

Rancang Bangun Filter *Bandpass* Mikrostrip Pita Sangat Lebar Berbasis *Defected Ground Structure*

(*Design of Ultra Wideband Microstrip Bandpass Filter Based on Defected Ground Structure*)

Shita Fitria Nurjihan¹, Achmad Munir²

Abstract—Along with the rapid development of technology, many techniques have been employed to improve filter performance by using microstrip, one of them is using a Defected Ground Structure (DGS) technique. The DGS is a technique implemented by combining various forms of slot on the groundplane of filter. This paper presents an ultra wideband (UWB) filter designed using DGS technique by combining two kind of slots on the groundplane, i.e., rectangular slot and rectangular ring slot. The design of composed filter is initialized using filter without DGS, then by adding two kinds of DGS on the groundplane. The DGS is used to improve S-parameter values and increase bandwidth. The method of filter design is using several parametric studies, such as changing the length of patch, width of patch, number of rectangular slot, length of rectangular slot, width of rectangular slot, and gap in rectangular ring slot. This filter is fabricated on a FR4 epoxy dielectric substrate with the thickness of 0.8 mm and the size of 27.4 mm x 22 mm. The measurement result shows that the filter could produce the working bandwidth of 4.01 GHz in the frequency range from 1.52 GHz to 5.53 GHz.

Intisari—Seiring dengan perkembangan teknologi yang sangat pesat, beberapa teknik telah digunakan untuk meningkatkan kinerja filter mikrostrip, salah satunya yaitu teknik *Defected Ground Structure* (DGS). DGS ini merupakan sebuah teknik dengan mengombinasikan berbagai macam bentuk *slot* pada bagian *groundplane*. Makalah ini menyajikan sebuah filter *bandpass* mikrostrip pita sangat lebar yang dirancang menggunakan teknik DGS dengan mengombinasikan dua macam *slot* pada bagian *groundplane*, yaitu *slot* persegi panjang dan *slot* melingkar. Metode perancangan filter menggunakan desain awal tanpa DGS, kemudian menambahkan dua buah *slot* DGS pada bagian *groundplane*. Penambahan *slot* ini dilakukan untuk memperbaiki nilai parameter S dan meningkatkan *bandwidth*. Pada proses simulasi, optimasi dilakukan dengan studi parameter, yaitu mengubah nilai parameter komponen filter, seperti mengubah panjang *patch*, lebar *patch*, jumlah *slot* persegi panjang, panjang *slot* persegi panjang, lebar *slot* persegi panjang, dan *gap* pada *slot* melingkar. Filter *bandpass* mikrostrip ini direalisasikan menggunakan substrat dielektrik epoxy FR4 dengan tebal 0,8 mm dan dimensi 27,4 mm x 22 mm. Hasil pengukuran menunjukkan filter *bandpass* dapat meloloskan frekuensi 1,52 GHz–5,53 GHz dengan *bandwidth* 4,01 GHz.

Kata Kunci—Filter *Bandpass*, Mikrostrip, Pita Sangat Lebar, *Defected Ground Structure*.

I. PENDAHULUAN

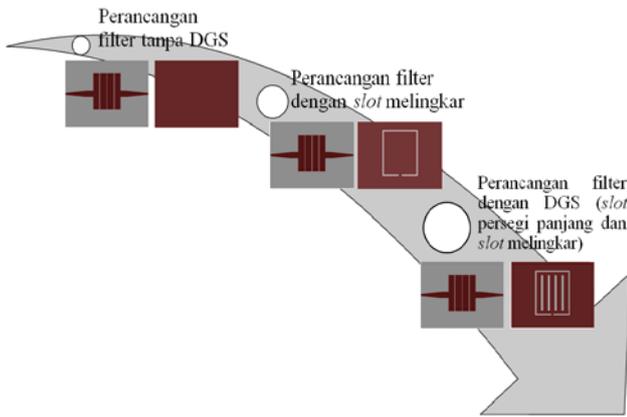
Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi, banyak teknik yang telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja filter, salah satunya dengan teknik *Defected Ground Structure* (DGS) [1]–[9]. Perancangan filter pada mikrostrip tersusun atas *patch*, substrat, dan *groundplane* dengan bentuk yang bervariasi [10]–[11]. Pengembangan rancangan filter pada mikrostrip dengan teknik DGS ini dapat memperlebar *bandwidth*. Penerapan tiga buah bentuk *circular dumbbell* pada *groundplane* dapat memperlebar *bandwidth* filter hingga 34%, yaitu 5,36 GHz pada frekuensi 1,84 GHz–7,2 GHz dari rancangan awal filter tanpa DGS yang mempunyai *bandwidth* 4 GHz [6]. Selain itu, pengaruh penerapan DGS yang dikombinasikan dalam dua bentuk yang berbeda juga dapat memperlebar *bandwidth* [8]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa filter memiliki *bandwidth* hingga 4,55 GHz.

