studi juga dilakukan pada variabel gap pada

Gambar 9. S_{21} parameter terhadap perubahan variabel d Tabel 2. Hasil simulasi parameter g

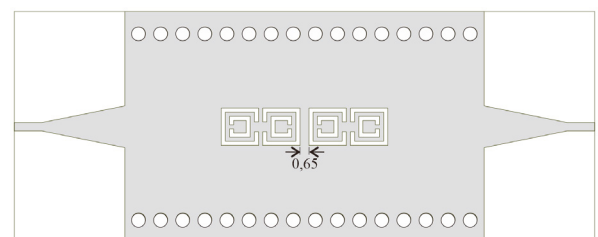
g (mm)	Insertion loss (dB)	Bandwidth-3 dB (MHz)
0,3	1,98	940
0,5	2,06	1020
0,7	2,22	1090

Tabel 3. Hasil simulasi parameter gl

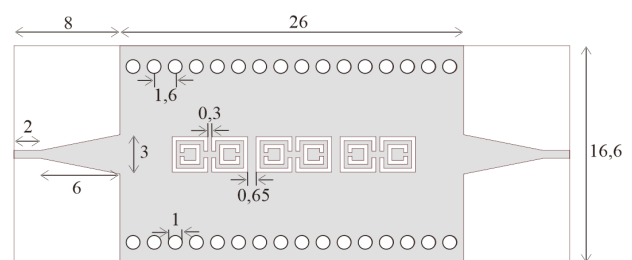
gl (mm)	Insertion loss (dB)	Bandwidth -3 dB (MHz)
0,3	1,83	870
0,5	1,98	940
0,7	2,00	1000

Gambar 10. S_{21} parameter terhadap perubahan variabel gl

square open loop resonator terluar, gl . Hasil simulasi terhadap perubahan parameter *gap* pada *resonator* terluar diperlihatkan pada Gambar 10. Pada Gambar 10 terlihat semakin besar nilai gap terluar maka akan semakin lebar wilayah lolos yang diberikan. Hal ini diperlihatkan dengan perubahan dari nilai $gl=0,3$ mm ke nilai $gl=0,7$ mm. Begitu juga dengan sebaliknya. Tabel 3 memperlihatkan hasil

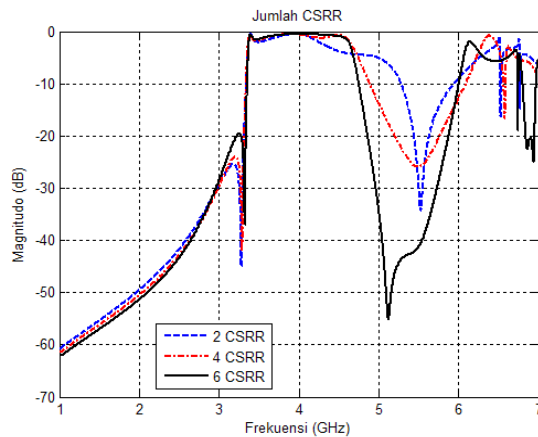


(a) empat buah CSRR



(b) enam buah CSRR

Gambar 11. Desain *bandpass filter* dengan empat dan enam buah CSRR



Gambar 12. Hasil simulasi S_{21} parameter dari desain *bandpass filter* dengan empat dan enam buah CSRR

simulasi dari parameter g_l .

C. Jumlah Complementary Split Ring Resonator

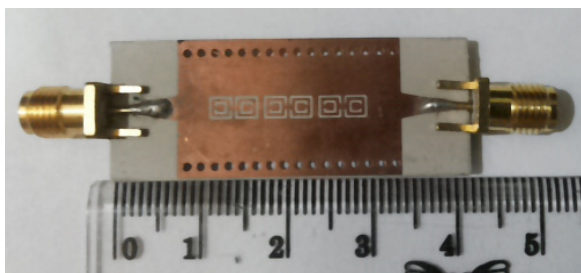
Sepasang CSRR ternyata belum dapat memberikan karakteristik filter yang selektif, sehingga dilakukan penambahan sepasang CSRR secara sejajar hingga jumlah CSRR tersebut menjadi 4 dan 6 buah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.

