

Rancangan Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto

Teguh Firmansyah¹, Dwi Harsojo², Toni³, Feti Fatonah⁴, Abdul Aziz⁵

¹Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (USAT). Cilegon. Banten.

²Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara. Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI). Curug. Tangerang. Banten.

teguhfirmansyah@untirta.ac.id

Abstrak – Pada penelitian ini dilakukan perancangan bandpass filter dengan dual frekuensi secara cascode. Filter tersebut bekerja pada frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz yang merupakan frekuensi untuk Perangkat Tower Set di Bandara Budiarto. Hasil perancangan bandpass filter pada frekuensi 119,7 MHz diperoleh nilai return loss (S_{11}) sebesar -37,86 dB, bandwidth 19 kHz, insertion loss (S_{21}) -0,001 dB. Sementara itu, pada frekuensi 123,2 MHz diperoleh nilai return loss (S_{11}) sebesar -19,167 dB, bandwidth 16 kHz, insertion loss (S_{21}) -0,053 dB. Filter dual frekuensi menunjukkan kinerja yang baik dan memenuhi standar spesifikasi yang diharapkan.

Kata kunci: Cascode, Insertion Loss, Return Loss, Filter.

Abstract – The band pass filter with a dual frequency with cascode method was simulated, analyzed, and reported in this paper. The filter works at frequency 119.7 MHz and 123.2 MHz which is the frequency for Budiarto Airport Tower Set. The simulation of the bandpass is obtained return loss (S_{11}) of -37.86 dB, 19 kHz bandwidth, insertion loss (S_{21}) -0.001 dB at the frequency 119.7 MHz. Meanwhile, on the frequency 123.2 MHz have a return loss (S_{11}) -19.167 dB, 16 kHz bandwidth, insertion loss (S_{21}) -0.053 dB. This dual frequency filter shown good performance and meets the specifications of the standards.

Keywords: Cascode, Insertion Loss, Return Loss, Filter.

I. PENDAHULUAN

Salah satu peralatan komunikasi yang ada di Bandar Udara Budiarto adalah peralatan *Tower Set* yang merupakan peralatan komunikasi penerbangan dari darat ke udara atau sebaliknya berupa informasi penerbangan dan pengaturan pergerakan pesawat udara termasuk pendaratan dan lepas landas [1].

Komunikasi yang berlangsung antara Pemandu Lalu Lintas Udara dan Pilot tersebut berlangsung menggunakan frekuensi radio. Berdasarkan Annex 10 tentang *Aeronautical Telecommunications Vol.V*, pembagian rentang frekuensi yang dialokasikan untuk komunikasi berada pada klasifikasi kelas *Very High Frequency* (VHF) yang biasa disebut VHF A/G (*Air to Ground*) memiliki rentang frekuensi 117,975 MHz sampai dengan 137 MHz, dengan *channel spacing* 25 kHz. Bandarudara Budiarto memiliki dua *channel* frekuensi yang digunakan pada proses komunikasi tersebut, yaitu pada frekuensi *Ground* 119,7 MHz dan frekuensi *Tower* 123,2 MHz.

Penggunaan frekuensi VHF A/G (*Air to Ground*) memiliki kekurangan yaitu sering terjadi interferensi pada frekuensi penerima *Tower Set* yang disebabkan oleh berbagai hal, salah satunya adalah penggunaan radio amatir disekitar Bandar udara Budiarto sehingga

mengganggu proses komunikasi antar Pilot dan Pemandu Lalu Lintas Udara.

Untuk menanggulangi faktor adanya gangguan interferensi dari *channel* frekuensi lain saat sedang melakukan komunikasi, maka dibutuhkanlah sebuah metode yang dapat memisahkan *spectrum* frekuensi secara lebih spesifik. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah filter [1][2].

Dari permasalahan yang muncul maka pada penelitian ini akan dirancang *bandpass* filter menggunakan komponen *lumped*, yaitu induktor dan kapasitor, yang diharapkan mampu bekerja pada dua frekuensi yaitu frekuensi *Ground* 119,7 MHz dan frekuensi *Tower* 123,2 MHz untuk peralatan penerima *Tower Set* Bandar Udara Budiartodengan lokasi penelitian di Bandar Udara Budiarto.

