

## DESAIN DAN REALISASI BANDPASS FILTER 2,425 GHZ DENGAN COUPLED LINE UNTUK RECEIVER STASIUN BUMI PADA SISTEM NANO SATELIT

“DESIGN AND REALIZATION OF BANDPASS FILTER 2.425 MHZ WITH COUPLED LINE FOR RECEIVER GROUND STATION IN NANO SATELLITE SYSTEM”

Muhammad Irfan Riswandi<sup>1</sup>, Heroe Wijanto<sup>2</sup>, Budi Syihabuddin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
{<sup>1</sup>irfanriswandi@students., <sup>2</sup>heroe@, <sup>3</sup>bsa@}telkomuniversity.ac.id

### ABSTRAK

*Filter* merupakan komponen telekomunikasi yang berperan untuk membatasi frekuensi yang diinginkan untuk sinyal yang akan dipancarkan maupun yang di terima. Pada jurnal ini telah dilakukan perancangan dan realisasi Bandpass Filter bagian receiver dengan pembatasan *bandwidth* 40 MHz yang digunakan untuk aplikasi ground station sistem satelit nano. Filter yang direalisasikan memiliki frekuensi center 2,425 GHz. Dalam realisasinya, sebuah filter harus memiliki beberapa karakteristik yang harus dipenuhi, seperti *loss* yang kecil ( $s_{12}$  dan  $s_{21}$ ), *vswr* yang mendekati 1, dan impedansi 50 Ohm. Serta *loss* tidak lebih dari 3 dB (setengah daya).

Pada penelitian ini direalisasikan *filter* dengan menggunakan metode *Coupled line band pass filter*. Bahan yang digunakan dalam filter ini adalah FR4 yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 4,3. Hasil pengukuran dari *filter* yang direalisasikan memiliki *bandwidth* sesuai spesifikasi, yaitu 40MHz. Nilai *return loss* sebesar -11,42, *VSWR* sebesar 1.73 dB, dan nilai *insertion loss* sebesar -3.14 dB.

**Kata Kunci** : *filter, receiver, bandpass, coupled line*

### ABSTRACT

*Filter is a telecommunications component which acts to limit the desired frequency for the signal to be transmitted or received. In this paper was to design and realization of Bandpass Filter section receiver with 40 MHz bandwidth limitation is used for the application of nano satellite system ground station. Filters are realized has 2,425 GHz center frequency. In reality, a filter should have several characteristics that must be met, such as a small loss ( $s_{12}$  and  $s_{21}$ ), VSWR is close to 1, and the impedance of 50 Ohm. As well as the loss of no more than 3 dB (half power).*

*In this study, filter is realized using coupled line band pass filter. Materials used in this filter is FR4 that has a dielectric constant of 4,3. The measurement results of the filter has a bandwidth that is realized according to specifications, namely 40MHz. Value of -11.42 return loss, VSWR of 1.73 dB and insertion loss value of -3.14 dB.*

**Keywords** : *filter, receiver, bandpass, coupled line*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan telekomunikasi Indonesia semakin maju, baik dibidang selular, teknologi kesehatan, tak terkecuali di bidang telekomunikasi satelit. Selain itu, riset dalam bidang ini juga telah banyak dilakukan di perguruan tinggi di dunia. Tren yang berkembang adalah menciptakan teknologi yang efektif dan efisien dengan biaya yang murah. Salah satu yang dikembangkan adalah satelit berukuran nano atau yang sering disebut *nanosatellite*. Banyaknya komponen RF (radio frekuensi) pada satelit baik pada bagian pembangkit frekuensi, bagian transmitter serta bagian receiver, salah satunya adalah filter. Filter merupakan sebuah rangkaian yang berfungsi untuk melewatkan suatu pita frekuensi tertentu sekaligus memperlemah semua isyarat di luar pita ini. BPF adalah rangkaian yang melewatkan frekuensi pada daerah tertentu diantara frekuensi *cut-off* pertama dan frekuensi *cut-off* kedua dan meredam frekuensi di luar daerah tersebut. Unjuk kerja filter mempengaruhi sinyal yang diterima[5].