Hasil simulasi dari desain Gambar 11 diperlihatkan pada Gambar 12. Pada Gambar 12 terlihat bahwa penambahan 4 buah pasang CSRR dari yang sebelumnya hanya berjumlah 2 buah pasang CSRR menjadikan filter tersebut menjadi lebih selektif. Selain itu penambahan CSRR memberikan *bandwidth* yang lebih sempit, berkurang sekitar 500 MHz dari sebelumnya.

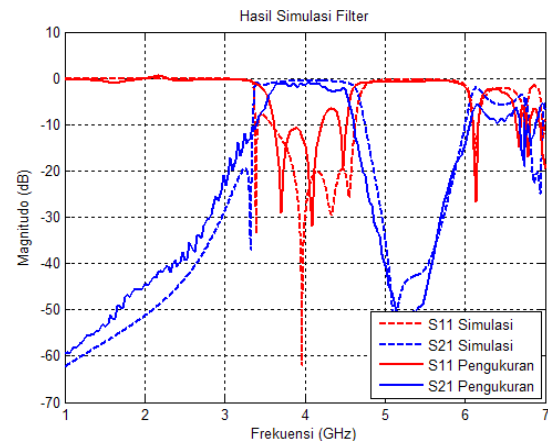
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan S parameter yang dinilai bagus, maka dilakukanlah fabrikasi terhadap rancangan SIW *bandpass filter* CSRR. Gambar 13 memperlihatkan hasil fabrikasi dari rancangan *bandpass filter* dengan mempergunakan enam buah CSRR. Adapun material yang dipergunakan adalah RO 3210 dengan ketebalan 0,64 mm dan $\tan \delta$ 0,0027.

Kemudian dilakukan validasi dari fabrikasi dengan mempergunakan *Vector Network Analyzer*, untuk mengukur *insertion loss* dan *reflection loss*. Gambar 14 memperlihatkan perbandingan antara hasil simulasi



Gambar 13. Fabrikasi dari *bandpass filter* dengan enam buah CSRR



Gambar 14. Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran *bandpass filter* dengan enam buah CSRR

dengan hasil pengukuran. Hasil simulasi diberikan berupa garis putus-putus sedangkan hasil pengukuran diperlihatkan dengan garis utuh.

Pada simulasi memperlihatkan bahwa rancangan *bandpass filter* tersebut bekerja pada frekuensi 3,4 GHz sampai 4,58 GHz dengan nilai *insertion loss* terbesar 1,57 dB pada frekuensi 3,46 GHz. Pada hasil pengukuran memperlihatkan *bandwidth* 3 dB yang diperoleh lebih kecil, yaitu dari 3,58 GHz sampai 4,515 GHz. Walaupun demikian *insertion loss* tersebut masih berada di bawah 3 dB. Hasil pengukuran juga memperlihatkan penurunan terhadap nilai *return loss*, dari di bawah 20 dB menjadi 6,483 dB.

Perbedaan antara hasil simulasi dengan pengukuran kemungkinan dikarenakan ketidakcocokan dalam memberikan *boundaries* pada simulasi. Hasil pengukuran juga memberikan pergeseran *bandwidth* lebih kecil yaitu sekitar hampir 300 MHz. Pada hasil simulasi memperlihatkan adanya *transmission zeros* di awal frekuensi *cut-off*. Akan tetapi di saat pengukuran, tidak diperoleh *transmission zeros* sama sekali.

V. KESIMPULAN

Realisasi filter dengan mempergunakan teknik *substrate integrated waveguide* (SIW) dan *complementary split ring resonator* (CSRR) dapat memberikan ukuran filter yang lebih kecil dan selektif daripada filter konvensional. Hasil pengukuran memberikan nilai *insertion loss* di bawah 3 dB dan *return loss* di atas 6,5 dB. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar realisasi *bandpass filter* tersebut memiliki *bandstop* yang luas sehingga tidak terjadi frekuensi resonansi yang berdekatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas dukungan dan pendanaan penelitian ini pada skema PDUPT (2019).