II. PERANCANGAN BAND PASS FILTER

A. Gambaran Umum Sistem Receiver

Peralatan penunjang telekomunikasi antara pemandu lalu lintas udara dan pilot adalah peralatan *Tower set*. Dalam hal ini Bandar udara Budiarto memiliki dua *channel* frekuensi yang digunakan untuk proses komunikasi, yaitu frekuensi *ground* di 119,7 MHz dan frekuensi *tower* di 123,2 MHz. Untuk menghindari adanya gangguan atau interferensi dari frekuensi-

frekuensi lainnya, di gunakan sebuah metode yang disebut filter.

Filter bekerja melewati frekuensi yang dikehendaki dan membatasi frekuensi yang tidak diinginkan. Perancangan filter diawali dengan menentukan karakteristik filter yang diharapkan, karakteristik yang dimaksud adalah jenis filter yang digunakan, frekuensi kerja, bandwidth, return loss dan insertion loss [3][4][5].

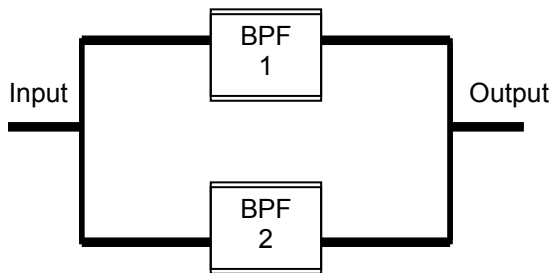
Dalam perancangan ini ditentukan jenis filter yang digunakan yaitu bandpass filter, yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz, dibuat dengan menggunakan komponen *lumped*, yaitu kapasitor dan induktor yang dirangkai secara baik seri maupun paralel, untuk kemudian ditentukan nilai nya.

Kemudian rancangan rangkaian bandpass filter tersebut disimulasikan untuk mengetahui hasilnya, adapun hasil yang diperoleh dari simulasi harus memenuhi spesifikasi dari bandpass filter yang akan dirancang yaitu bekerja pada frekuensi kerja 119,7 MHz dan 123,2 MHz, dengan nilai *insertion loss* lebih dari – 3 dB, nilai *return loss* kurang dari – 10 dB, dan *bandwidth* sebesar kurang lebih 25 kHz.

Setelah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, simulasi *dual bandpass* ini akan memasuki tahap pabrikan. Hasil pabrikan tersebut akan diuji menggunakan alat ukur *Network Analyzer*, yang hasil pengukurannya tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi.

B. Tahap Perancangan BPF

Rangkaian *lumped* akan digunakan pada frekuensi pertama yaitu 119,7 MHz dan selanjutnya digunakan kembali pada frekuensi kedua, yaitu frekuensi 123,2 MHz, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pembentukan *dual bandpass filter*

1. Frekuensi yang dipilih

Pemilihan frekuensi dilakukan berdasarkan *focus* penelitian, yaitu di bandar udara budiarto yang mana frekuensi yang dipilih menyesuaikan dengan peralatan tower set yang digunakan untuk berkomunikasi di bandar udara tersebut. Frekuensi yang dimaksud adalah 119,7 MHz untuk frekuensi *Ground* dan frekuensi 123,2 MHz untuk frekuensi *Tower*.

2. Pemilihan spesifikasi filter

Agar filter yang dirancang ini bekerja sesuai dengan fungsinya yang hanya melewati frekuensi yang diinginkan, frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz, maka dipilih jenis filter yang berfungsi hanya melewati