DGS merupakan sebuah teknik dengan mengombinasikan berbagai macam bentuk *slot* pada bagian *groundplane*. Bentuk *slot* tersebut dapat bervariasi, dari yang paling sederhana hingga bentuk yang rumit, untuk mendapatkan kinerja filter yang diinginkan [12]. Seperti pada [1], filter *bandpass* dirancang menggunakan kombinasi DGS yang berbentuk *dumbbell* untuk memperbaiki respons filter *bandpass* dan meningkatkan rugi-rugi sisipan hingga 0,3 dB. Pada [3], dirancang sebuah filter *bandpass* dengan teknik DGS yang berbentuk *U-slot* untuk memperbaiki kinerja redaman pada daerah *stopband* yang bekerja pada frekuensi 3,1 GHz sampai 11 GHz dan difabrikasi menggunakan mikrostrip dengan permitivitas relatif substrat 2,65 serta tebal substrat 1 mm. Pada [4], sebuah *narrowband* filter dengan teknik DGS yang berbentuk *hexagonal dumbbell* dirancang untuk mengurangi dimensi mikrostrip menjadi lebih *compact* dari *parallel-coupled* mikrostrip konvensional hingga > 60%. Selain itu, filter dengan teknik DGS berbentuk persegi panjang juga dirancang untuk memperbaiki nilai parameter S yang dapat meloloskan frekuensi 3,1 GHz sampai 10,6 GHz [5]. Dan pada [13], sebuah filter *ultra wideband* (UWB) yang dirancang menggunakan teknik DGS dengan struktur *coplanar waveguide* (CPW) yang memiliki nilai parameter S dan selektivitas yang baik serta bentuk yang *compact*.

Makalah ini memaparkan perancangan, simulasi, dan realisasi filter *bandpass* mikrostrip dengan menerapkan teknik DGS. Berbeda dengan penelitian sebelumnya [13], teknik DGS yang digunakan yaitu berupa dua buah *slot* yang berbentuk *slot* persegi panjang dan *slot* melingkar. Kombinasi dua buah *slot*

¹ Program Studi Telekomunikasi, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425 INDONESIA (telp: 021-786353; e-mail: shita.fitriyanurjihan@elektro.pnj.ac.id)

² Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10, Bandung 40132 INDONESIA (telp: 022-2502260; e-mail: munir@ieee.org)



Gbr. 1 Tahapan perancangan filter *bandpass*.

TABEL I
DIMENSI FILTER *BANDPASS* TANPA DGS

Parameter	Komponen	Dimensi (mm)
w_f	Lebar substrat dielektrik	22
l_f	Panjang substrat dielektrik	27
w_e	Lebar <i>patch</i>	1
l_e	Panjang <i>patch</i>	12
g_e	Gap antar <i>patch</i>	0,2
w_l	Lebar <i>feedline</i>	1,5
l_l	Panjang <i>feedline</i>	11,2

ini bertujuan untuk memperbaiki nilai parameter S dan memperlebar *bandwidth*. Filter ini difabrikasi menggunakan substrat dielektrik *epoxy* FR4 dengan dimensi yang *compact*, yaitu 27,4 mm x 22 mm yang bekerja pada frekuensi 1,52 GHz sampai 5,53 GHz.

II. PERANCANGAN FILTER *BANDPASS*

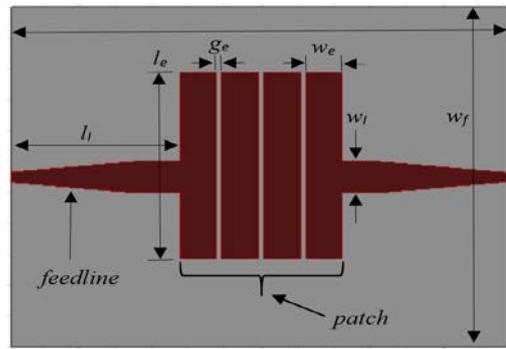
Perancangan filter *bandpass* ini terdiri atas tiga tahap, yaitu perancangan filter tanpa DGS, perancangan filter dengan *slot* melingkar, dan perancangan filter dengan DGS (*slot* persegi panjang dan *slot* melingkar), seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 1. Pada rancangan awal filter, yaitu filter tanpa DGS, di bagian *patch* mikrostip digunakan desain penelitian sebelumnya, karena dengan bentuk yang sederhana dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar [13]. Namun, untuk menghasilkan frekuensi kerja yang diinginkan, dilakukan modifikasi pada bagian *patch* dan bentuk *feedline*. Oleh karena itu, rancangan awal filter tanpa DGS terdiri atas empat buah elemen *patch* dengan *feedline* yang berbentuk *tapered* yang ditunjukkan pada Gbr. 2.