Coupled line Band Pass Filter merupakan salah satu metode perancangan filter yang paling populer dan dapat diterapkan pada beberapa aplikasi sistem komunikasi microwave karena teknik perancangannya sederhana. Resonator yang berdekatan diposisikan sejajar satu sama lain sepanjang setengah dari resonator lainnya. Susunan resonator yang sejajar ini sangat baik untuk merancang filter dengan dimensi yang lebih kecil dibandingkan metode perancangan filter lainnya[3].

Pada Tugas Akhir ini telah dibuat *Band Pass Filter* menggunakan metode *coupled line* dengan menggunakan bahan dielektrik yaitu FR4 pada frekuensi 2,425 GHz. Diharapkan dengan metode ini akan memperbaiki kinerja filter pada penelitian sebelumnya dan mendapatkan rentang *bandwidth* sesuai kebutuhan.

## 2. Dasar teori dan Metode Perancangan

### 2.1 Filter

Filter adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewatkan suatu pita frekuensi tertentu sekaligus memperlemah semua sinyal di luar pita ini[4]. Pengertian lain dari filter adalah rangkaian pemilih frekuensi agar

dapat melewati frekuensi yang diinginkan dan menahan frekuensi lainnya. Teknik-teknik menyeleksi frekuensi dilakukan sesuai dengan kondisi dan tujuan dari sistem yang akan dibangun. Dari tiap-tiap kelompok filter yang dibuat, akan diacu parameter filter yaitu frekuensi kerja, impedansi input/output, frekuensi cut off, kecuraman, lebar pita dan ripple.

**2.2 S-Parameter**

Scattering parameter atau disingkat S-parameter berhubungan dengan penggunaan 2 port input/output. S parameter menghasilkan pengukuran gelombang berjalan yang dihamburkan atau dipantulkan ketika sebuah jaringan dimasukkan kedalam sebuah jalur saluran transmisi yang mempunyai parameter impedansi tertentu (Zl). S parameter diukur dalam dB (deciBell)[4].

**2.3. Insertion Loss**

Insertion loss atau disingkat IL adalah rugi – rugi daya yang dihasilkan karena penyisipan perangkat antara sumber dan beban. Daya yang dikirimkan dari sumber ke beban ada yang direfleksikan kembali ke sumber dan ada yang ditransfer ke beban, namun daya yang ditransfer ke beban ini sebagian akan hilang karena komponen pada rangkaian, hilangnya daya inilah yang disebut Insertion loss [12].

**2.4 Impedansi Karakteristik Saluran Transmisi Mikrostrip**

Saluran transmisi mikrostrip terdiri dari konduktor dengan lebar *w*, ketebalan bahan (*h*), dan permitivitas efektif relative ( $\epsilon_r$ ). Adapun Impedansi karakteristik saluran transmisi mikrostrip merupakan parameter penting untuk menentukan lebar (*w*).

**Gambar 1.** Saluran Transmisi[5]

Berikut dibawah ini, persamaan impedansi karakteristik dari saluran transmisi mikrostrip[5]:

Untuk  $w/d < 1$

$$\frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left( \frac{8}{w} + \frac{4}{w} \right) \tag{1}$$

Untuk  $w/d > 1$

$$\frac{120 \pi / \sqrt{\epsilon_r}}{1.393 + 0.667 \ln(\epsilon_r \cdot 1.444)} \tag{2}$$

**2.5 Konstanta Dielektrik Efektif**

Konstanta dielektrik dari suatu saluran mikrostrip dipengaruhi oleh konstanta dielektrik relative ( $\epsilon_r$ ), tinggi (*h*) dari substrat dielektrik, lebar (*w*) dari konduktor strip dan juga frekuensi operasi untuk  $t/h \ll 0.005$  yang dikemukakan oleh Bahl dan Triveli[5].