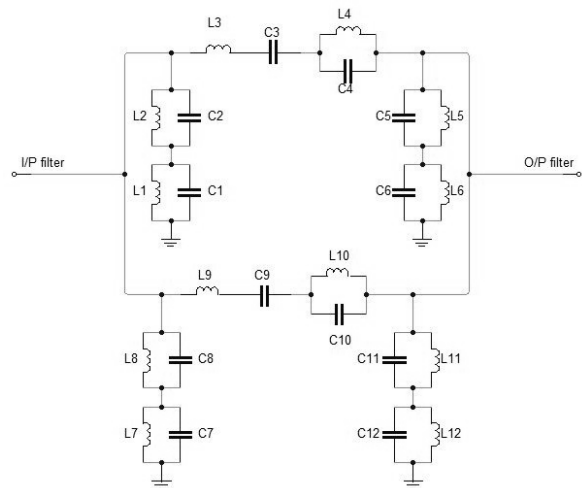
frekuensi tengah, dan membatasi frekuensi sesudah dan sebelum, yaitu filter jenis *bandpass*.

Perancangan *bandpass* filter ini juga memiliki spesifikasi yang harus dipenuhi agar mampu bekerja diperalatan penerima *tower set*, adapun spesifikasi yang harus dipenuhi seperti pada Tabel 3.2, yaitu lebar *bandwidth* kurang lebih 25 kHz, nilai *return loss* kurang dari -10 dB, nilai *insertion loss* >-3 dB, dan nilai VSWR kurang dari 2.

3. Perancangan konfigurasi filter

Untuk merancang sebuah filter yang mampu melewati frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz dibentuk sebuah rangkaian yang terdiri dari komponen *lumped*, yaitu induktor dan kapasitor.

Untuk mendapatkan dua frekuensi kerja, maka penulis membuat rancangan *bandpass* filter ini menggunakan konsep pada Gambar 1. Sehingga, rangkaian yang dirancang akan menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi *Dual Bandpass* filter yang dirancang

4. Menentukan Nilai Komponen *Lumped Dual Bandpass* Filter

Langkah selanjutnya setelah merancang konfigurasi *dual bandpass* filter adalah menentukan nilai komponen. Untuk mendapatkan nilai komponen, terlebih dahulu dihitung nilai variabel-variabel yang dibutuhkan. Untuk menentukan nilai variabel, terlebih dahulu diketahui bahwa [4][5][6]:

$$\begin{aligned} \omega_a &= 119,7 \\ \omega_b &= 119,7 \\ \omega_p &= 2,51 \times 10^{-3} \\ \omega_z &= 1,89 \times 10^{-3} \\ \omega_{z1} &= 119,684 \\ \omega_{z2} &= 119,716 \\ \omega_{p1} &= 119,684 \\ \omega_{p2} &= 119,716 \\ X &= 63841,7699 \end{aligned}$$

Nilai komponen ini di peroleh melalui perhitungan frekuensi resonansi yang dapat dihitung dengan menentukan impedansi total dengan pendekatan. Sehingga didapati persamaan untuk menentukan nilai komponen untuk frekuensi 119,7 MHz sebagai berikut:

