

BAND PASS FILTER DENGAN METODE HAIRPIN RESONATOR PADA FREKUENSI 9770 MHz UNTUK APLIKASI RADAR CUACA

BAND PASS FILTER USING HAIRPIN RESONATOR METHOD IN FREQUENCY 9770 MHz FOR WEATHER RADAR APPLICATION

Arfan Ridwan Hartawan¹, Trasma Yunita², Levy Olivia Nur³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹arfanrh@student.telkomuniversity.ac.id, ²trasmayunita@telkomuniveristy.co.id,

³levyolivia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Filter adalah suatu perangkat dalam susunan elektronika telekomunikasi yang berfungsi untuk menyeleksi sinyal tertentu. Hairpin filter adalah salah satu jenis filter yang sering digunakan pada frekuensi microwave. Filter ini dibentuk dari resonator filter edge-couple dengan membalik ujung resonator ke bentuk "U", ini tentunya akan mengurangi panjang dan meningkatkan aspek rasio secara berarti dalam susunan mikrostripnya. Dalam metode hairpin terdapat saluran terkopel dan saluran tidak terkopel. Perancangan filter BPF dengan metode hairpin ini bekerja pada frekuensi X-Band (9770 MHz) berbasis mikrostrip untuk radar cuaca. Pada realisasi filter ini mempunyai nilai bandwidth 230 MHz dengan insertion loss dibawah -3 dB, return loss -13 dB, dan VSWR = 1,56.

Kata kunci : *Hairpin filter, X-Band, Microstrip.*

Abstract

Filter is a device in the arrangement of telecommunications electronics that serves to select a particular signal. Hairpin filter is one type of filter that is often used in microwave frequencies. This filter is formed from the edge-couple resonator filter by reversing the tip of the resonator to the "U" shape, this will certainly reduce the length and significantly increase the aspect ratio in the microspheres. In the hairpin method there are uncrossed and uncrossed channels. The design of BPF filter with hairpin method works on X-Band frequency (9770 MHz) based on microstrip for weather radar. In the realization has a bandwidth of 230 MHz with insertion loss less than -3 dB, return loss -13 dB, and VSWR = 1,56.

Keywords: *Hairpin filter, X-Band, Microstrip.*

1. Pendahuluan

Radar adalah sebuah perangkat elektronika yang berfungsi untuk mendeteksi dan memberikan informasi letak suatu objek. Beroperasi dengan mengirimkan jenis tertentu dari suatu gelombang kemudian menerima dan mendeteksi sinyal yang diterima [1]. Dalam blok komunikasi radar khususnya penerima (*receiver*) terdapat sebuah filter yang berfungsi menyeleksi *band* frekuensi tertentu. Filter mikrostrip adalah salah satu pilihan untuk merancang sebuah filter karena dapat mengubah ukuran filter menjadi lebih kecil, ringan, biaya yang lebih rendah, dan juga mudah dalam perancangannya. Salah satu filter yang dapat digunakan adalah *hairpin filter*. Filter ini mempunyai struktur yang tersusun rapi, mempunyai konsep yang dihasilkan dari penggabungan lipatan-lipatan resonator *pararel edge couple* dan *half wavelength* resonator yang dibentuk menjadi "U".

Pada penelitian sebelumnya [2] telah dirancang sebuah BPF menggunakan *ring square resonator* pada frekuensi 9,4 GHz yang memiliki *bandwidth* 63 MHz, menggunakan *substrat Roger Duroid 5880*. Hasil yang didapat adalah nilai *return loss* sebesar -10,977 dB dan *insertion loss* sebesar -3,917 dB. Pada penelitian yang lain [3] telah dirancang sebuah BPF menggunakan metode *hairpin* untuk frekuensi *Wi-Fi* menggunakan material *substrat FR-4* dengan nilai *bandwidth* 130 MHz, *return loss* -26,95 dB, *insertion loss* -14,7 dB serta VSWR 1,39. BPF ini mengalami pergeseran frekuensi tengah sebesar 50 MHz dari perancangan yang disebabkan fabrikasi, rugi-rugi konektor, dan perbedaan parameter dari bahan FR-4 dari simulasi dan realisasi.

