

BAND PASS FILTER COMBLINE UNTUK PEMANCAR S-BAND SATELIT NANO

COMBLINE BAND PASS FILTER FOR S-BAND NANOSATELLITE TRANSMITTER

Mohammad Andi Pamungkas^[1] Dr. Ir. Heroe Wijanto, M.T.^[2] Dr. Ir. Yuyu Wahyu, M.T.^[3]

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung, 40257, Indonesia

mohammadandipm@telkomuniversity.ac.id^[1] heroewijanto@telkomuniversity.ac.id^[2] yuyu@ppte.lipi.go.id^[3]

Abstrak

Satelit Nano adalah satelit yang beroperasi pada orbit LEO dan mempunyai dimensi yang sangat kecil jika dibandingkan dengan satelit lainnya. Comblin Band Pass Filter merupakan salah satu metode perancangan filter yang paling menguntungkan dan dapat diterapkan pada sistem komunikasi satelit yang memancarkan sinyal dengan daya yang sangat besar karena mempunyai ruang hampa yang disebut cavity box. Filter yang akan dirancang bekerja dengan frekuensi tengah 2,35 GHz. Pada filter ini digunakan respon frekuensi chebyshev ripple 0.1 dB dan impedansi terminal input dan terminal output 50 Ohm. Dalam mendesain filter perlu diperhatikan jenis bahan pembuat filter comblin, penentuan dimensi yang teliti, dan karakteristik dari masing – masing resonator agar didapatkan hasil filter yang ideal.

Hasil dari *band pass filter* ini dapat meloloskan sinyal pada frekuensi 2.250-2.450 MHz dan memiliki bandwidth sebesar 38 MHz, memiliki VSWR 1,28, *insertion loss* sebesar -3,76 dB dan *return loss* sebesar -28,293 dB.

Kata Kunci—VLAN, Comb Line, Band Pass Filter, Chebyshev

Abstract

Nanosatellite is a satellite that operates at LEO orbit and has such a less dimension compared to the other satellite. Comblin Band Pass Filter is a filter design method that is most beneficial and can be applied to satellite communication system which transmits signals with enormous power because of it's vacuum feature called cavity box. This filter works with a center frequency of 2.35 GHz. This filter is used on the frequency response of 0.1 dB ripple Chebyshev and impedance input terminals and output terminals 50 Ohm. In designing the filter to note the type of material comblin filter maker, rigorous determination of dimensions and characteristics of each resonator so that the results obtained ideal filter

The result of this band pass filter able to pass a signal between 2.250-2.450 MHz and has a bandwidth of 38 MHz, VSWR 1,28, *insertion loss* -3,76 dB, and *return loss* -28,293 dB

Keywords : Comblin, Band Pass Filter, Chebyshev.

1. Pendahuluan

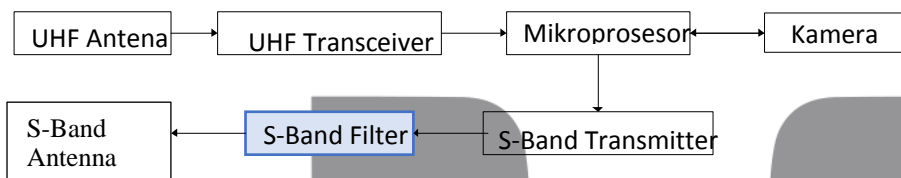
Satelit nano menggunakan frekuensi 2,35 GHz untuk keperluan pengiriman data muatan kamera untuk monitoring deforestasi. Untuk mengirimkan informasi dibutuhkan blok komunikasi sebagai penghubung antara satelit nano dan stasiun bumi. Filter sebagai bagian dari blok komunikasi yang berada sebelum antenna berguna untuk menyaring sinyal keluaran. Modul komunikasi yang digunakan untuk pengiriman data muatan memiliki lebar berkas yang sempit agar tidak menyebabkan interferensi dari frekuensi lain yang berdekatan.

Pada perancangannya digunakan metode filter combine. Combine filter adalah filter yang mempunyai struktur tersusun rapi dengan setiap ujung resonator di hubungkan terhadap ground dan ujung lainnya terhadap kapasitansi. Filter Combine yang akan dirancang memiliki kelebihan yaitu mempunyai fitur tuner pada setiap resonatornya yang dapat diputar dan menyebabkan perubahan gap antara tuner dengan resonator sehingga memberi keuntungan perihail selektifitas sinyal keluaran filter itu sendiri.