Diketahui nilai-nilai variabel:
 $b = 1,4507 \times 10^{-4}$

$$\begin{aligned}
 a &= 5,25 \times 10^{-9} \\
 f &= 1,4507 \times 10^{-4} \\
 d &= 5,25 \times 10^{-9} \\
 E &= \frac{X \omega_a^2 (\omega_b^4 d - \omega_b^2 f + 1)}{\omega_b \omega_a^2 - \omega_b^2} \\
 &= 2,670 \times 10^{-7} \\
 \text{maka nilai } C_1 \text{ adalah:} \\
 C_1 &= \frac{\omega_a^4 a - \omega_a^2 b + 1}{X \left(\omega_a - \frac{\omega_a^3}{\omega_b} \right)} \\
 &= \frac{119,7^4 \cdot 5,25 \times 10^{-9} - 119,7^2 \cdot 1,4507 \times 10^{-4} + 1}{1,329 \times 10^{-3} \left(119,7 - \frac{119,7^3}{(2,51 \times 10^{-3})^2} \right)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 42,705 \text{ pF} \\
 \text{Maka nilai } L_1 \text{ adalah} \\
 L_1 &= \frac{a \omega_p^2}{C_1} \\
 &= \frac{5,25 \times 10^{-9} (2,51 \times 10^{-3})^2}{42,705}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 37,28 \text{ nH} \\
 \text{Nilai } C_2 \text{ dapat ditentukan menggunakan persamaan} \\
 C_2 &= \frac{-C_1}{a \omega_p^4 + 1 - b \omega_p^2} = 64,16 \text{ pF}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka nilai } L_2 \text{ adalah} \\
 L_2 &= \frac{1}{\omega_p^2 C_2} \\
 &= \frac{1}{(2,51 \times 10^{-3})^2 \cdot 64,16} \\
 &= 29,6867 \text{ nH}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sementara nilai } C_4 \text{ menggunakan persamaan} \\
 C_4 &= \frac{\left(f - \frac{v}{2} \right) 2 \omega_z^2 d - v \omega_z^2 d}{2 \omega_z^2 d E - v E}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 49,755 \text{ pF} \\
 \text{Sedangkan nilai } L_4 \text{ dengan menggunakan persamaan} \\
 L_4 &= \frac{d \omega_{p1}^2}{C_4} \\
 &= \frac{5,25 \times 10^{-7} \cdot (119,684)^2}{49,755} \\
 &= 80,785 \text{ nH}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk menentukan nilai komponen } C_3 \\
 C_3 &= \frac{-\omega_z^2 d C_4}{\omega_z^2 d - E C_4} \\
 &= 82,76 \text{ pF}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selain itu, untuk menentukan nilai } L_3 \\
 L_3 &= \frac{d \omega_{p2}^2}{C_3} \\
 &= \frac{5,25 \times 10^{-9} \cdot (119,716)^2}{82,76} \\
 &= 84,885 \text{ nH}
 \end{aligned}$$

Menentukan nilai C5, L5, C6 dan L6 dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 C_5 &= \frac{-\omega_z^2 d C_4}{\omega_z^2 d - E C_4} \\
 &= \frac{-(1,89 \times 10^{-3})^2 \cdot 5,25 \times 10^{-9} \cdot 49,755}{(1,89 \times 10^{-3})^2 \cdot 2,27 \times 10^8 - 2,67 \times 10^{-7} \cdot 49,755} \\
 &= 43,66 \text{ pF} \\
 L_5 &= \frac{d \omega_{p2}^2}{C_5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5,25 \times 10^{-9} \cdot (119,716)^2}{82,76} \\
 &= 47,185 \text{ nH} \\
 C_6 &= \frac{\left(f - \frac{v}{2} \right) 2 \omega_z^2 d - v \omega_z^2 d}{2 \omega_z^2 d E - v E} \\
 &= 26,265 \text{ pF} \\
 L_6 &= \frac{d \omega_{p1}^2}{C_6} \\
 &= \frac{5,25 \times 10^{-7} \cdot (119,684)^2}{49,755} \\
 &= 51,55 \text{ nH}
 \end{aligned}$$

Berikut di bawah ini merupakan nilai komponen pada rangkaian yang bekerja di frekuensi 119,7 MHz.

Tabel 1. Komponen *Bandpass* filter untuk frekuensi 119,7 MHz

Komponen	Nilai
L1	37,28 nH
L2	29,6867 nH
L3	84,885 nH
L4	80,785 nH
L5	47,185 nH
L6	51,55 nH
C1	42,705 pF
C2	64,16 pF
C3	82,76 pF
C4	49,755 pF
C5	43,66 pF
C6	28,265 pF

Dan pada frekuensi 123,2 MHz didapati nilai komponennya sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui bahwa} \\
 \omega_a &= 123,2 \\
 \omega_b &= 123,2 \\
 \omega_p &= 2,662 \times 10^{-3} \\
 \omega_z &= 1,88 \times 10^{-3} \\
 \omega_{z1} &= 123,184 \\
 \omega_{z2} &= 123,216 \\
 \omega_{p1} &= 123,184 \\
 \omega_{p2} &= 123,216 \\
 X &= 62081,89
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang sama maka diperoleh nilai komponen seperti Tabel 2.

