

**SIMULASI DAN ANALISIS X-BAND MICROSTRIP BANDPASS
FILTER DENGAN MENGGUNAKAN PARALLEL COUPLE LINE
UNTUK PENERIMAAN DATA SATELIT LANDSAT 8**

***SIMULATION AND ANALYSIS OF X-BAND MICROSTRIP BANDPASS
FILTER USING PARALLEL COUPLE LINE FOR LANDSAT 8
SATELLITE DATA RECEPTION***

Ali Syahputra Nasution¹, Hidayat Gunawan²

¹Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia

²Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, LAPAN

E-mail: ali.syahputra@ui.ac.id; ali.syahputra@lapan.go.id

Abstrak

Makalah ini mendemonstrasikan desain lengkap, pengembangan, simulasi dan analisis *filter bandpass* (BPF) mikrostrip pada frekuensi 8.25 GHz dan *bandwidth* 500 MHz. *Filter Chebyshev* dengan order 10 dan *passband ripple* 0.01 dB dipilih. Pertama, *filter prototipe low pass* yang sesuai dirancang, kemudian transformasi impedansi dan penskalaan frekuensi digunakan untuk mengubahnya menjadi *filter* yang diinginkan. *Return loss* dan *insertion* telah diukur. *Filter pass band elemen lumped* telah diturunkan dan dikonversi menjadi filter mikrostrip. Desainnya menunjukkan kesesuaian yang baik dengan hasil teoritis. Perangkat lunak *Advanced Design System* (ADS) digunakan untuk mensimulasikan *filter* elemen *lumped* dan rangkaian *filter parallel (edge)-couple microstrip*. Kata kunci: *Chebyshev, Parallel-Coupled Microstrip, BPF, ADS.*

Abstract

This paper demonstrates a complete design, development, simulation and analysis of a 8.25 GHz microstrip bandpass filter (BPF) and 500 MHz bandwidth. Chebyshev filter with order 10 and 0.01 dB ripple passband is selected. First, a suitable low pass prototype filter is designed, then the impedance transformation and frequency scaling are used to convert it to the desired filter. Return loss and insertion have been measured. The bandpass filter of the lumped element has been derived and converted to a microstrip filter. The design shows good compatibility with theoretical results. Advanced Design System (ADS) software is used to simulate a lumped element filter and a microstrip parallel (edge) -couple filter circuit.
Keywords: Chebyshev, Parallel-Coupled Microstrip, BPF, ADS.

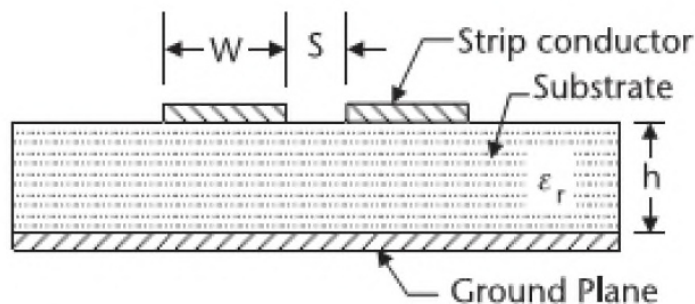
1. PENDAHULUAN

Filter bandpass microwave memainkan peran penting dalam sistem gelombang mikro, terutama dalam sistem transmisi dan penerima, sehingga dapat mengirim dan mengidentifikasi sinyal yang diinginkan. Adapun *filter pass band* gelombang mikro planar, biasanya ada empat tipe yang berbeda yaitu: *filter end-coupled*, *filter parallel coupled*, *filter interdigital*, *filter combline*, dan *filter hairpin* [1][2].

Filter umumnya direalisasikan menggunakan elemen sirkuit *lumped* atau didistribusikan. *Filter* yang dirancang di atas 1 GHz menggunakan elemen *lumped* menghasilkan efek terdistribusi, karena dimensi komponen elektronik sebanding dengan panjang gelombang sinyal. Pada frekuensi tinggi dalam kisaran gelombang mikro, induktor dan kapasitor *lumped* tidak memiliki karakteristik intrinsiknya. Untuk alasan ini, adalah bijaksana untuk menggunakan elemen terdistribusi, misalnya jalur transmisi yang digunakan untuk desain *filter* yang diperlukan pada frekuensi yang lebih tinggi.

Filter mikrostrip lebih menarik dalam aplikasi gelombang mikro karena memiliki keunggulan dibandingkan *filter lumped*. *Filter* mikrostrip berukuran kecil, ekonomis dan memberikan peningkatan kinerja[2]. *Filter* mikrostrip digunakan untuk mengurangi kompleksitas sirkuit gelombang mikro dan komponen pasif yang digunakan dalam sistem komunikasi yang efisien.

Parallel coupled-line/edge-coupled filter banyak digunakan dalam rangkaian *microstrip* microwave dengan *bandwidth* yang dibutuhkan hingga 20% dari frekuensi tengah. Saluran transmisi *parallel coupled* dapat digunakan untuk membuat banyak jenis *filter*. *Couple microstrip lines* simetris terdiri dari dua *strip* sinyal yang terintegrasi pada substrat dengan suatu bidang *ground* belakang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1[3]. Struktur *coupled-line* tersedia untuk semua bentuk dan jenis saluran transmisi/pemandu dielektrik dan pemandu gelombang. *Strip lines*, *microstrip line*, *coplanar waveguide*, *image guide*, dan *insular and inverted strip guides* adalah bentuk planar yang paling populer. Pada Gambar 1, potongan melintang dari jalur sambungan *strip* mikro ditunjukkan. Dalam struktur ini, batasan jarak praktis antara *lines* membatasi kopling ketat yang dapat dicapai sekitar 8 dB pada $\lambda/4$ bagian. Konfigurasi ini adalah struktur paralel (*edge*), dimana W adalah lebar *strip line*, dan S adalah *gap* (jarak) antar *strip line*.