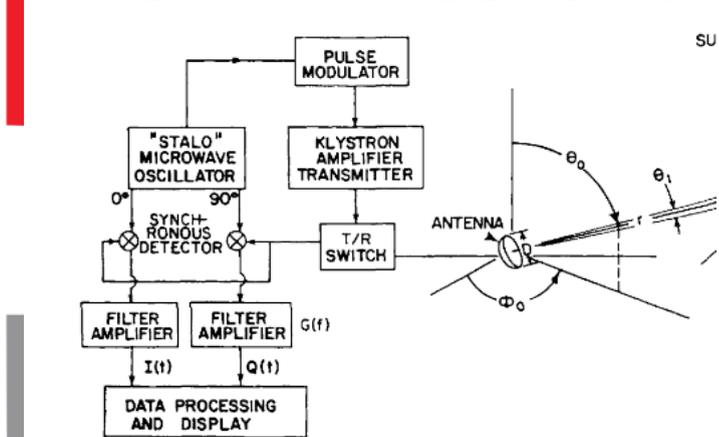
Filter *hairpin* yang dirancang diharapkan dapat mempunyai tingkat *slope* yang tajam dengan parameter yang lebih baik dari sebelumnya pada frekuensi tinggi (X-Band) dengan *bandwidth* yang sempit agar dapat digunakan pada radar cuaca.

2. Dasar Teori

2.1 Radar Cuaca

Radar adalah sebuah sistem elektromagnetik untuk mendeteksi lokasi dari sebuah objek. Beroperasi dengan mengirimkan suatu jenis gelombang dan mendeteksi karakteristik sinyal pantulan. Radar digunakan untuk memperluas kemampuan indera seseorang untuk mengamati lingkungan, terutama indera penglihatan, namun nilai radar tidak terletak pada menjadi pengganti untuk mata, tetapi melakukan apa yang mata tidak bisa lakukan [1]. Radar tidak dapat melihat spesifik seperti mata, juga bukan mampu untuk mendeteksi “warna” dari objeknya, namun radar dirancang untuk melihat melalui kondisi yang mata tidak mampu melihat, seperti kegelapan, kabut, hujan dan salju [1]. Selain itu, radar memiliki keuntungan untuk dapat mengukur jarak atau jangkauan ke objek, yang menjadi keuntungan paling penting sebuah radar.

Radar cuaca mempunyai cara kerja yang sama seperti radar yang lainnya, dengan prinsip dasar mengirimkan gelombang elektromagnetik lalu dipantulkan kembali oleh target yang disebut *echo*. *Echo* yang diterima akan diolah sedemikian rupa sehingga kita bisa mengetahui karakteristik awan yang sedang kita deteksi.

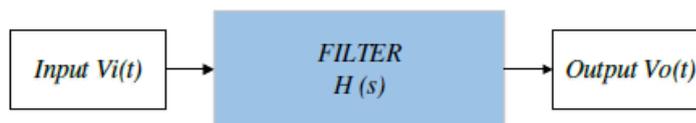


Gambar 1 Blok Diagram Radar Cuaca [5]

2.2 Filter

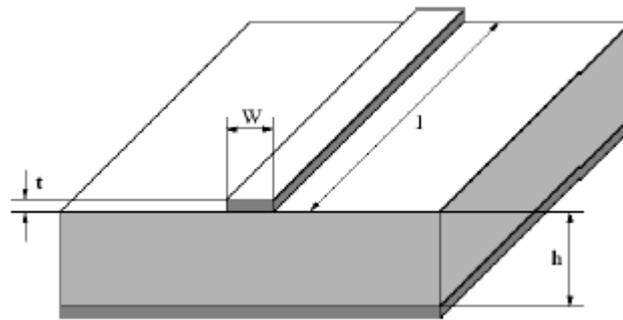
Filter adalah suatu jaringan yang memiliki dua catuan yang berfungsi untuk mengontrol respon frekuensi pada wilayah tertentu dalam sistem gelombang mikro dengan mentransmisikan frekuensi pada daerah *passband* dan atenuasi pada daerah *stopband* [4]. *Filter* digunakan untuk mengontrol respon frekuensi dalam *passband*, dan redaman dalam *stopband*. *Filter* sendiri terdapat pada rangkaian pengirim ataupun penerima, yang berguna untuk menyeleksi frekuensi yang dibutuhkan pada sistem tersebut.

Dari filter yang dibuat, akan diacu parameter filter yaitu frekuensi kerja, impedansi *input/output*, frekuensi *cut-off*, kecuraman, lebar pita, dan *ripple*. Filter secara umum dapat dijelaskan pada gambar 2.