Pada tahap awal, ditentukan dimensi filter memiliki panjang *patch* 12 mm, lebar *patch* 1 mm, dan *gap* antar *patch* 0,2 mm. Dengan tebal substrat (h) 0,8 mm dan impedans karakteristik $Z_0 = 50$ ohm, didapatkan nilai untuk lebar *feedline* (w) yaitu 1,5 mm dan panjang *feedline* 11,2 mm, sesuai dengan (1) sampai (4) [14]. Dimensi rancangan filter tanpa DGS diperlihatkan pada Tabel I.

Untuk $w/h \leq 2$, maka

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \tag{1}$$

Untuk $w/h > 2$, maka

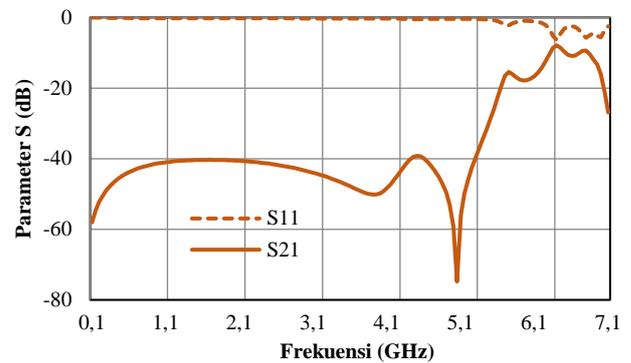


(a)



(b)

Gbr. 2 Rancangan filter *bandpass* tanpa DGS, (a) tampak depan, (b) tampak belakang.



Gbr. 3 Hasil simulasi filter *bandpass* tanpa DGS.

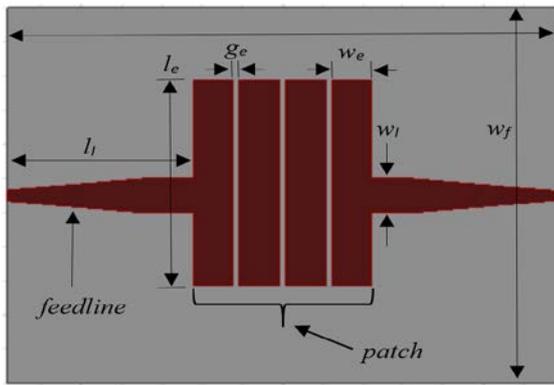
$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B - 1 - \ln(2B - 1)) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right) \right\} \tag{2}$$

dengan

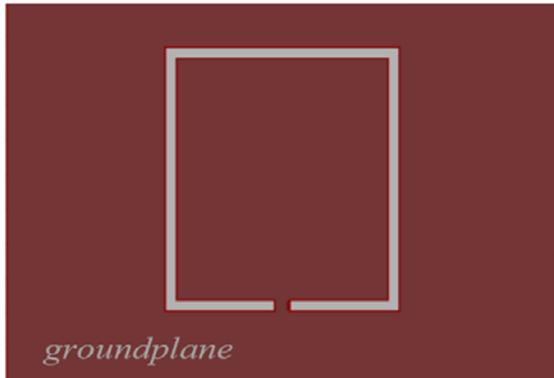
$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \tag{3}$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \tag{4}$$

Hasil simulasi filter *bandpass* tanpa DGS yang telah dirancang ditunjukkan pada Gbr. 3. Terlihat bahwa simulasi



(a)



(b)

Gbr. 4 Rancangan filter *bandpass* dengan *slot* melingkar, (a) tampak depan, (b) tampak belakang.