Tabel 2. Komponen *Bandpass* filter untuk frekuensi 123,2 MHz

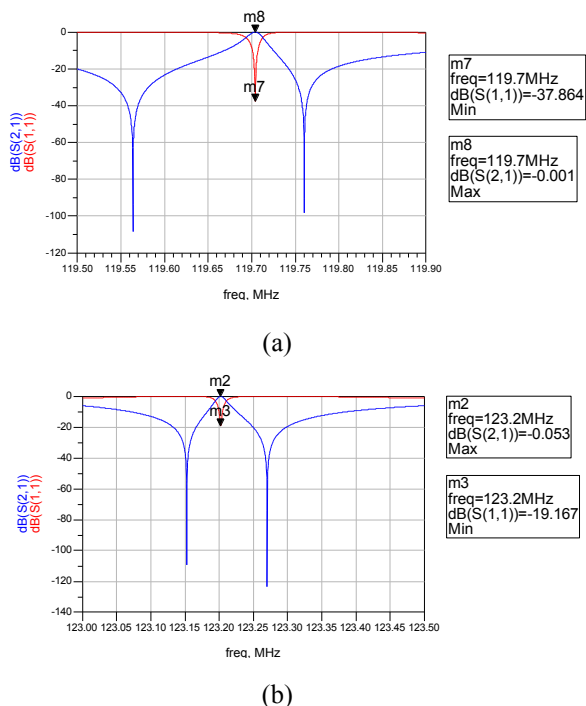
Komponen	Nilai
L7	37,255 nH
L8	28,2 nH
L9	80,2 nH
L10	71,2 nH
L11	45 nH
L12	50,2 nH
C7	41,15 pF
C8	62,905 pF
C9	88,55 pF
C10	50,2 pF
C11	40,9 pF
C12	29,35 pF

5. Simulasi rangkaian

Pada bagian ini akan dibahas kinerja dari *dual bandpass* filter yang dirancang menggunakan perangkat lunak untuk dianalisa kinerjanya. Perangkat lunak yang digunakan merupakan perangkat lunak yang memiliki fungsi untuk mendesain, simulasi, dan melakukan pengukuran secara akurat, pada perangkat yang menggunakan frekuensi tinggi. Kinerja yang pertama kali akan ditampilkan adalah simulasi *input return loss* (S_{11}) yang akan menunjukkan frekuensi dari *dual bandpass* filter. Kemudian akan ditampilkan nilai *insertion loss* (S_{21}) untuk mengetahui seberapa besar daya yang hilang akibat penyisipan filter diantara kedua *port*. *VSWR* dan Z_{IN} juga akan ditampilkan untuk mengetahui sejauh mana *matching impedance* yang dihasilkan. Tahapan yang terakhir adalah mengukur *group delay* dari *dual bandpass* filter tersebut [7][8][9][10].

a. Hasil Simulasi Frekuensi Kerja

Berdasarkan hasil simulasi yang terlihat pada Gambar 3. bahwa frekuensi yang ditunjukkan adalah 119,7 MHz dan 123,2 MHz, dimana frekuensi tersebut merupakan frekuensi yang digunakan pada peralatan penerima *tower set* di bandar udara budiarto. Dapat disimpulkan bahwa, *dual bandpass* filter ini telah bekerja pada dua frekuensi yang diinginkan.

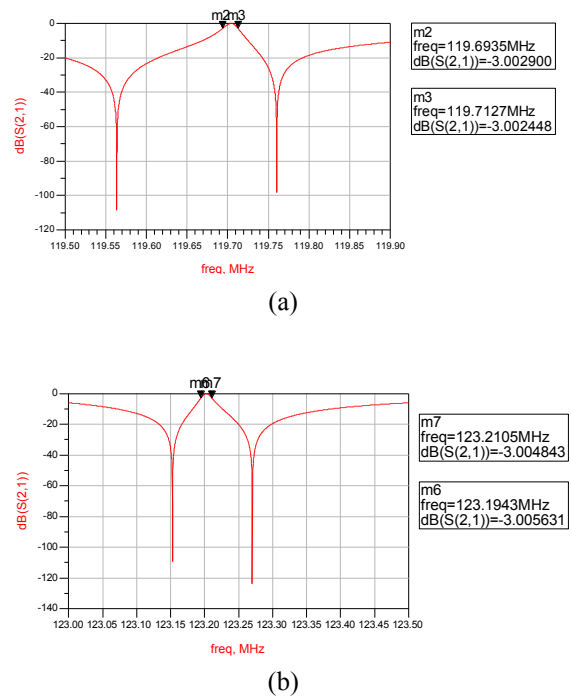


Gambar 3. Hasil simulasi frekuensi kerja pada (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