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{10}{1 + w/d} \right]^{-2} \tag{3}$$

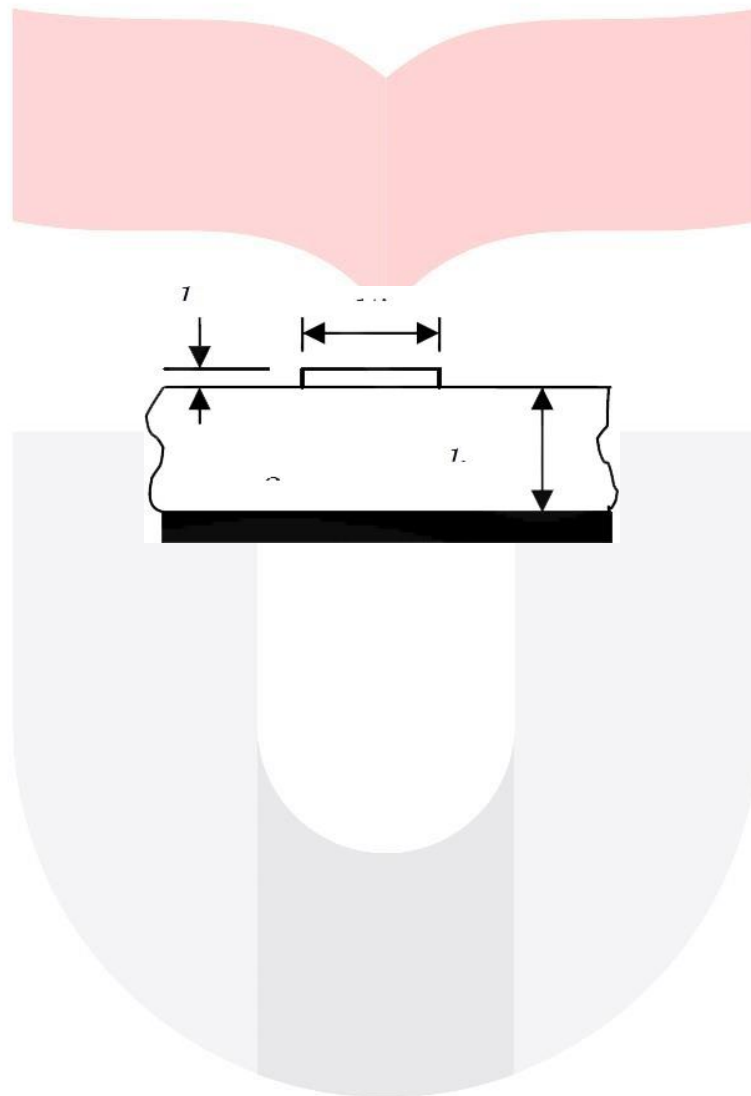
**2.6 Panjang Gelombang  $\frac{1}{4} \lambda$**

Quarter wave transformer (transformator  $\frac{1}{4} \lambda$ ) merupakan potongan saluran transmisi dengan panjang  $\frac{1}{4} \lambda$  yang memiliki kemampuan dapat mentransformasikan suatu impedansi riil ke impedansi riil yang lain. Panjang gelombang dalam saluran transmisi mikrostrip tergantung pada konstanta dielektrik efektif yaitu :[5]

$$L_n = \frac{L}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{4}$$

Dimana:

$\lambda_0$  = panjang gelombang dalam ruang bebas  
 $L_n$  = panjang saluran transmisi pada *section n*  
 $c = 3 \cdot 10^8$  m/s



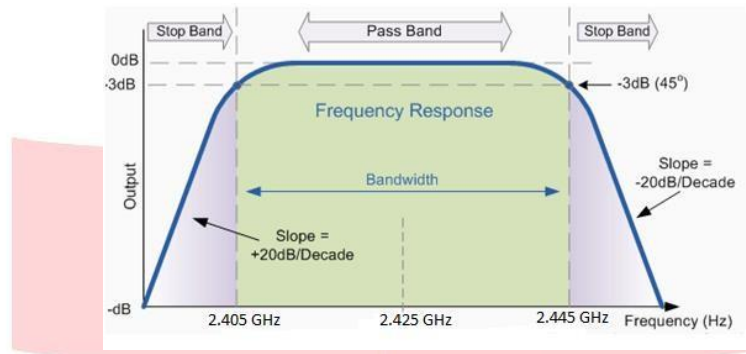
### 3. DESAIN DAN REALISASI SISTEM

#### 3.1 Spesifikasi Perancangan Filter

Prosedur Perancangan *Band pass filter* dimulai dari penentuan frekuensi kerja, *Bandwidth*, impedansi dan Orde. BPF adalah jenis filter yang hanya melewatkan sinyal pada range frekuensi tertentu dan meredam sinyal diluar range frekuensi tersebut.