Gambar 1. Struktur *coupled microstrip lines* [3].

Penelitian terkait desain dan simulasi *Parallel (Edge)-Couple microstrip* BPF dapat dilihat pada referensi[3, 5-18]. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan pada frekuensi, *bandwidth*, *order*, bahan yang berbeda-beda. Pada[3], *Parallel couple microstrip* BPF didesain untuk frekuensi 9.5 GHz dengan *bandwidth* 400 MHz, *passband ripple* 0,01 dB, *order* 10, bahan Duroid RTD 5880, $\epsilon_r = 2.2$ dan menghasilkan *insertion loss* (S_{21}) sebesar -1.27 dB dan *return loss* (S_{11}) sebesar -26.262 dB. Kemudian penulis di makalah[6] mensimulasikan *Parallel couple microstrip* BPF untuk frekuensi 2.4 GHz dengan *bandwidth* 240 MHz, *passband ripple* 0.1 dB, *order* 5, bahan FR-4, $\epsilon_r = 4.4$ menghasilkan *insertion loss* (S_{21}) sebesar -3 dB dan *return loss* (S_{11}) sebesar -30 dB. Pada[15], penulis merancang *Parallel couple microstrip* BPF untuk frekuensi 12,45 GHz dengan *bandwidth* 500 MHz, *passband ripple* 0,5 dB, *order* 3, bahan Rogers R06006, $\epsilon_r = 6.45$ dan menghasilkan *insertion loss* (S_{21}) sebesar -0.5 dB dan *return loss* (S_{11}) sebesar -110 dB.

Makalah ini membahas tentang desain dan pengembangan *filter* BPF dalam frekuensi X-band. Pengembangan *bandpass filter* mencakup perhitungan, simulasi, dan analisis parameter *filter*. Makalah ini disajikan dengan struktur *filter* yang sesuai untuk frekuensi antara 8 – 8.5 GHz yang dapat digunakan untuk *filter* penerimaan data satelit penginderaan jauh Landsat 8 dimana sistem komunikasi satelit ini beroperasi pada frekuensi 8200.5 MHz dengan *bandwidth* sebesar 374.85 MHz. Struktur prototipe untuk transformasi *filter bandpass parallel coupled* disimulasikan menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System* (ADS).

2. METODOLOGI

Untuk mendapatkan kontrol tingkat tinggi pada *pass* dan *stop band*, metode *insertion loss* harus digunakan. Ini memungkinkan kinerja *filter* ditingkatkan dengan mengorbankan *filter* dengan *order* lebih tinggi. Spesifikasi desain *filter* ditunjukkan pada Tabel 1. *Filter* yang diusulkan dirancang dengan menggunakan lima langkah berikut[1][2][4]:

1. menentukan *order* dan jenis fungsi perkiraan yang akan digunakan,
2. menemukan prototipe *low pass* yang sesuai,
3. mentransformasikan prototipe *low pass* menjadi konfigurasi *bandpass* yang dibutuhkan,
4. menskalakan konfigurasi *bandpass* baik pada impedansi dan frekuensi, dan,
5. mentransformasikan elemen rangkaian yang disatukan menjadi realisasi yang didistribusikan.

Tabel 1. Spesifikasi *parallel-coupled microstrip bandpass filter*.

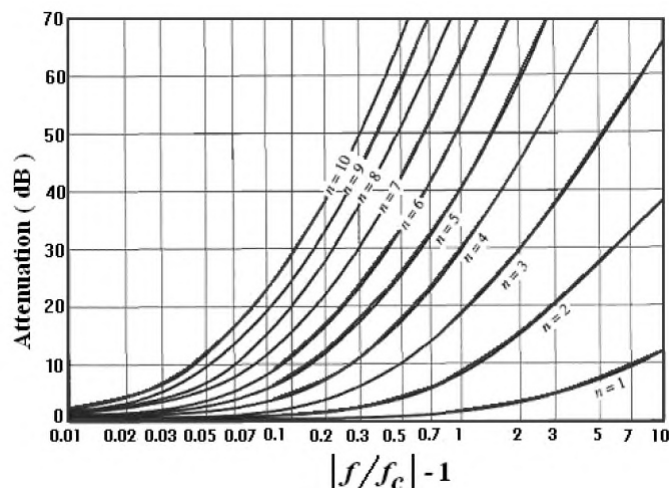
Parameter	Simbol	Nilai
Frekuensi <i>cutoff</i> atas	f_{c2}	8.5 GHz
Frekuensi <i>cutoff</i> bawah	f_{c1}	8.0 GHz
<i>Passband ripple</i>	L_{ar}	0.01 dB
<i>Filter order</i>	n	10
Frekuensi tengah <i>passband</i>	f_c	8.25 GHz
Atenuasi pada <i>rejection region</i>	K_T	≤ 50 dB
<i>Substrate</i>		Flame retardant 4 (FR-4)
Konstanta dielektrik	ϵ_r	4.4
Ketebalan substrat	H	1.6 mm
Ketebalan konduktor	T	0.035 mm
<i>Loss tangent</i>	$TanD$	0.0027