REFERENSI

- [1] M. Alaydrus, Saluran Transmisi Telekomunikasi. Graha Ilmu, 2009.
- [2] M. Alaydrus, "Designing microstrip bandpass filter at 3.2 GHz," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 2, no. 2, pp. 71–83, 2010.
- [3] D. W. Astuti, "Prototipe Lowpass Filter Stepped Impedance Pada UMTS Untuk Sistem Rectenna," *J. Tek. Elektro Univ. Tarumanagara, TESLA*, vol. 17, no. 1, pp. 101–113, 2015.
- [4] D. W. Astuti, F. Yansyah, and M. Alaydrus, "Bandstop Filter for Radar Application with L Resonator," in *ICNERE*, 2016, no. 1, pp. 3–6.
- [5] R. Wang, L. Wu, and X. Zhou, "Compact Folded Substrate Integrated Waveguide Cavities And Bandpass Filter," *Prog. Electromagn. Res.*, pp. 135–147, 2008.
- [6] D. Deslandes and K. Wu, "Accurate modeling, wave mechanisms, and design considerations of a substrate integrated waveguide," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 6, pp. 2516–2526, 2006.
- [7] Y. Huang, Z. Shao, and L. Liu, "A Substrate Integrated Waveguide Bandpass Filter Using Novel Defected Ground Structure Shape," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 135, no. December, pp. 201–213, 2013.
- [8] Y. Wang et al., "Half mode substrate integrated waveguide (HMSIW) bandpass filter," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 17, no. 4, pp. 265–267, 2007.
- [9] Y. D. Dong, T. Itoh, and L. Angeles, "Composite Right/Left-Handed Substrate Integrated Waveguide and Half-Mode Substrate Integrated Waveguide," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, 2009, pp. 49–52.
- [10] Y. D. Dong, T. Yang, and T. Itoh, "Substrate integrated waveguide loaded by complementary split-ring resonators and its applications to miniaturized waveguide filters," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 57, no. 9, pp. 2211–2223, 2009.
- [11] A. R. Azad and A. Mohan, "Sixteenth-mode substrate integrated waveguide bandpass filter loaded with complementary split-ring resonator," *Electron. Lett.*, vol. 56, no. 9, pp. 546–547, 2017.
- [12] L. Qiang, "A Compact UWB HMSIW Bandpass Filter Based On Complementary Split-Ring Resonators," *Prog. Electromagn. Res. C*, vol. 11, pp. 237–243, 2009.
- [13] H. Zhang, W. Kang, and W. Wu, "Differential substrate integrated waveguide bandpass filter with improved common-mode suppression utilising complementary split-ring resonators," *Electron. Lett.*, vol. 53, no. 7, pp. 508–510, 2017.
- [14] P. In, "Evanescence-Mode Substrate Integrated Waveguide (SIW) Filters Implemented with Complementary Split Ring Resonators," vol. 111, no. December 2010, pp. 419–432, 2011.
- [15] Q. L. Zhang, W. Y. Yin, S. He, and L. S. Wu, "Compact substrate integrated waveguide (SIW) bandpass filter with complementary split-ring resonators (CSRRLs)," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 20, no. 8, pp. 426–428, 2010.
- [16] X.-C. Zhang, Z.-Y. Yu, and J. Xu, "Novel Band-Pass Substrate Integrated Waveguide (SIW) Filter Based on Complementary Split Ring Resonators (CSRRL)," *Prog. Electromagn. Res. PIER*, vol. 72, pp. 39–46, 2007.
- [17] A. Danideh and R. A. Sadeghzadeh, "Miniaturized Substrate Integrated Waveguide Filter With Complementary Spiral Resonator," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, no. 6, pp. 1308–1311, 2011.
- [18] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. Wiley, 2012.
- [19] F. X. and K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of sub- strate integrated waveguide," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, no. 5, pp. 66–73, 2005.
- [20] D. W. Astuti, A. Jubaidilah, and M. Alaydrus, "Substrate integrated waveguide bandpass filter for VSAT downlink," in *QiR 2017 - 2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering*, 2017, vol. 2017–Decem, pp. 101–105.
- [21] F. Falcone et al., "Effective Negative-epsilon Stopband Microstrip Lines Based on Complementary Split Ring Resonators," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 14, no. 6, pp. 280–282, 2004.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