BPF memiliki dua frekuensi cut off yaitu frekuensi cutoff 1 ( $f_{c1}$ ) dan frekuensi cutoff 2 ( $f_{c2}$ ). Range kedua frekuensi cut off inilah yang akan dilewatkan oleh filter, diluar range tersebut maka sinyal akan diredam yang disebut *Bandwidth* dan besarnya 40MHz. Dengan cut - off frekuensi  $\omega_1$  dan  $\omega_2$  sebagai batas bawah dan atas, didapatkan frekuensi pusat dan bandwidth frekuensi relative.

BPF memiliki satu frekuensi tengah yang merupakan frekuensi resonansinya ( $f_0$ ). Pemilihan frekuensi sebagai frekuensi kerja 2,425 GHz dikarenakan pada rentang frekuensi tersebut redaman atmosfer dan hujan sangat kecil sehingga tidak mengganggu kinerja dari sistem komunikasi satelit nano. Berikut gambar 2 menunjukkan kurva BPF:



Gambar 2. Kurva BPF

#### 3.2 Perhitungan Lebar Resonator

Perhitungan lebar saluran resonator dengan nilai konstanta dielektrik 4,3 dan tebal substrat 1,6 mm dan impedansi ( $Z_c$ ) bernilai 50 ohm dapat menggunakan persamaan (1).

$$\text{Maka} = \frac{2h}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{2^i} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2^i} \right] \right]$$

$$W_{LST} = 2,8779 \text{ mm}$$

#### 3.3 Perhitungan Konstanta Dielektrik Efektif

Perhitungan Konstanta dielektrik efektif diperlukan untuk mengetahui nilai panjang saluran transmisi. Konstanta dielektrik dari suatu saluran mikrostrip dipengaruhi oleh konstanta dielektrik relative ( $\epsilon_r$ ), tinggi (h) dari substrat dielektrik, lebar (w) dari konduktor strip. Pada filter ini menggunakan  $\epsilon_r$  sebesar 4,3 dan tebal substrat sebesar 1,6 mm dan dari perhitungan lebar saluran transmisi didapatkan nilai lebar sebesar 2.8779 mm. Maka untuk mendapatkan nilai  $\epsilon_{eff}$  menggunakan  $w/h \geq 1$  sesuai persamaan (3).

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{10}{w/h} \right]^{-0,75} = 3,3$$

#### 3.4 Perhitungan Panjang Resonator

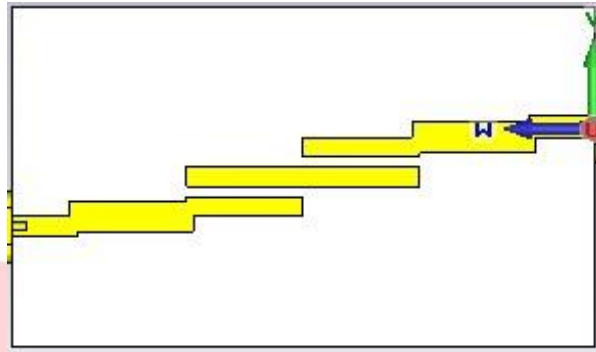
*Quarter wave transformer* (transformator  $\frac{1}{4} \lambda$ ) merupakan potongan saluran transmisi dengan panjang  $\frac{1}{4} \lambda$  yang memiliki kemampuan dapat mentransformasikan suatu impedansi riil ke impedansi riil yang lain. Panjang saluran resonator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = 68.1 \text{ mm}$$