Gambar 2 Diagram Blok Filter

2.2 Saluran Mikrostrip



Gambar 3 Bentuk geometri mikrostrip [13]

Mikrostrip adalah salah satu saluran transmisi yang terdiri dari konduktor strip tipis dengan lebar W diatas substrat yang memiliki konstanta dielektrik ϵ_r tertentu dan sebuah konduktor *ground plane* dibawahnya [5]. Dengan persamaan Richard's *Transformation* dan Kuroda's *Identities* adalah menggunakan variabel Z_0 (lebar mikrostrip) untuk membuat *lumped element* digantikan oleh *transmission line*. Jadi membutuhkan induktansi L untuk filter prototipe yang dinormalisasi dengan frekuensi *cut-off* $\omega_c = 1$ dan admitansi $g_0 = 1$ kita dapat menggantinya dengan $\lambda/8$ saluran mikrostrip yang mempunyai $Z_0 = L$ [6]. Pada saat ukuran mikrostrip di kurangi sehingga dimensinya menjadi lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang, maka mikrostrip dapat digunakan sebagai elemen *lumped*. Dalam saluran mikrostrip, terdapat ukuran panjang (L) dan lebar resonator (W) yang dapat dicari dengan persamaan 2.15 sampai 2.20.

- Untuk $w/h < 2$

$$W = \frac{8e^A}{e^{2A-2}} * h \quad (2.15)$$

$$\text{Dengan } A = \frac{Z_c}{60} \left\{ \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} \right\}^{0.5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.16)$$

- Untuk $w/h > 2$

$$W = \frac{2}{\pi} \left\{ (B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} * h \quad (2.17)$$

$$\text{Dengan } B = \frac{60\pi^2}{Z_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.18)$$

Untuk mendapatkan panjang dari satu resonator dapat digunakan persamaan 2.19-2.20.

$$L = \frac{(\beta l) \left(\frac{\pi}{180} \right)}{\sqrt{\epsilon_e} k_0} \quad (2.19)$$

$$\text{Dengan } k_0 = \frac{2\pi f}{c} \quad (2.20)$$

2.3 Hairpin Resonator

Hairpin filter adalah filter dengan struktur kompak. Konsep dari filter ini diperoleh dengan melipat resonator dari *parallel-coupled* dan *half-wavelength* resonator yang digabungkan menjadi bentuk "U" [7]. Bentuk "U" resonator inilah yang disebut Hairpin resonator, oleh sebab itu persamaan desain yang sama untuk *parallel-coupled* dan *half-wavelength* resonator filter dapat digunakan [7]. Namun, dalam melipat resonator, maka perlu memperhitungkan pengurangan panjang *coupled-length*, yang mengurangi kopling antara resonator [7]. Juga, jika dua lengan masing-masing Hairpin resonator terlalu dekat, mereka berfungsi sebagai sepasang *coupled-line* sendiri yang dapat memiliki efek pada kopling juga.

2.4 Perancangan Filter dengan Respon Chebyshev

Dalam perancang sebuah filter, dapat digunakan parameter *low pass filter* sebagai parameter perencanaannya, yaitu dengan menyesuaikan karakteristik filter yang diinginkan ke dalam parameter *low pass filter*. Dengan menggunakan persamaan filter didapatkan koefisien kopling dan faktor kualitas yang diinginkan, dimana variabel g_i bisa didapatkan dari parameter *low pass filter* sesuai dengan bentuk respon frekuensi dan orde yang diinginkan.

Untuk respon *chebyshev*, elemen yang dilihat pada tabel 1. Dengan menentukan ukuran *ripple* dalam parameter S_{21} dan jumlah ordenya, dapat dihitung karakteristik filter yang diinginkan.