A. Menentukan Jenis dan *Order Filter*

Filter bandpass yang baik memiliki *loss* sinyal minimal di *passband*-nya, serta *passband* sempit dengan redaman band sebanyak mungkin. *Filter Chebyshev* memiliki respons *passband* yang lebih sempit dengan menukar lebih banyak *ripple* di bagian *passband*. *Filter* dengan *order* lebih tinggi mungkin memiliki faktor bentuk yang lebih sempit, tetapi secara fisik akan lebih besar bentuknya. *Order* yang diperlukan untuk menentukan *filter* spesifikasi yang diberikan dihitung sebagai berikut [1][2][4]:

$$n = \frac{\cosh^{-1} \left(\sqrt{\frac{K_T}{10^{L_{ar}/10} - 1}} \right)}{\cosh^{-1} \left(\frac{f}{f_c} \right)} \quad (1)$$

dimana K_T adalah atenuasi minimum dalam dB pada beberapa frekuensi *out-of-band* yang ditentukan sebagai ≤ 50 dB, dan $K = 10^{L_{ar}/10}$, dengan L_{ar} sebagai *ripple* maksimum dalam dB yang diizinkan dalam *passband* [7]. Nilai $(|f/f_c| - 1)$ sama dengan 0.3728 ketika (f) sama dengan 11GHz dan (f_c) adalah frekuensi *cutoff*.



Gambar 2. Redaman vs frekuensi normalisasi untuk *filter* Chebyshev N-section, *passband ripple* 0,01dB [3].

Gambar 2 menunjukkan bagaimana *order filter* dapat ditentukan dengan atenuasi yang diasumsikan. Untuk desain ini, redaman diasumsikan ≤ 50 dB, sehingga *order filter* yang sesuai sama

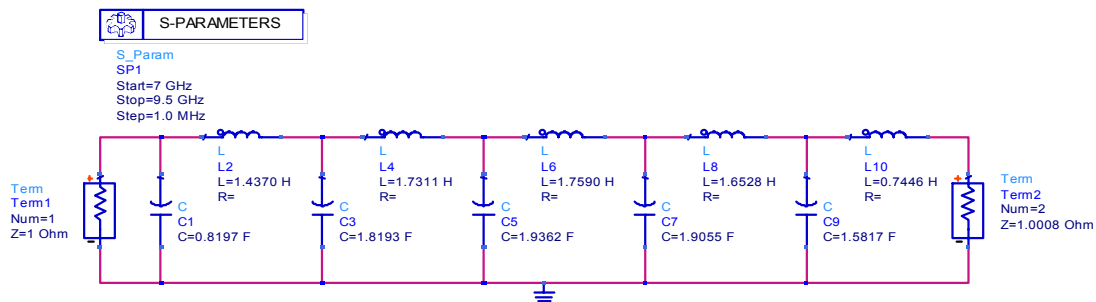
dengan 10. *Order filter* menentukan seberapa curam respons jatuh di *stopband*. Semakin tinggi *order*-nya, semakin curam kemiringan respon (atau *fase*) versus frekuensi[3].

B. Desain Prototipe *Filter Low pass* Menggunakan Komponen *Lumped*

Langkah utama yang harus dipertimbangkan adalah mendesain *microstrip low pass filter* (LPF) menjadi realisasi mikrostrip yang sesuai dari *filter* elemen *lumped*. Dalam desain ini, spesifikasi target *filter* untuk prototipe *low pass* adalah faktor *ripple* $Lar = 0.01$ dB. Setelah menyelesaikan proses pemilihan *order*, prototipe *low pass filter* dikembangkan menggunakan elemen *lumped*, yang merupakan nilai komponen yang dijelaskan pada Tabel 2. Nilai g_i yang ditunjukkan pada Tabel 2 adalah induktansi untuk seri induktor dan kapasitansi untuk kapasitor shunt. Prototipe *low pass filter* ditunjukkan pada sirkuit Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 2. Nilai elemen sirkuit prototipe *low pass* (*ripple passband 0.01dB Chebychev*).

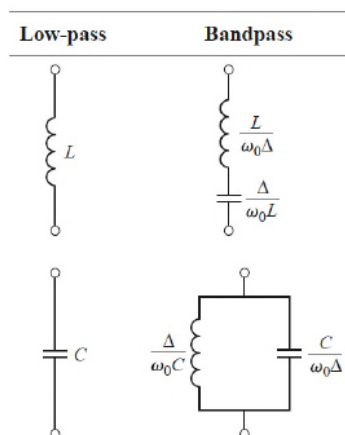
Prototype Elements/ Order	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}	g_{12}
10	0.8196	1.4370	1.819	1.731	1.936	1.7590	1.9055	1.6528	1.5817	0.7446	1.1008	