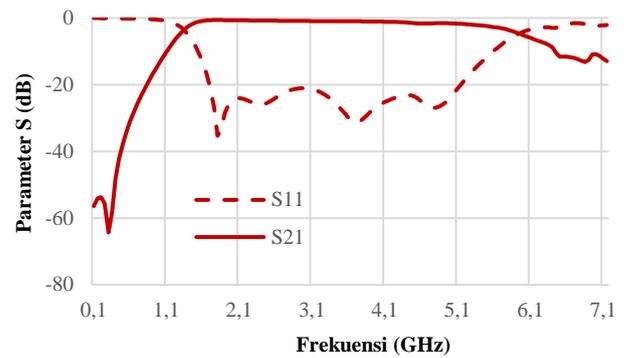
belum menunjukkan hasil yang sesuai untuk sebuah filter *bandpass*. Maka, pada tahap selanjutnya diterapkan teknik DGS dengan memberikan *slot* pada bagian *groundplane*.

Pada tahap kedua, rancangan filter *bandpass* dalam Gbr. 2 diberikan sebuah *slot* melingkar pada bagian *groundplane*, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 4. Dari hasil simulasi pada Gbr. 5 tampak hasil yang lebih baik daripada sebelumnya untuk nilai parameter S, tetapi terlihat bahwa pada frekuensi yang lebih tinggi nilai rugi-rugi sisipan semakin menurun dan nilai rugi-rugi balik semakin naik, sehingga belum sesuai dengan hasil yang diinginkan. Oleh karena itu, dilakukan penambahan *slot* pada bagian *groundplane*.

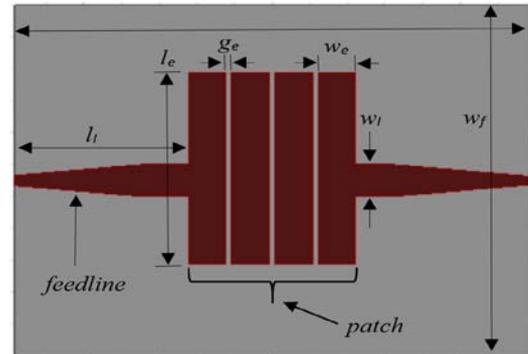
Dan dalam tahap selanjutnya, pada rancangan filter *bandpass* ditambahkan empat buah *slot* persegi panjang yang berada di dalam *slot* melingkar. Rancangan akhir filter *bandpass* dengan DGS yang ditunjukkan pada Gbr. 6 terdiri atas dua buah *slot* DGS, yaitu *slot* persegi panjang dan *slot* melingkar. Untuk menghasilkan filter *bandpass* dengan kinerja yang optimal, dilakukan optimasi dengan melakukan perubahan nilai parameter pada komponen filter.

III. OPTIMASI STUDI PARAMETER

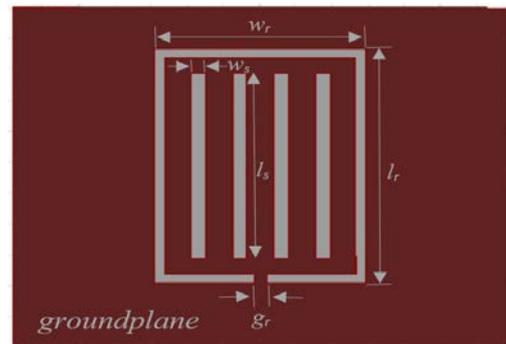
Optimasi filter *bandpass* dengan studi parameter ini mengubah nilai parameter pada komponen filter, yaitu panjang dan lebar *patch*, *slot* persegi panjang, dan *slot* melingkar. Optimasi dilakukan dengan mengubah salah satu nilai



Gbr. 5 Hasil simulasi filter *bandpass* dengan *slot* melingkar.



(a)



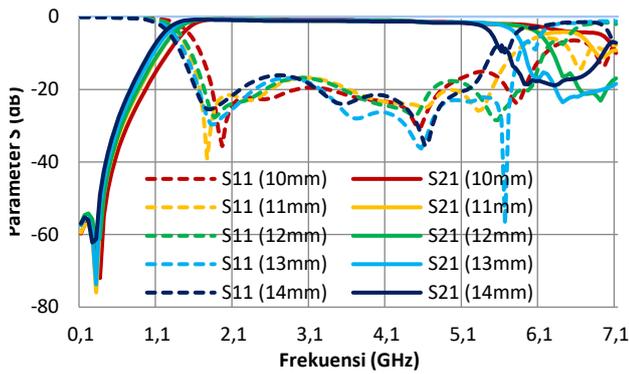
(b)

Gbr. 6 Rancangan filter *bandpass* dengan DGS, (a) tampak depan, (b) tampak belakang.