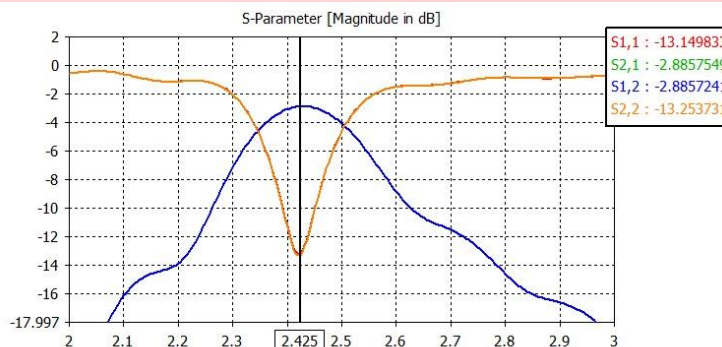
$$L_n = \frac{l}{4} = 17.02 \text{ mm}$$

#### 3.5 Analisa Hasil Simulasi dan Hasil Optimasi

Setelah dilakukan tahapan simulasi dan optimasi terhadap dimensi resonator dan jarak antara resonator didapatkan hasil yang berbeda dari hasil perhitungan awal. Parameter yang diharapkan pada perancangan filter telah didapatkan setelah dilakukan optimasi. Pada tahapan optimasi dilakukan optimasi terhadap dimensi resonator yaitu panjang dan lebar dari resonator. Optimasi ini menghasilkan ukuran *layout* yang berbeda hasil perhitungan. Bentuk *layout* filter setelah dilakukan optimasi yaitu menjadi seperti gambar 4.



Gambar 4. Layout Filter Hasil optimasi panjang Saltran



Gambar 5. S-Parameter Hasil Optimasi

Filter yang telah dirancang menggunakan simulator CST 2014 telah memenuhi kriteria spesifikasi. Berikut tabel 1 menjelaskan perbandingan spesifikasi filter dengan filter yang dirancang dengan simulator CST.

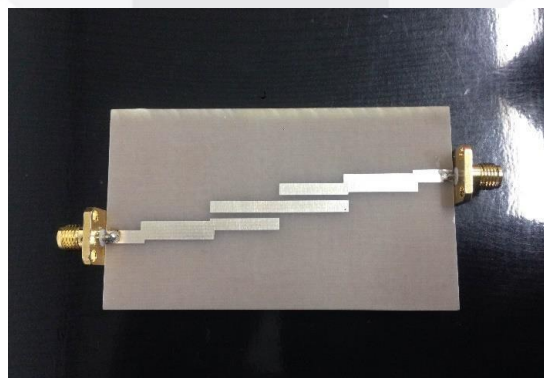
Tabel 1. Perbandingan hasil filter dengan spesifikasi

Parameter	Spesifikasi	Hasil Simulasi
Bandwidth	≤ 40 MHz	40 MHz
Return Loss	≤ -10 dB	-13 dB
Insertion Loss	≥ -3 dB	-2,88 dB

4. PENGUJIAN SISTEM

4.1 Realisasi Band Pass Filter Coupled Line

Setelah mendapatkan spesifikasi perancangan filter yang diinginkan pada simulasi menggunakan software simulator CST 2014, selanjutnya proses realisasi filter agar dapat diuji. Filter yang telah dibuat berdimensi 8 mm x 4,65 mm. Berikut adalah hasil dari realisasi band pass filter coupled line pada frekuensi 2,425 GHz.



Gambar 6. Realisasi Coupled line filter

4.2 Analisa Hasil Return Loss

Return Loss menunjukkan karakteristik sinyal yang dipantulkan kembali menuju sumber. Semakin kecil nilai daya atau return loss maka semakin kecil pula daya yang kembali menuju sumber, sehingga daya yang tersalurkan menuju beban semakin maksimal. Pada gambar 7 menjelaskan hasil pengukuran return loss pada filter



**Gambar 7.** Hasil pengukuran *Return Loss* (S11) pada filter

Gambar 7 menjelaskan hasil pengukuran *return loss* pada filter berada pada frekuensi tengah 2,425 GHz sebesar -11.42 dB yang ditandai pada marker 2. Pada frekuensi 2,405 GHz nilai *return loss* sebesar -9.66 dB yang ditandai dengan marker 1. Pada frekuensi 2,445 GHz nilai *return loss* sebesar -9.93 dB yang ditandai dengan marker 3. *Bandwidth* yang ditunjukkan pada marker 1 dan marker 3 pada daerah *passband* pada waktu pengukuran *bandwidth filter* sebesar 40 MHz. Marker 1 menunjukkan frekuensi *cut off* bawah dan marker 3 menunjukkan frekuensi *cut off* atas. Nilai *return loss* pada filter ini  $\leq -10$  dB yang berarti sesuai dengan spesifikasi filter.