Gambar 3. Prototipe *low pass filter*

C. Transformasi *Filter Low pass* menjadi *Bandpass Filter*

Setelah mendapatkan nilai-nilai prototipe *filter low pass*, lalu diubah menjadi *bandpass filter* (BPF). Seri induktor dari prototipe *low pass* ditransformasikan menjadi kombinasi seri induktor dan kapasitor, sedangkan kapasitor *shunt* diubah menjadi kombinasi paralel antara induktor dan kapasitor. Transformasi elemen LPF menjadi BPF ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Transformasi elemen LPF menjadi BPF

D. Penskalaan Konfigurasi dalam Impedansi dan Frekuensi

Dalam langkah ini, penskalaan impedansi dan frekuensi dilakukan. *Filter* yang ditransformasi diskalakan dalam frekuensi dan impedansi, menggunakan rumus berikut [1][2]:

1. untuk cabang resonansi seri

$$L_s = \left(\frac{1}{FBW \times \omega_0} \right) Z_0 \times g \quad (2)$$

$$C_s = \left(\frac{FBW}{\omega_0} \right) \frac{1}{Z_0 \times g} \quad (3)$$

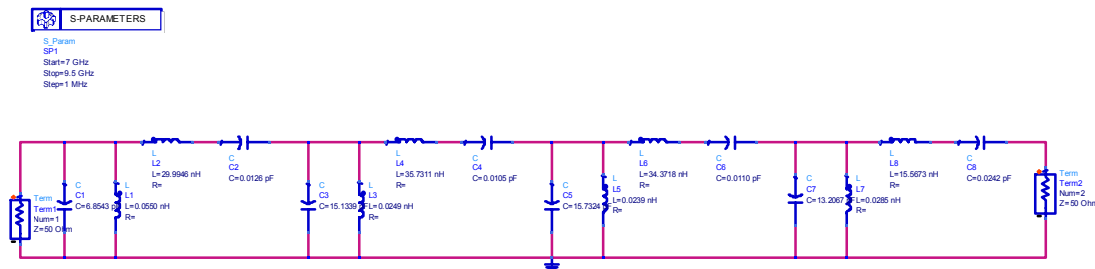
2. untuk cabang resonansi *parallel*

$$C_p = \left(\frac{1}{FBW \times \omega_0} \right) \frac{g}{Z_0} \quad (4)$$

$$L_p = \left(\frac{FBW}{\omega_0} \right) \frac{Z_0}{g} \quad (5)$$

dimana Z_0 adalah impedansi input sama dengan 50Ω , FBW adalah *bandwidth* fraksional yang sama dengan $\frac{BW}{f_c}$, dan $\omega_0 = 2\pi f_c$.

Gambar 5 menunjukkan diagram skematik dari sirkuit yang didesain menggunakan *software* ADS setelah menerapkan *Richard's transformation* dan *Kuroda's identity*.



Gambar 5. Diagram skematik elemen BPF *lumped* dengan jumlah *order* (n) = 10

E. Transformasi Elemen Sirkuit *Lumped* menjadi Realisasi Terdistribusi

Filter elemen *lumped*, yaitu *filter* yang dibangun dengan komponen terpisah seperti kapasitor dan induktor, tidak cocok untuk konstruksi *filter* di atas 500 MHz. Itu karena panjang gelombang menjadi sebanding dengan dimensi elemen *filter* fisik, yang menghasilkan berbagai kerugian, sangat menurunkan kinerja sirkuit. Jadi untuk mencapai pada *filter* praktis, *filter* elemen *lumped* harus diubah menjadi realisasi elemen terdistribusi. Konversi ke *filter* mikrostrip menunjukkan atenuasi penolakan yang tajam dan penekanan harmonik yang unggul dalam stopband, jika dibandingkan dengan yang konvensional. Untuk menerapkan *filter* dengan mikrostrip, identitas Kuroda harus digunakan untuk menentukan impedansi atau *admittance inverters*. Persamaan (6), (7) dan (8) dari *admittance inverters* untuk merancang *microstrip* BPF dengan N+1 bagian *coupled line* adalah sebagai berikut[1][2]:

$$Z_0 J_1 = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_1}} \quad (6)$$

$$Z_0 J_n = \frac{\pi \Delta}{2\sqrt{g_{n-1}g_n}} \quad (7)$$

$$Z_0 J_{N+1} = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2g_N g_{N+1}}} \quad (8)$$

dimana Δ adalah FBW.

Struktur *coupled line* mendukung dua mode kuasi-TEM, mode genap dan mode ganjil. Dari persamaan (9) dan (10), dapat diperoleh impedansi karakteristik mode genap dan ganjil.

$$Z_{0e} = Z_0(1 + jZ_0 + (jZ_0)^2) \quad (9)$$

$$Z_{0o} = Z_0(1 - jZ_0 + (jZ_0)^2) \quad (10)$$

Richard's Transformation digunakan untuk mengubah elemen *lumped* menjadi mikrostrip. Identitas Kuroda digunakan untuk memisahkan elemen *filter* secara fisik. Selanjutnya dilakukan