Tabel 1 Elemen untuk *Chebyshev* dengan *ripple* 0.01 dB

| Orde | g ₁ | g ₂ | g ₃ | g ₄ | g ₅ | g ₆ | g ₇ | g ₈ | g ₉ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 0.4489 | 0.4078 | 0.9085 | 1 | | | | | |
| 3 | 0.6292 | 0.9703 | 0.6292 | 1 | | | | | |
| 4 | 0.7129 | 1.2004 | 1.3213 | 0.6476 | 0.9085 | 1 | | | |
| 5 | 0.7653 | 1.3049 | 1.5773 | 1.3049 | 0.7563 | 1 | | | |
| 6 | 0.7814 | 1.3600 | 1.6897 | 1.5350 | 1.4970 | 0.7098 | 0,9085 | 1 | |
| 7 | 0.7970 | 1.3924 | 1.7481 | 1.6331 | 1.7481 | 1.3924 | 0.7970 | 1 | |
| 8 | 0.8073 | 1.4131 | 1.7824 | 1.6833 | 1.8529 | 1.6193 | 1.5555 | 0.7334 | 0.9085 |
| 9 | 0.8145 | 1.4271 | 1.8044 | 1.7125 | 1.9058 | 1.7125 | 1.8044 | 1.4271 | 0.8145 |

3. Pembahasan

3.1. Spesifikasi Filter

Sesuai dengan radar X-Band milik BPPT yang bekerja sama dengan JAMSTEC, maka spesifikasi yang dirancang dalam perancangan sebuah BPF pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Frekuensi kerja : 9,770 GHz
- *Bandwidth* : 2 MHz
- *Insertion Loss* : ≥ -3 dB
- *Return Loss* : ≤ -15 dB
- Respon Frekuensi : *Chebyshev*

3.2. Spesifikasi Substrat

Substrat yang digunakan pada perancangan dan fabrikasi adalah *Roger Duroid 5880*. Spesifikasi dari substrat yang akan dipakai dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 2 Spesifikasi substrat yang digunakan

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Jenis Substrat | <i>Roger Duroid RT5880</i> |
| Konstanta Dielektrik | 2,2 |
| <i>Dielectric Loss Tangen</i> | 0,0009 |
| Tebal Substrat | 1,575 mm |
| Tebal Konduktor | 0,035 mm |

3.2. Dimensi Filter

Perancangan hairpin resonator dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu menentukan panjang dan lebar resonator, lalu menentukan panjang *slide factor* dan jarak antar resonator dengan persamaan yang telah diketahui. Sesuai dengan optimasi yang telah dilakukan, untuk mendapatkan hasil yang diinginkan maka perubahan dimensi yang dilakukan pada masing-masing resonator adalah sebagai berikut.

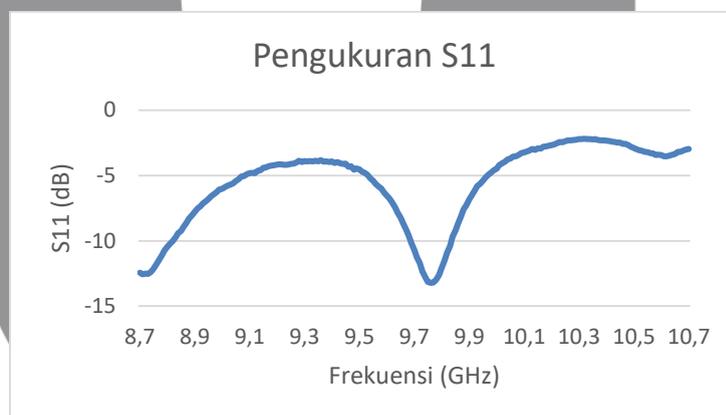
Tabel 3 Dimensi *Filter*

| Dimensi | Perhitungan (mm) | Optimasi (mm) |
|------------------------------|------------------|---------------|
| Tebal Konduktor | 0.035 | 0.035 |
| Tebal Dielektrik | 1.575 | 1.575 |
| Panjang Sisi (L1 + L2) | 6 | 4 |
| Lebar Resonator | 4.9 | 4.74 |
| <i>Slide Factor</i> | 4.9 | 4.91 |
| Jarak antar resonator 1 (S1) | 6 | 6.01 |
| Jarak antar resonator 2 (S2) | 6.1 | 6 |

4. Hasil Pengukuran

4.1 *Return Loss* (S11)

Pengukuran *return loss* menunjukkan besarnya sinyal yang dipantulkan ke sumber, semakin kecil nilainya maka semakin baik filter tersebut karena semakin kecil pula daya yang dipantulkan kembali sehingga terjadi transfer daya maksimum. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.