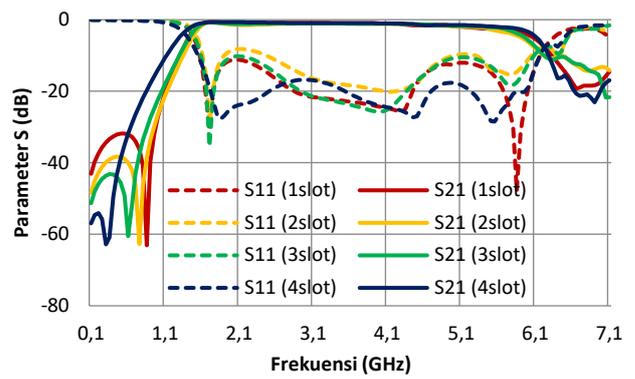
parameter secara bertahap dengan mempertahankan nilai parameter komponen filter yang lainnya.

Perubahan parameter yang pertama yaitu panjang *patch*. Gbr. 7 menunjukkan variasi perubahan panjang *patch* dengan nilai 10 mm, 11 mm, 12 mm, 13 mm, dan 14 mm. Dapat dilihat bahwa perubahan panjang *patch* berpengaruh pada respons frekuensi yang bergeser dengan semakin panjang *patch*, serta *bandwidth* yang semakin sempit dengan seiring bertambahnya panjang *patch*. Oleh karena itu, panjang *patch* 12 mm dipilih untuk studi parameter selanjutnya karena memiliki *bandwidth* dan nilai rugi-rugi balik yang sesuai.

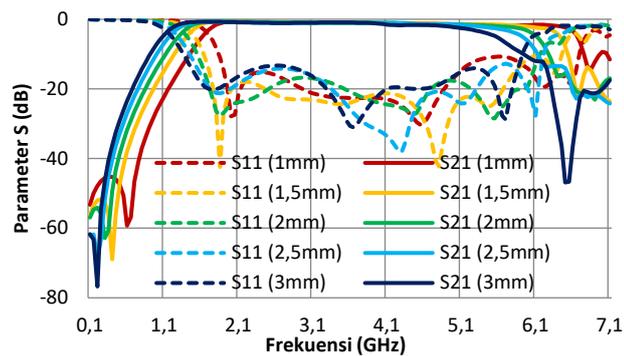
Selanjutnya, pada Gbr. 8 ditunjukkan variasi perubahan lebar *patch* dengan nilai 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm, dan 3 mm. Perubahan lebar *patch* juga berpengaruh pada pergeseran



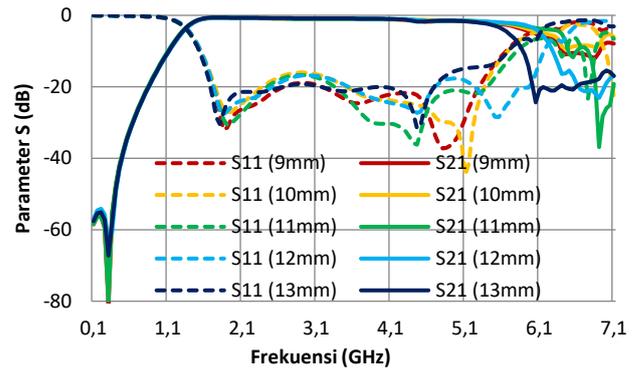
Gbr. 7 Hasil simulasi untuk perubahan panjang patch.



Gbr. 9 Hasil simulasi untuk perubahan jumlah slot persegi panjang.



Gbr. 8 Hasil simulasi untuk perubahan lebar patch.



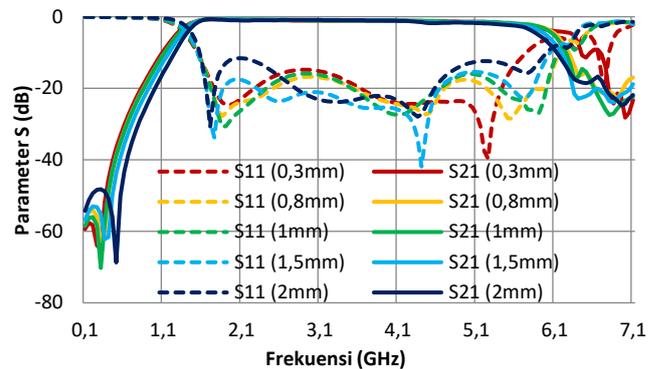
Gbr. 10 Hasil simulasi untuk perubahan panjang slot persegi panjang DGS.

frekuensi dan *bandwidth*. *Bandwidth* akan semakin sempit dengan seiring bertambahnya lebar *patch*. Oleh karena itu, lebar *patch* 2 mm dipilih, karena memiliki *bandwidth* dan nilai rugi-rugi balik yang sesuai.