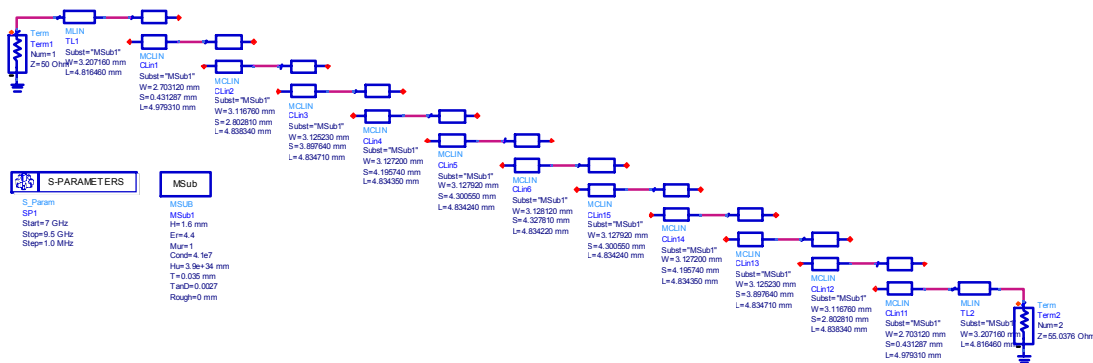
perhitungan lebar W , panjang setiap mikrostrip L , dan jarak di antara mereka S dengan *LineCalc* di ADS dan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penentuan impedansi karakteristik genap, ganjil dan parameter fisik.

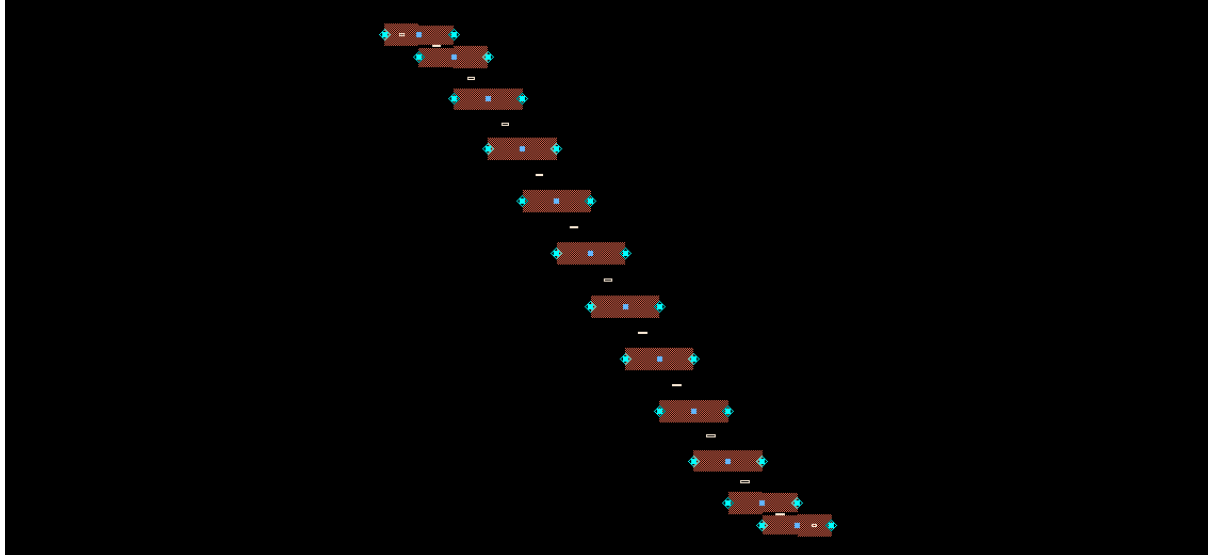
No	Z_{0J_n} (Siemens)	Z_{0e} (ohm)	Z_{0o} (ohm)	Z_{0e} (ohm) <i>LineCalc</i>	Z_{0o} (ohm) <i>LineCalc</i>	W (mm)	S (mm)	L (mm)
1	0.3408	72.8473	38.7672	68.5401	36.4750	2.7031	0.4313	4.9793
2	0.0877	54.7707	45.9988	54.5596	45.8215	3.1168	2.8028	4.8383
3	0.0589	53.1173	47.2294	53.0251	47.1475	3.1252	3.8976	4.8347
4	0.0536	52.8261	47.4617	52.7500	47.3933	3.1272	4.1957	4.8344
5	0.0520	52.7351	47.5353	52.6638	47.4710	3.1279	4.3006	4.8342
6	0.0516	52.7123	47.5538	52.6421	47.4905	3.1281	4.3278	4.8342
7	0.0520	52.7351	47.5353	52.6638	47.4710	3.1279	4.3006	4.8342
8	0.0536	52.8261	47.4617	52.7500	47.3933	3.1272	4.1957	4.8344
9	0.0589	53.1173	47.2294	53.0251	47.1475	3.1252	3.8976	4.8347
10	0.0877	54.7707	45.9988	54.5596	45.8215	3.1168	2.8028	4.8383
11	0.3408	72.8473	38.7672	68.5401	36.4750	2.7031	0.4313	4.9793

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Filter pass-band microstrip X-Band dirancang untuk melewatkan sinyal dalam rentang frekuensi 8-8.5GHz. Bahan *filter* adalah FR-4, yang konstanta dielektriknya adalah 4.4, tinggi substrat 1.6 mm, ketebalan konduktor 0.035 mm dan *loss tangent* 0.0027. Gambar 6 menunjukkan rangkaian skematis dari *microstrip BPF* yang dirancang dengan ADS setelah memasukkan impedansi karakteristik genap dan ganjil, yang tercantum dalam Tabel 4. Komponen *Microstrip Line* (MLIN) ditambahkan ke sumber dan memuat sisi *filter* untuk mencocokkan impedansi input dan *output*. Panjangnya (L) adalah 3.207160 mm dan lebarnya (W) 4.816460 mm, yang dihitung menggunakan alat *LineCalc* dalam perangkat lunak ADS. Gambar 7 menunjukkan tata letak mikrostrip BPF dengan menggunakan perangkat lunak ADS. Ukuran *filter* ($L \times W$) = 53.476 mm x 69.1123 mm.