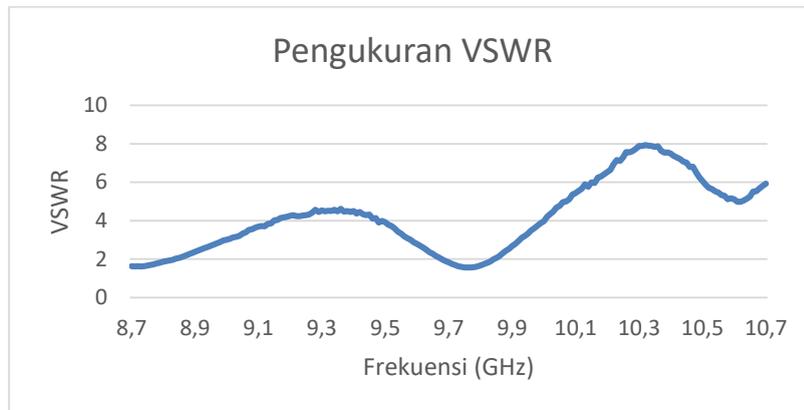


Gambar 4 Hasil pengukuran *return loss*

Pada gambar diatas terlihat bahwa hasil pengukuran berada pada frekuensi 9,770 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -13 dB nilai yang sudah cukup baik akan tetapi tidak memenuhi spesifikasi filter yang diinginkan, berbeda 2 dB.

4.2 VSWR

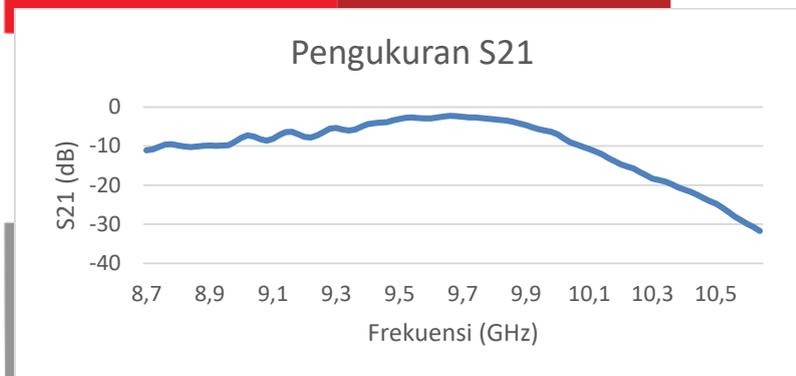
VSWR adalah besarnya gelombang datang yang ditransmisikan dibandingkan dengan gelombang yang dipantulkan, VSWR berkaitan erat dengan *return loss*. Semakin kecil VSWR maka semakin bagus filter tersebut, filter ideal memiliki nilai VSWR sama dengan 1. Hasil pengukuran VSWR dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 VSWR berdasarkan realisasi

4.3 Insertion Loss (S21)

Insertion loss adalah karakteristik sinyal yang diteruskan dari port *input* ke port *output*. Nilai *insertion loss* yang ideal adalah mendekati 0 dB. Pada pengukuran yang dilakukan, nilai yang didapat telah memenuhi spesifikasi akan tetapi karakteristik filter yang dihasilkan tidak ideal menjadikan *bandwidth* melebar. Hasil pengukuran *insertion loss* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Hasil pengukuran *insertion loss*

4.3 Analisis Hasil Pengukuran

Analisis kerja sistem menunjukkan bahwa proses realisasi filter berbeda dengan proses simulasi. Hal ini dapat dilihat dalam tabel perbandingan yang telah dilakukan. Berikut perbandingan spesifikasi awal, tahap simulasi, tahap optimasi, dan hasil pengukuran realisasi filter yang dirancang.

Tabel 4 Perbandingan hasil spesifikasi

| Parameter | Spesifikasi | Simulasi | Realisasi |
|-----------------------------|-------------|---------------|-------------|
| Frekuensi Kerja (GHz) | 9,769-9,771 | 9,7656-9,7748 | 9,500-9,780 |
| Return Loss (dB) | ≤ -15 | -21 | -13 |
| Bandwidth Return Loss (MHz) | 2 | 1,9 | - |
| Insertion Loss (dB) | ≥ -3 | -0,732 | -2,8 |
| Bandwidth Return Loss (MHz) | 2 | 9,2 | 230 |