#### 4.3 Analisa Hasil Insertion Loss

*Insertion Loss* adalah rugi – rugi daya yang dihasilkan karena penyisipan perangkat antara sumber dan beban. Daya yang dikirimkan dari dari *port input* menuju *port output*. ada yang direfleksikan kembali ke sumber dan ada yang ditransfer ke beban, namun daya yang ditransfer ke beban ini sebagian akan hilang karena komponen pada rangkaian, hilangnya daya inilah yang disebut *insertion loss*. Daya yang ditransmisikan *filter* diusahakan sebesar mungkin agar sinyal yang melewati *filter* tidak banyak teredam. Hasil pengukuran *Insertion Loss* dapat dilihat pada gambar 8



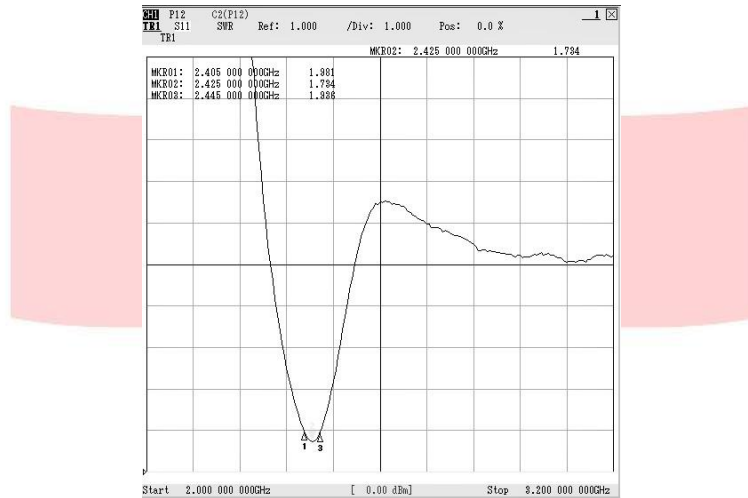
**Gambar 8.** Hasil pengukuran *Insertion Loss* pada filter

Gambar 8 menjelaskan hasil pengukuran *insertion loss* pada filter berada pada frekuensi 2,425 GHz sebesar -3.14 dB yang ditandai pada marker 2. Pada frekuensi 2,392 GHz nilai *return loss* sebesar -3.25 dB yang ditandai dengan marker 1. Pada frekuensi 2,438 GHz nilai *return loss* sebesar -3.578 dB yang ditandai dengan marker 3. Nilai *insertion loss* hasil pengukuran mendekati nilai *insertion loss* hasil simulasi

*Bandwidth* yang ditunjukkan pada marker 1 dan marker 3 pada daerah *passband* pada waktu pengukuran *bandwidth filter* sebesar 40 MHz. Marker 1 menunjukkan frekuensi *cut off* bawah dan marker 3 menunjukkan frekuensi *cut off* atas. *Bandwidth* yang di dapatkan pada hasil pengukuran sudah sesuai spesifikasi yaitu sebesar 40 MHz, hanya rentang frekuensi nya bergeser sejauh 7 MHz.

**4.4 VSWR**

VSWR adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan tidak matching-nya impedansi input filter dengan saluran feeder. Semakin mendekati 1 nilai dari VSWR maka semakin besar sinyal yang ditransmisikan *filter*. Hasil dari pengukuran VSWR dapat dilihat pada gambar 9.