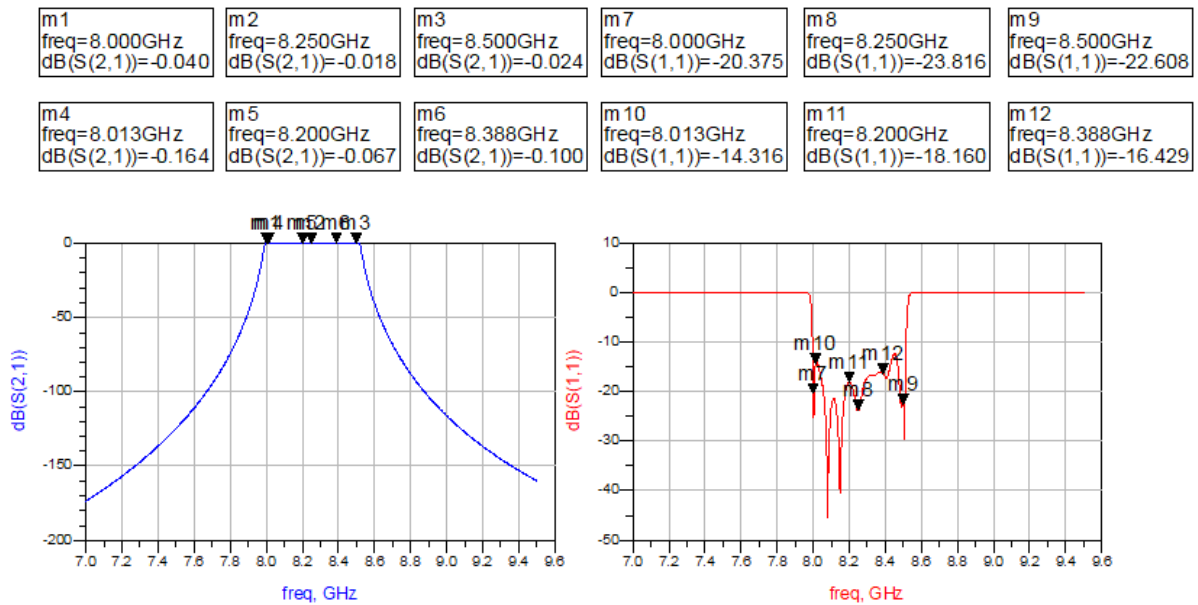


Gambar 6. Model parallel coupled microstrip transmission line BPF di ADS.

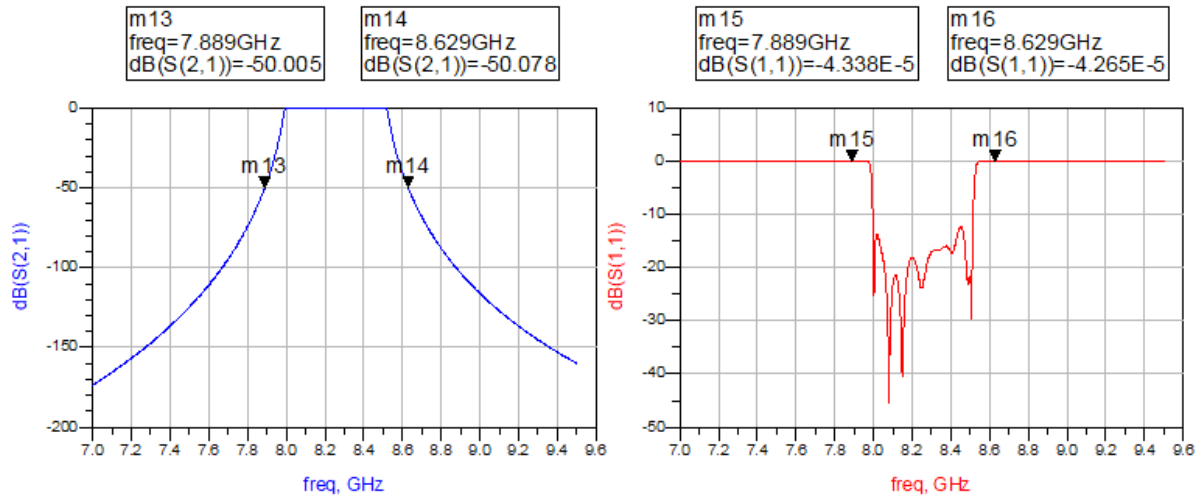


Gambar 7. Tata letak *parallel-coupled microstrip BPF*.

Gambar 8 dan 9 menunjukkan respons *lumped BPF* di daerah *passband* dan *stopband*. Diamati bahwa *insertion loss* adalah antara -0.040 dB dan -0.024 dB dalam *passband* yang diinginkan dan lebih kecil dari 50 dB pada frekuensi *out-band* 7.889 GHz. Pada frekuensi tengah 8.25 GHz, *return loss* dan *insertion loss* yang disimulasikan adalah -23.816 dB dan -0.018 dB. Selain itu, dapat diamati pula pada rentang frekuensi kerja Landsat 8 (8.013 – 8.388 GHz), *insertion loss* adalah antara -0.164 dB dan -0.100 dB dalam *passband*. Sedangkan pada frekuensi tengah Landsat 8 (8.2005 GHz), *return loss* dan *insertion loss* yang disimulasikan adalah -18.160 dB dan -0.067dB.