Berdasarkan hasil perbandingan yang dilakukan, terlihat masih banyak terjadi ketidaksesuaian antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi, hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor yaitu kesalahan fabrikasi, *losses* kabel, rugi-rugi konektor, kesalahan pada penyolderan, serta disebabkan oleh faktor ruang pada saat pengukuran, karena pada proses simulasi keadaan berupa *anechoic chamber* yaitu tidak adanya gelombang refleksi baik suara ataupun elektromagnetik karena teredam, juga tidak ada noise dari berasal dari luar filter tersebut. Perbedaan yang sangat signifikan terjadi pada lebar *bandwidth* dimana spesifikasi yang diharapkan adalah 2 MHz sedangkan ketika realisasi mendapatkan *bandwidth* sebesar 230 MHz meskipun pada nilai parameter lain sudah mendekati bahkan memenuhi spesifikasi akan tetapi karakteristik yang dihasilkan tidak ideal.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang dirancang BPF menggunakan metode *hairpin* resonator dengan orde lima. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Bandwidth filter* -3 dB dari hasil pengukuran berada pada frekuensi 9,55 – 9,78 GHz yaitu dengan *bandwidth* 230 MHz.
2. *Return loss* BPF untuk aplikasi radar cuaca pada simulasi bernilai -21 dB dan pada realisasi bernilai -13 dB pada frekuensi 9,770 GHz.
3. *Insertion loss* BPF untuk aplikasi radar cuaca pada simulasi bernilai -0,73 dB dan pada realisasi bernilai -2,8 dB pada frekuensi 9,770 GHz.
4. VSWR BPF didapatkan kurang dari 2 yaitu 1,18 pada simulasi dan 1,56 pada hasil realisasi yang diukur pada frekuensi 9,770 GHz.
5. Hasil pengukuran fabrikasi tidak sesuai dengan hasil simulasi karena dipengaruhi faktor-faktor eksternal pada saat pengukuran.
6. Untuk realisasi *filter* mikrostrip menggunakan bahan Rogers Duroid RT5880 kurang baik dilakukan secara manual.
7. Hasil pengukuran realisasi menunjukkan bahwa *filter* belum bisa dikatakan layak untuk diaplikasikan.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan setelah mengerjakan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Pada penelitian selanjutnya, analisa perancangan *filter* untuk frekuensi X-Band dapat dilakukan dengan metode resonator lain, seperti *edge coupled*, *square loop*, dan sebagainya.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan modifikasi letak resonator *hairpin* pada substratnya
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih spesifik, dapat digunakan penambahan metode lain seperti *open stub* dan *defected ground*.
4. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat hendaknya dilakukan pengukuran pada area minim pantulan atau interferensi (*anechoic chamber*).
5. Teknik pencatutan dan soldering konektor terhadap *filter* diperhatikan untuk meminimalisir perubahan respon frekuensi dan magnitude.
6. Untuk realisasi mikrostrip menggunakan bahan serta percetakan yang lebih handal dan profesional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. L. Skolnik, INTRODUCTION TO RADAR SYSTEM SECOND EDITION, Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1981.
- [2] R. M. Putra, B. Setia dan Y. Wahyu, "PERANCANGAN DAN REALISASI BANDPASS FILTER MIKROSTRIP RING SQUARE RESONATOR PADA FREKUENSI X-BAND (9.4 GHZ) UNTUK RADAR FM-CW PENGAWAS PANTAI," *Telkom University*.
- [3] F. C. Sitompul, RANCANG BANGUN BAND PASS FILTER DENGAN METODE HAIRPIN MENGGUNAKAN SALURAN MIKROSTRIP UNTUK FREKUENSI 2,4-2,5 GHz, Medan, 2014.
- [4] D. M. Pozar, MICROWAVE ENGINEERING, US: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [5] P. Jarry dan J. Beneat, ADVANCED DESIGN TECHNIQUES AND REALIZATIONS OF MICROWAVE AND RF FILTERS, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- [6] G. Matthaei, J. Young dan S. Jones, MICROWAVE FILTERS, IMPEDANCE MATCHING NETWORKS, AND COUPLING STRUCRES, McGraw Hill, 1980.
- [7] J.-S. Hong dan M. J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Application, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [8] J. Konpang, "A Dual-Mode Wide-Band Bandpass Filter Using the Microstrip Loop resonator with Tuning Stubs".
- [9] M. P. Manggala, PERANCANGAN FILTER SQUARE LOOP RESONATOR PADA FREKUENSI 2350 MHZ UNTUK APLIKASI SATELIT NANO, Bandung: Universitas Telkom, 2015.