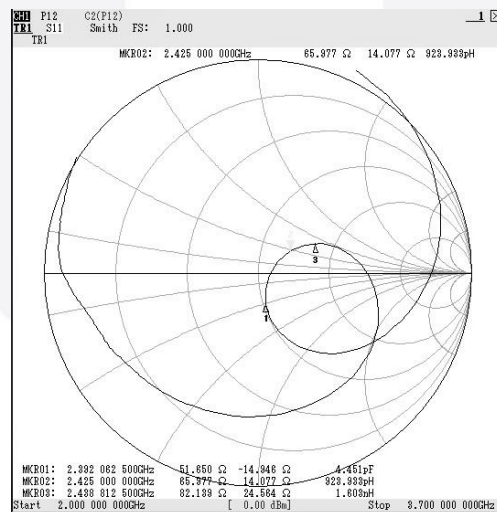


**Gambar 9.** Hasil pengukuran VSWR pada filter

Pada gambar 9 diatas menjelaskan nilai VSWR *filter* pada frekuensi tengah 2,425 GHz yang ditandai oleh marker 2 adalah sebesar 1.73. Nilai dari VSWR ini telah sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Frekuensi *cut off* bawah yang berada pada frekuensi 2,405 GHz adalah sebesar 1.981 yang ditandai oleh marker 1 dan marker 3 menunjukkan frekuensi *cut off* atas yang berada pada frekuensi 2,445 GHz sebesar 1.936.

**4.5 Impedansi**

Pengukuran impedansi menunjukkan *matching* perangkat yang dirancang. Hasil pengukuran impedansi dapat dilihat pada gambar 10.



**Gambar 10.** Hasil Pengukuran Impedansi pada filter

Gambar diatas menjelaskan hasil pengukuran impedansi pada filter. Pada frekuensi 2,425 GHz nilai impedansi sebesar  $65.977 + j 14.077 \Omega$ . yang ditandai pada marker 2. Pada frekuensi 2,405 GHz nilai impedansi sebesar  $51.650 - j 14.946 \Omega$  yang ditandai dengan marker 1. Pada frekuensi 2,445 GHz nilai impedansi sebesar  $82.199 + j 24.564 \Omega$  yang ditandai dengan marker 3.

**4.6 Analisa Hasil Pengukuran**

Setelah dilakukan pengukuran, ternyata terdapat perbedaan bila dibandingkan dengan hasil simulasi. Tabel 2 menunjukkan perbedaan hasil spesifikasi dan hasil pengukuran

**Tabel 2.** Perbandingan Parameter Hasil Pengukuran dengan simulasi pada filter

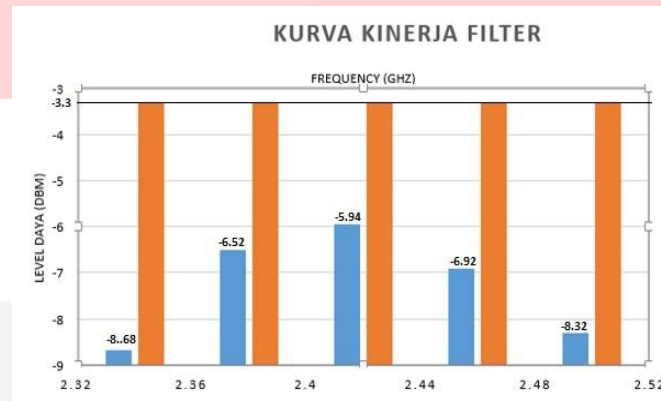
Parameter	Spesifikasi	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Bandwidth	$\leq 40$ MHz	40 MHz	40 MHz



Return Loss	$\leq -10$ dB	-13 dB	-11,42 dB
Insertion Loss	$\geq -3$ dB	-2,88 dB	-3,14 dB

Hasil respon frekuensi pada pengukuran filter sedikit berbeda dengan respon frekuensi hasil simulasi. Perbedaan kecuraman respon frekuensi dipengaruhi oleh proses perancangan menggunakan simulator dengan kondisi sekitar adalah ideal sedangkan pada proses realisasi dan pengukuran terdapat interferensi dari frekuensi pada udara bebas. Secara keseluruhan bentuk respon frekuensi hasil pengukuran tidak berbeda jauh dai hasil simulasi.