Perubahan parameter selanjutnya yaitu pada bagian DGS, berupa *slot* persegi panjang. Gbr. 9 menunjukkan variasi perubahan jumlah *slot* persegi panjang dengan jumlah 1 *slot*, 2 *slot*, 3 *slot*, dan 4 *slot*. Semakin banyak jumlah *slot* persegi panjang, respons frekuensi akan semakin bergeser menuju ke frekuensi yang lebih rendah dengan diikuti nilai rugi-rugi sisipan dan rugi-rugi balik yang baik. Oleh karena itu, jumlah *slot* persegi panjang 4 *slot* dipilih karena memiliki *bandwidth*, nilai rugi-rugi balik, dan rugi-rugi sisipan yang lebih baik.

Pada Gbr. 10 ditunjukkan variasi perubahan panjang *slot* persegi panjang dengan nilai 9 mm, 10 mm, 11 mm, 12 mm, dan 13 mm. Dapat dilihat bahwa perubahan panjang *slot* persegi panjang berpengaruh pada variasi nilai *bandwidth*. Oleh karena itu, panjang *slot* persegi panjang 12 mm dipilih, karena memiliki *bandwidth*, nilai rugi-rugi balik, dan rugi-rugi sisipan yang lebih baik.

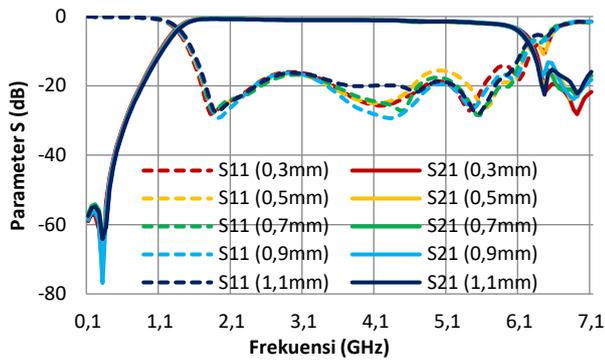
Dan pada Gbr. 11 ditunjukkan variasi perubahan lebar *slot* persegi panjang dengan nilai 0,3 mm, 0,8 mm, 1 mm, 1,5 mm, dan 2 mm. Perubahan lebar *slot* persegi panjang berpengaruh pada frekuensi, yaitu dengan semakin lebarnya *slot* persegi panjang, respons frekuensi akan semakin bergeser menuju ke frekuensi yang lebih besar. Oleh karena itu, lebar *slot* persegi panjang 0,8 mm dipilih karena memiliki *bandwidth* yang lebih lebar, nilai rugi-rugi balik dan rugi-rugi sisipan yang lebih baik.



Gbr. 11 Hasil simulasi untuk perubahan lebar slot persegi panjang.

Perubahan parameter berikutnya yaitu pada *slot* melingkar. Pada Gbr. 12 ditunjukkan variasi perubahan *gap* pada *slot* melingkar dengan nilai 0,3 mm, 0,5 mm, 0,7 mm, 0,9 mm, dan 1,1 mm. Dapat dilihat bahwa perubahan *gap* pada *slot* melingkar memiliki sedikit pengaruh pada *bandwidth* dan nilai parameter S. Oleh karena itu, *gap* pada *slot* melingkar 0,6 mm dipilih karena memiliki *bandwidth*, nilai rugi-rugi balik, dan rugi-rugi sisipan yang lebih baik.

Dari perubahan parameter pada masing-masing komponen filter yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang optimal untuk dimensi akhir filter *bandpass* dengan DGS yang dapat dilihat pada Tabel II. Dimensi filter *bandpass* memiliki bentuk yang *compact*, yaitu berukuran 27,4 mm x 22 mm.

Gbr. 12 Hasil simulasi untuk perubahan *gap* pada *slot* melingkar.TABEL II
DIMENSI FILTER *BANDPASS* DENGAN DGS