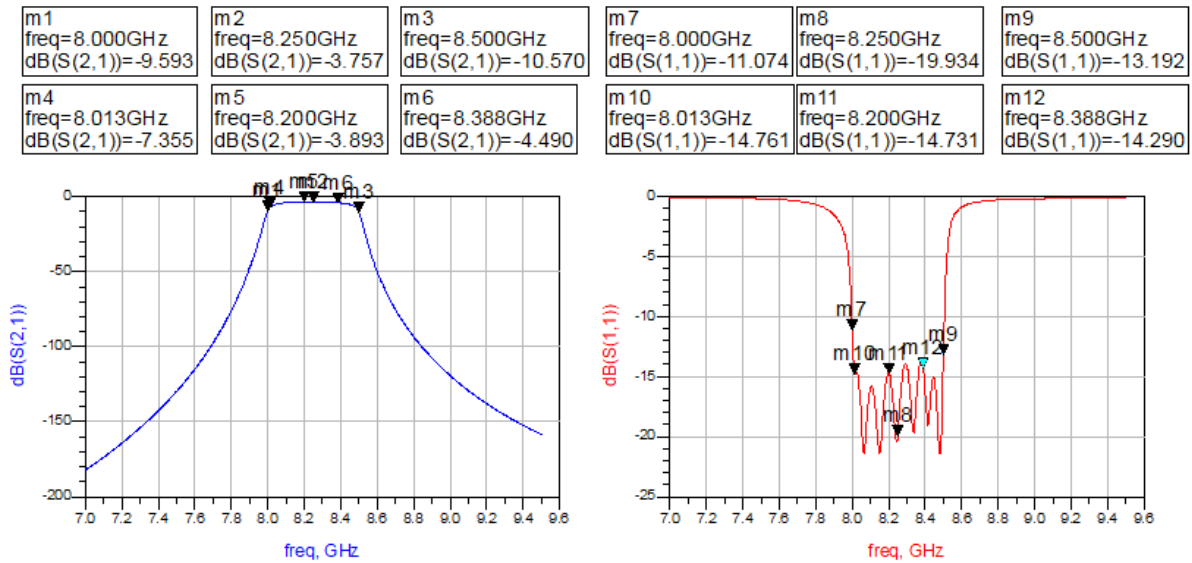


Gambar 8. *Output* bentuk gelombang elemen *lumped BPF S₂₁, S₁₁* vs frekuensi dalam wilayah *passband*.

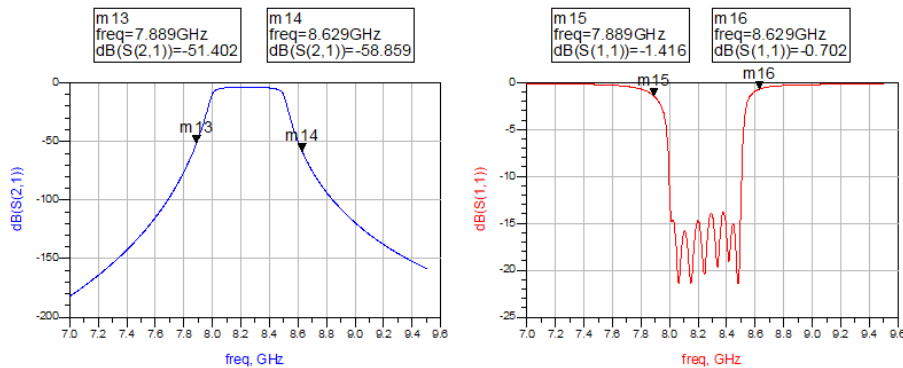


Gambar 9. Output bentuk gelombang elemen lumped BPF S_{21} , S_{11} vs frekuensi dalam wilayah stopband.

Gambar 10 dan 11 menunjukkan respons *parallel coupled microstrip* BPF di daerah *passband* dan *stopband*. Diamati bahwa *insertion loss* adalah antara -9.593 dB dan -10.570 dB dalam *passband* yang diinginkan dan lebih kecil dari 51 dB pada frekuensi out-band 7.889 GHz. Pada frekuensi tengah 8.25 GHz, *return loss* dan *insertion loss* yang disimulasikan adalah -19.934 dB dan -3.757 dB. Selain itu, dapat diamati pula pada rentang frekuensi kerja Landsat 8 (8,013 – 8,388 GHz), *insertion loss* adalah antara -7.355 dB dan -4.490 dB dalam *passband*. Sedangkan pada frekuensi tengah Landsat 8 (8.2005 GHz), *return loss* dan *insertion loss* yang disimulasikan adalah -14.731 dB dan -3.893 dB.



Gambar 10. Output bentuk gelombang mikrostrip BPF S_{21} , S_{11} vs frekuensi dalam wilayah passband.



Gambar 11. Output bentuk gelombang mikrostrip BPF S_{21} , S_{11} vs frekuensi dalam wilayah *stopband*.