Pada Pengukuran kinerja Filter yang dilakukan di frekuensi 2,350 GHz, 2,405 GHz, 2,425 GHz, 2,445 GHz, dan 2,5 GHz dengan masukkan level daya sebesar -3.25 dBm menghasilkan bentuk Pass band dan Stop Band pada filter. Hasil Kinerja Filter ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Kurva Kinerja Filter

## 5. Kesimpulan Dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Bandwidth filter* yang diperoleh pada hasil simulasi sebesar 40 MHz yaitu berada pada frekuensi 2.405 GHz – 2.445 GHz dan pada hasil realisasi *bandwidth filter* memiliki rentang yang sama yaitu sebesar 40 MHz yaitu berada pada frekuensi 2.398 – 2.438 GHz.
2. Nilai *insertion loss* yang diperoleh pada hasil simulasi adalah -2.88 dB sedangkan pada hasil realisasi nilai *insertion loss* adalah -3.14 dB. Nilai *insertion loss* tidak sesuai spesifikasi yaitu  $\geq -3$  dB.
3. Nilai *return loss* yang diperoleh pada hasil simulasi adalah -13 dB sedangkan pada hasil realisasi nilai *return loss* -11.42 dB. Nilai ini mencapai pada hasil spesifikasi awal yaitu  $\leq -10$  dB.
4. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) yang diperoleh pada hasil simulasi dengan adalah 1.56 sedangkan pada saat pengukuran nilai VSWR adalah 1.73.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Angga Harwi Yanto.** “Perancangan dan Realisasi Filter Band Pass Hairpin Line Pada Frekuensi 2,425 GHz menggunakan Substat Rogers Duroid 5880 untuk satelit nano”. Telkom University. 2015
- [2] **Renu Goyal, B. Er. Manpreet S. Manna, C. Er. Sushil Kakkar.** “Design And Analysis of Microstrip Coupled Line-Bandpass”. International Journal of Advanced Technology & Engineering Research (IJATER).
- [3] **Faridah Binti Said.** “Compact Microstrip Band Pass Filter”. Universiti Tun Hussein Onn. 2014
- [4] **DEVENDRA K. MISRA.** (2004). “Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits, Analysis and Desain Second Edition”. JWS. New Jersey, California.
- [5] **Hong, Jia-Seng, Lancaster, M.J.** “Microstrip Filters For RF/Microwave Applications”. New York : Wiley and Sons, 2001.
- [6] **Qun YANG, Xiang-zheng XIONG, Yan-liang WU , Li-ping WANG and Hua-qing XIAO,** “Design of Microstrip Tapped-Hairpin Dual-Band Pass Filter for Ku-Band Application, “ Microwave and millimeter Wave Technology (ICMMT), 2010 International Conference.
- [7] **E. Cristal and S. Frankel,** “Hairpin-Line and Hybrid Hairpin-Line/HalfWave Parallel-Coupled-Line Filters,” IEEE Trans. on MTT, vol. 20, no. 11, pp. 719-728, November 1972.
- [8] **Garg Rames, Bhartia Prakash, Bahl Inder,** “Microstrip Antena Design Handbook”, Artech House, Boston.London, 46.
- [9] **R. Rhea,** HF Filter Design and Computer Simulation. Atlanta, GA: Noble Publishing, 1994.



- [10] **Terry Edwards.** "Foundations for Microstrip Circuit Design Second Edition". Wiley.
- [11] **K.Vidhya and T.Jayanthi.**"Design of Microstrip Hairpin Bandpass Filter using Defected Ground Structure and Open Stub". IEEE 2011 International Conference on Information and Electronics Engineering.
- [12] **Jayaseelan Marimuthu, Mazlina Esa and S-Kamilah Yusof,** "Single-Stage Parallel Coupled Microstrip Line Bandpass Filter using Weak Coupling Technique, " 2008 IEEE international RF and Microwave conference Proceeding.
- [13] **V. C. Koo, Y. K. Chan, V. Gobi, M. Y. Chua, C. H. Lim, C. S. Lim, C. C. Thum, T. S. Lim, Z. Ahmad, K. A. Mahmood, M. H. Shahid, C. Y. Ang, W. Q. Tan, P. N. Tan, K. S. Yee, W. G. Cheaw, H. S. Boey, A. L. Choo, B. C. Sew.** "*A New Unnamed Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar for Environmental Monitoring*". Faculty of Engineering & Technology Multimedia University. 2012.