b. Hasil Simulasi Bandwidth

Untuk mempresentasikan *bandwidth* sebuah filter nilai umum yang dipergunakan adalah *bandwidth* S_{21} . *Bandwidth* pada S_{21} menunjukkan rentang frekuensi di mana terjadi hilangnya daya yang ditransmisikan tidak lebih dari -3 dB. Nilai *bandwidth* diperoleh berdasarkan frekuensi atas dari frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz pada -3 dB dikurangi nilai frekuensi bawahnya pada -3 dB. Nilai *bandwidth* yang diperoleh pada frekuensi 119,7 MHz sebesar 19,2 kHz, dan pada frekuensi 123,2 MHz

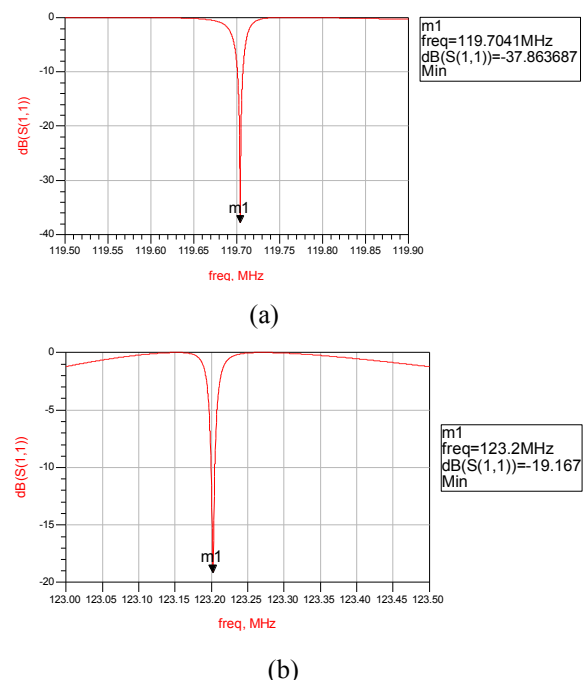
sebesar 16,2 kHz di tunjukkan pada Gambar 4. (a) dan (b).



Gambar 4. Nilai frekuensi batas atas dan batas bawah pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

c. Hasil Simulasi Return Loss (S_{11})

Nilai *return loss* yang dibutuhkan berdasarkan spesifikasi di Tabel 3.2 adalah kurang dari -10 dB. Hasil simulasi *return loss* pada kedua frekuensi ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai yang didapat pada frekuensi 119,7 MHz adalah -37,86 dB dan pada frekuensi 123,2 MHz adalah -19,16 dB, menunjukkan bahwa rangkaian *dual bandpass* filter mampu beroperasi pada dua frekuensi yang berbeda.

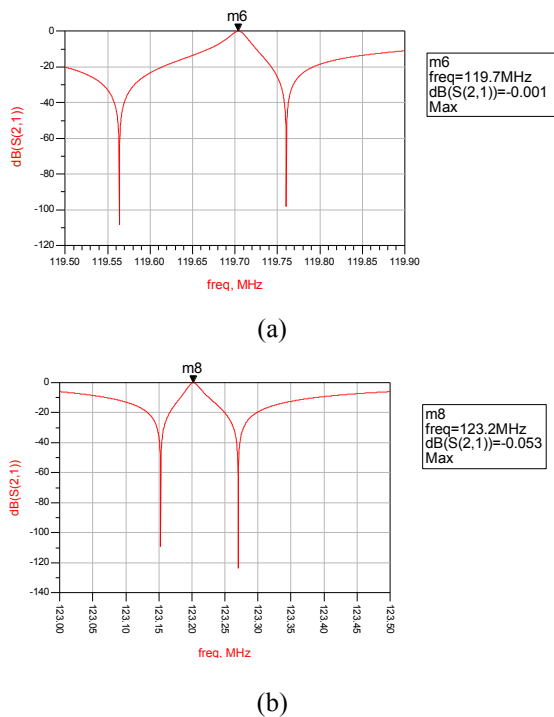


Gambar 5. Hasil simulasi *return loss* pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

d. Hasil Simulasi Insertion Loss (S_{21})