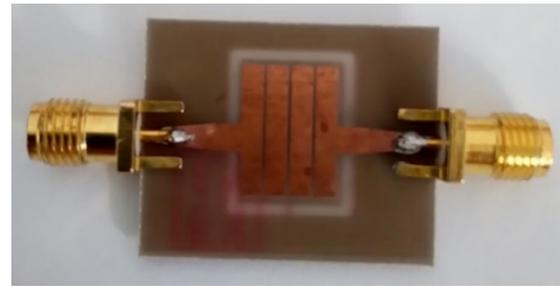
Parameter	Komponen	Dimensi (mm)
w_f	Lebar substrat dielektrik	22
l_f	Panjang substrat dielektrik	27,4
w_e	Lebar <i>patch</i>	2
l_e	Panjang <i>patch</i>	12
g_e	<i>Gap</i> antar <i>patch</i>	0,3
w_l	Lebar <i>feedline</i>	2
l_l	Panjang <i>feedline</i>	9,25
w_s	Lebar <i>slot</i> persegi panjang	0,8
l_s	Panjang <i>slot</i> persegi panjang	12
w_r	Lebar <i>slot</i> melingkar	11,5
l_r	Panjang <i>slot</i> melingkar	15
g_r	<i>Gap</i> <i>slot</i> melingkar	0,6

IV. REALISASI, PENGUKURAN DAN ANALISIS

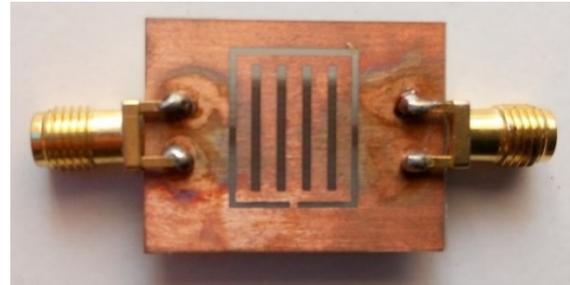
Dari hasil optimasi, perancangan akhir filter *bandpass* memiliki dimensi seperti pada Tabel II. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan nilai rugi-rugi sisipan dan rugi-rugi balik yang baik, filter *bandpass* yang diusulkan dapat meloloskan frekuensi yang diinginkan, seperti halnya hasil yang diperoleh pada penelitian sebelumnya [13], tetapi dengan rentang frekuensi yang berbeda, yaitu memiliki *bandwidth* sebesar 4,5 GHz pada rentang frekuensi 1,4 GHz sampai 5,9 GHz.

Realisasi filter *bandpass* yang ditunjukkan pada Gbr. 13 difabrikasi menggunakan substrat dielektrik *epoxy* FR4 dengan tebal 0,8 mm yang memiliki dimensi yang *compact*, berukuran 27,4 mm x 22 mm. Lapisan bagian depan terdiri atas empat buah elemen *patch* dengan *feedline* yang berbentuk *tapered*, dan lapisan bagian belakang terdiri atas kombinasi dua buah *slot* DGS, yaitu *slot* persegi panjang dan *slot* melingkar.

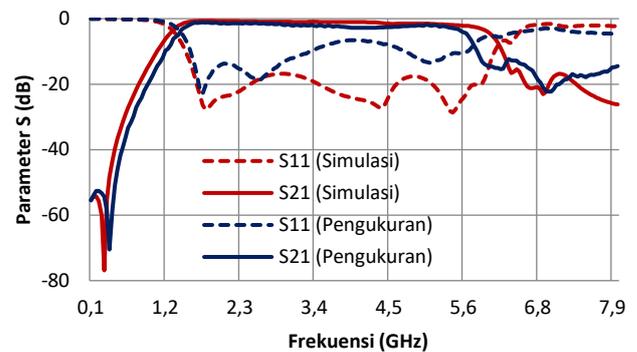
Gbr. 14 menunjukkan grafik perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran filter *bandpass*. Hasil pengukuran mengalami perbedaan pada nilai parameter S dan *bandwidth* dengan hasil simulasi. Terdapat pergeseran frekuensi *cut-off* bawah sejauh 0,12 GHz dan diperoleh *bandwidth* yang lebih sempit dari hasil simulasi, yaitu sebesar 4,01 GHz pada rentang frekuensi 1,52 GHz sampai 5,53 GHz. Pada saat frekuensi 4,06 GHz, nilai rugi-rugi sisipan menurun mencapai -2,785 dB dan nilai rugi-rugi balik naik mencapai -6,557 dB. Perbedaan hasil tersebut dapat dipengaruhi oleh pergeseran posisi DGS, *slot* persegi panjang, dan *slot* melingkar pada saat fabrikasi, yaitu



(a)



(b)

Gbr. 13 Hasil realisasi filter *bandpass* dengan DGS, (a) tampak depan, (b) tampak belakang.Gbr. 14 Hasil pengukuran filter *bandpass* dengan DGS.

sejauh kurang lebih 1,15 mm dari perancangan filter. Selain itu, terdapat perbedaan nilai permitivitas bahan dielektrik substrat pada saat simulasi dengan hasil fabrikasi, yaitu pada simulasi nilai permitivitas relatif bahan dielektrik sebesar 4,4, sedangkan pada hasil fabrikasi, nilai permitivitas relatif kurang lebih sebesar 5.