4. KESIMPULAN

Makalah ini menjelaskan prosedur untuk merancang *bandpass filter* menggunakan elemen *lumped* dan mengkonversikannya menjadi *parallel coupled microstrip BPF* dengan menggunakan transformasi Richard dan identitas Kuroda. *Filter* melewatkan sinyal pada rentang frekuensi antara 8 GHz hingga 8.5 GHz. *Filter parallel coupled microstrip line order* tinggi digunakan untuk mendapatkan *insertion loss* antara -9.593 dB hingga -10.570 dB di jalur *passband* yang diinginkan dan lebih kecil dari -51dB pada frekuensi di luar band. *Return loss* hasil simulasi lebih kecil dari -19 dB pada frekuensi tengah 8.25 GHz. Hasil simulasi *filter* juga memperlihatkan dapat mem-*filter* penerimaan satelit penginderaan jauh Landsat 8 pada frekuensi tengah 8.2005 GHz dengan *bandwidth* sebesar 378.85 MHz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pustekdata LAPAN, Fakultas Teknik - Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia, dan Insinas Ristekdikti atas fasilitas dan dukungan dalam melakukan kegiatan penelitian ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] David M.Pozar, "Microwave Engineering," Fourth Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc, (2012). Ch.8, pp.380- 450.
- [2] Awang, Z, "Microwave systems design," Springer Singapore, 2014.
- [3] Hamza R. E., Babiker A. A., Mirghani M., "Simulation and Analysis of Coupled Microstrip Bandpass Filter for 9.3–9.7GHz," *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, Vol. 6, Issue 6, pp. 10-19, 2017.
- [4] Christopher Bowick, "RF Circuit Design," *Newnes*, 2007.
- [5] Abdul Rani Othmanx, Chairulsyah Wasli." 2.4 GHz Microstrip Bandpass Filter," The 1st International Conference on Engineering and ICT, Melaka, Malaysia, 2007.

- [6] A.K. Tiwary, N. Gupta, "Design of Compact Coupled Microstrip Line Bandpass Filter with Improved Stopband Characteristics," *Progress in Electromagnetics Research C*, Vol. 24, pp.97-109, 2011.
- [7] Md. Rokunuzzaman, M.T. Islam, R. Azim, Radial Anwar and Mhd Fairos Asillam, "Design of a Coupled-Line Bandpass Filter for Satellite Dish Antenna Receiver," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(6): 571-577, 2013.
- [8] M.A. Othman, M. Sinnappa, M.N. Hussain, M.Z.A. Abd. Aziz, M.M. Ismail, "Development of 5.8 GHz Microstrip Parallel Coupled Line Bandpass Filter for Wireless Communication System," *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Vol. 5, No. 4, 2013.
- [9] Ahmed Hameed Reja, Syed Naseem Ahmad, and Mushtaq A. Alqaisy, "Study the Effect of SRRs on Broadband Microwave Parallel-Coupled Band-Pass Filters," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp 132-136, 2014.
- [10] Mr. K.S.Khandelwal, Dr. A.K.Kureshi. "Realization of Microstrip Band-Pass Filter Design," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, Vol. 3 Issue 12, pp.4242-4247, 2014.
- [11] Viswavardhan Reddy. K, Mausumi Dutta, Maumita Dutta, Design and Analysis of Bandpass Filter for Wireless Communication," *IJTEMAS*, Volume III, Issue VI, 2014.
- [12] Md Rasheduzzaman Al-Amin, Sourav Sundar Chowdhury, Khondoker Ziaul Islam, "Design and simulation of an Edge-coupled Bandpass Filter at X Band," *International Conference on Materials, Electronics & Information Engineering (ICMEIE)*, 2015.
- [13] Dipak C.Vaghela, A. K. Sisodia, N. M. Prabhakar, "Design, Simulation and Development of Bandpass Filter at 2.5 GHz," *IJEDR*, Vol. 3, Issue 2, 2015.
- [14] Satish R.Gunjral, R.S.Pawase, Dr.R.P.Labade, "Design And Implementation Of Microstrip Bandpass Filter Using Parallel Coupled Line For ISM Band," *IJARIE*, Vol. 2-Issue 3, pp.3059-3036, 2016.
- [15] Muhammad Mostafa Amir Faisal, Md. Mushfiqur Rahaman, Abdullah Al Israfil. "Simulation and Analysis of Edge-Coupled Bandpass Filter for Ku Band Application". *Asian Journal of Engineering and Technology*, Vol. 04- Issue 05, pp.109-117, October 2016.
- [16] Srinath S., "Design of 3rdOrder Coupled Line Bandpass Filter for Wireless Application using Agilent ADS," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, Vol. 5, Issue 7, 2016.
- [17] N. N. Al-Areqi, N. Seman and T. A. Rahman, "Design of Microstrip Parallel-Coupled Line Bandpass Filters for the Application in Fifth-Generation Wireless Communication," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, Vol. 9 No. 2-7, 2017.
- [18] Shobit Agarwal, Rahul Kumar Garg, Raghuvir Tomar, "C-Band Microstrip Bandpass Filter Design," *International Journal of Research in Advent Technology (IJRAT) Special Issue*, 2018.L. Imsland et al. "Vehicle velocity estimation using nonlinear observers," *Automatica*, vol. 42, no. 2, pp. 2091-2103, 2000.