Hasil simulasi *insertion loss* (S_{21}) rangkaian *dual bandpass* filter diperlihatkan pada Gambar 6. Nilai *insertion loss* yang didapati pada frekuensi 119,7 MHz adalah -0,001 dB dan frekuensi 123,2 MHz adalah -0,053 dB, yang mana telah memenuhi nilai spesifikasi minimal yaitu kurang dari -3 dB.

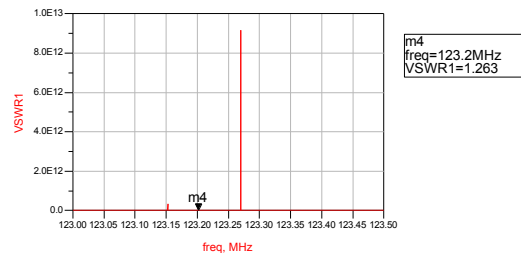
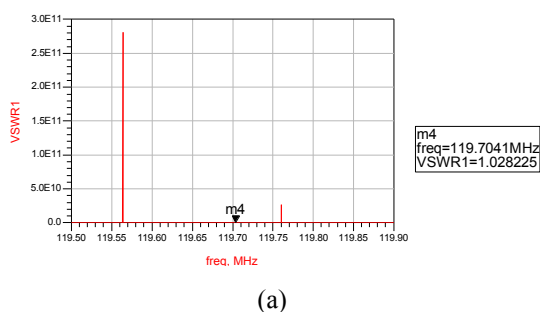
Nilai *insertion loss* yang mendekati nol menunjukkan semakin kecil daya yang hilang akibat penyisipan filter di antara kedua port. Sehingga, dapat ditarik kesimpulan bahwa *dual bandpass* filter dapat bekerja pada dua frekuensi yang diinginkan.



Gambar 6. Hasil simulasi *insertion loss* pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

e. Hasil Simulasi VSWR

VSWR pada rangkaian idealnya bernilai satu. Semakin VSWR mendekati nilai 1, rangkaian semakin baik. Nilai VSWR pada masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi yang diharapkan, yaitu memiliki nilai antara 1 – 2 pada semua frekuensi kerja *dual bandpass* filter tersebut. Dari Gambar 7. tampak bahwa nilai hasil simulasi pada frekuensi 119,7 MHz adalah 1,02 dan 123,2 MHz adalah 1,26.



Gambar 7. Hasil simulasi VSWR pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

C. Pabrikasi Rancangan

Setelah proses perancangan selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah proses pabrikasi. Hasil pabrikasi tersebut kemudian diukur menggunakan *Network Analyzer* di Balai Teknik Penerbangan Direktorat Jendral Perhubungan Udara.

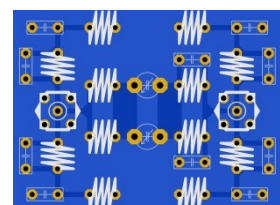
1. Pabrikasi Dual Bandpass Filter

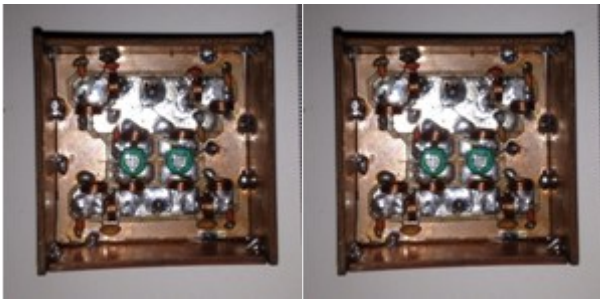
Rangkaian *dual bandpass* filter yang dirancang terbukti memiliki kinerja yang bagus seperti yang diperlihatkan pada hasil simulasinya. Filter tersebut kemudian dipabrikasi ke *Printed Circuit Board* (PCB). Sebelum dilakukannya pabrikasi, terlebih dahulu dibuat *layout* PCB yang diperlihatkan pada Gambar 8a. Hasil pabrikasi *bandpass* filter yang bekerja di dua frekuensi ini diperlihatkan pada Gambar 8b dan Gambar 8c.