V. KESIMPULAN

Pada makalah ini, perancangan filter *bandpass* berbasis DGS telah dilakukan. Hasil simulasi dari perubahan parameter komponen filter menunjukkan bahwa panjang dan lebar *patch* mempunyai pengaruh pada pergeseran frekuensi dan nilai *bandwidth*. Penerapan DGS pada mikrostrip dilakukan untuk memperbaiki nilai rugi-rugi sisipan, rugi-rugi balik, dan meningkatkan *bandwidth*. Namun, dari hasil pengukuran dan hasil simulasi terdapat perbedaan pada nilai parameter S dan *bandwidth*. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh pergeseran posisi *slot* persegi panjang dan *slot* melingkar pada saat fabrikasi, yaitu sejauh kurang lebih 1,15 mm dari

perancangan filter. Selain itu terdapat perbedaan nilai permitivitas bahan dielektrik substrat pada saat simulasi dengan hasil fabrikasi. Oleh karena itu, hasil pengukuran menunjukkan filter *bandpass* dengan DGS bekerja pada rentang frekuensi 1,52 GHz sampai 5,53 GHz, dengan *bandwidth* sebesar 4,01 GHz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Zenal Aripin atas bantuannya selama proses pengukuran filter di Laboratorium Telekomunikasi dan Gelombang Mikro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung.

REFERENSI

- [1] A. Ghosh dan P. Mondal, "Bandpass Filter Using a Combination of DGS's and Open Ended Slot," *Proceedings of 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 2018, hal. 392-396.
- [2] X. Zhieng dan X. Wang, "Design of Slot Coupled Microstrip Bandpass Filter Based on Defected Ground Structure (DGS)," *Proceedings of 18th International Conference on Optical Communications an Networks*, 2019, hal. 1-3.
- [3] Y. Liu, C.H. Liang, dan Y.J. Wang, "Ultra-wideband Bandpass Filter Using Hybrid Quasi-lumped Elements and Defected Ground Structure," *Electronics Letters*, Vol. 45, No. 17, hal. 899-900, Agt. 2009.
- [4] A. Kumar, K. Goodwill, A.K. Arya, dan M.V. Kartikeyan, "A Compact Narrow Band Microstrip Bandpass Filter with Defected Ground Structure (DGS)," *Proceedings of National Conference on Communications (NCC)*, 2012, hal. 1-4.
- [5] S. Lavanya, M.U. Maheshwari, E. Soundarya, A.G. Porkodi, K. Sophiya, dan S. Kanthamani, "Planar Ultra Wideband Bandpass Filter Using Defected Ground Structure," *Proceedings of Int. Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 2015, hal. 1-3.
- [6] W. Aditomo dan A. Munir, "Bandwidth Enhancement of Ultra-wideband Microstrip Bandpass Filter Using Defected Ground Structure," *Proceedings of 13th International Conference on Quality in Research (QiR)*, 2013, hal. 64-67.
- [7] A. Munir dan R. Safitri, "Development of Microstrip BPF Using Open Split Ring Resonator with Square Groundplane Window," *Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, 2014, hal. 49-50.
- [8] S.F. Nurjihan dan A. Munir, "Effect of DGS Incorporation for Bandwidth Enhancement of UWB Microstrip BPF," *Proceedings of 3rd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 2017, hal. 39-42.
- [9] A. Munir, B.D. Wulandari, W. Aditomo, dan Y. Prasetyo, "DGS-based UWB Microstrip BPF and Its Equivalent Circuit," *Proceedings of 9th Int. Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, 2017, hal. 11-15.
- [10] J.S. Hong, *Microstrip Filter Design for RF/Microwave Application*, 2nd ed., Hoboken, USA: Wiley, 2011.
- [11] A. Kumar, *Microstrip Filter Design with Defected Ground Structure*, Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.
- [12] D.S. Salgare and S.R. Mahardik: "A Review of Defected Ground Structure For Microstrip Antennas," *Proceedings of International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2015, hal. 150-154.
- [13] W. Haimeng and Q. Weiping, "Compact Ultra-wideband Bandpass Filters Using Microstrip-Coplanar-Waveguide Simplified Structure," *Proceedings of 11th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems*, 2008, hal. 626-629.
- [14] D.K. Misra, *Radio-Frequency and Microwave Communication Circuit: Analysis and Design*. 2nd ed., Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004.