Karena keterbatasan nilai komponen yang terdapat di pasaran, maka terdapat perbedaan nilai antara komponen di simulasi dan komponen saat pabrikasi, perbedaan tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan Nilai Komponen saat Simulasi dan Pabrikasi

Nilai Komponen Simulasi		Nilai Komponen Pabrikasi	
C (pF)	L (nH)	C (pF)	L (μH)
42,705	37,28	47	1,96
64,16	29,6867	68	1,94
82,76	84,885	82	1,97
49,755	80,785	56	2
43,66	47,185	47	1,95
28,265	51,55	27	1,95
41,15	37,255	47	2
62,905	28,2	68	1,97
88,55	80,2	82	1,97
50,2	71,2	56	2
40,9	45	39	1,87
29,35	50,2	33	1,90





Gambar 9. *Dual bandpass* filter hasil pabrikasi (a) Layout PCB, (b) tampak depan dan (c) tampak belakang

III. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa kinerja *dual bandpass* filter yang telah disimulasikan dan juga dari hasil pabrikasi maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Telah dilakukan penelitian tentang rancangan *bandpass* filter dual frekuensi yang dirancang, disimulasi, dipabrikasi, dan dianalisa hasil pengukurannya. Penelitian ini bersifat konsep, sehingga belum diaplikasikan langsung pada perangkat penerima *Tower Set*.
- b. Hasil Simulasi *bandpass* filter dual frekuensi menunjukkan performa yang baik dan memenuhi standar spesifikasi. Pada frekuensi 119,7 MHz diperoleh *return loss* (S_{11}) sebesar -37,86 dB, *bandwidth* 19 kHz, *insertion loss* (S_{21}) -0,001, dan pada frekuensi 123,2 MHz diperoleh *return loss* (S_{11}) sebesar -19,167 dB, *bandwidth* 16 kHz, *insertion loss* (S_{21}) -0,053. Pada pengukuran hasil pabrikasi terjadi ketidaksesuaian dikarenakan faktor nilai komponen dan proses pabrikasinya.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Simanjuntak, Daniel. 2012. *Perancangan Concurrent Quadband Bandpass Filter dengan Menggunakan Komponen Lumped pada Frekuensi 950 MHz, 1.85 GHz, dan 2.65 GHz*. Depok: Universitas Indonesia.
- [2] Sari, Dewi Puspita. 2013. *Rancang Bangun Quadband BPF Konfigurasi Hairpin Tri-Section Stepped Impedance Resonator*. Depok: Universitas Indonesia.
- [3] Sayre, Cotter W. 2008. *Complete Wireless Design Second Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4] Chang, Kai. 2000. *RF and Microwave Wireless Systems*. New York: John Wiley & Son, Inc.
- [5] Goes, Thiago P. R. dan Robson N. de Lima. *A Design Technique for Dual-band RF Bandpass Filter*. Bahia: Federal University of Bahia.
- [6] Blocher, Richard. 2004. "Dasar Elektronika". Yogyakarta: Penerbit Andi.

- [7] Bhargava, Anurag, dkk. 2008. *ADS RF Circuit Design Cook Book Vol. 1 Ver. 1*. India: Agilent Technologies.
- [8] Rusmadi, Dedy. 2007. *Mengenal Teknik Elektronika*. Bandung: CV. Pionir Jaya.
- [9] Nasution, S. 2003. *Metode Penelitian Naturalistik Kualitatif*. Bandung: Tarsito.
- [10] Pozar, David M. 2012. *Microwave Engineering Fourth Edition*. Massachusetts: John Wiley & Sons, Inc.