2. Dasar Teori

2.1 Satelit Nano

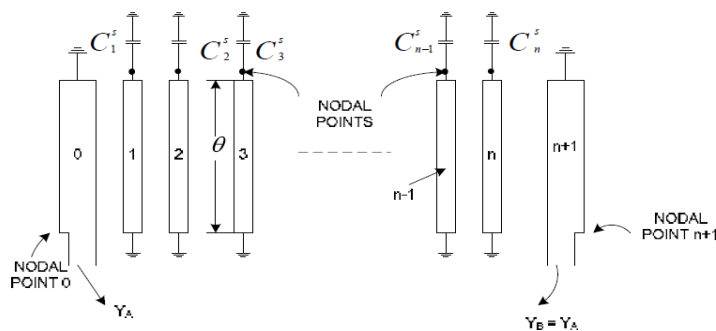
Pada Satelit Nano terdapat beberapa subsistem yang dirancang untuk menunjang misi yang dibawanya, salah satu subsistem tersebut adalah subsistem komunikasi. Blok komunikasi pada subsistem komunikasi satelit nano terdiri atas modul transceiver, serta filter yang bertujuan untuk menapis sinyal pada frekuensi yang tidak diinginkan. [1]



Gambar 1. Blok Komunikasi Satelit Nano Dan Posisi Filter S-Band Filter Pada Satelit Nano[2]

2.2. Band Pass Filter Combine

Combine filter adalah filter yang mempunyai struktur tersusun rapi dengan setiap ujung resonator di hubungkan terhadap ground dan ujung lainnya terhadap kapasitansi. [3]



Gambar 2. Susunan Resonator Pada Filter Comblin[4]

Gambar 2 menunjukkan filter bandpass combine dalam bentuk slabline atau batang silinder. Resonator filter ini terdiri atas elemen-elemen saluran transmisi (transmission line) mode TEM yang dihubung singkat pada salah satu ujungnya dan dipasang kapasitor terbungkah diantara ujung lainnya dengan ground.

3. Perancangan Sistem Filter

Filter Combine yang akan dirancang memiliki kelebihan yaitu filter ini cukup kompak, laju kecuraman *cut off* pada bagian atas *passband* dapat dirancang sangat curam, dan juga filter ini memiliki fitur tuner pada setiap resonatornya sehingga memberikan keuntungan pada selektifitas sinyal keluaran filter tersebut. Perancangan filter ini berdasarkan pada

persamaan-persamaan perancangan dari G.L. Matthaei dan kurva dari B.F. Nicholson yang merupakan penggabungan atau pengembangan kurva E.G Cristal[3]. Sedangkan bentuk karakteristik redamannya diambil berdasarkan pendekatan matematis untuk prototip LPF dari *Chebyshev*.

Perancangan filter ini menggunakan respon frekuensi *Chebyshev* dengan mengizinkan ripple sebesar 0,1 dB. Karena persyaratan tersebut mempunyai syarat ripple, maka orde filter dapat ditentukan dari kurva karakteristik redaman berdasarkan pendekatan Chebyscheff sebagai berikut :

Fractional Bandwidth:

$$W = \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \right) = \frac{200}{2350} = 0,0851$$

W% (*Fractional Bandwidth* dalam %) = 100% x 0,0851 = 8,51%

Kemudian Orde filter diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\left| \frac{\omega'}{\omega'_1} \right| = \frac{2}{W} \left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right) = \frac{2}{0,0851} \left(\frac{2570 - 2350}{2350} \right) = 2,200$$

Nilai tersebut kita plot dengan redaman sebesar 50 dB dari spesifikasi filter yang akan dirancang. Sehingga didapatkan nilai $n = 4$. Untuk memudahkan perhitungan dan mendapatkan respon filter yang baik, maka diambil harga $n = 5$. Untuk $n = 5$, harga parameter *prototype* LPF adalah :

Tabel 1. Tabel Harga Parameter *Low Pass Filter* (*G Value*)

| g_0 | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | $\sum_{k=1}^n g_k$ |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------------------|
| 1 | 1.1468 | 1.3712 | 1.9750 | 1.3712 | 1.9750 | 1 | 7.011 |

3.1 Menentukan Panjang Resonator Dan Jarak Antara Ground-Plane

Suatu filter memiliki nilai Q yaitu nilai dari faktor kualitas, faktor Q terbagi menjadi 2 yaitu

- faktor Q terbebani $Q = \frac{f_c}{f_1 + f_2} = 23,5000008$
- faktor Q tanpa beban $Q_U = \frac{240\pi^2 \ln\left(\frac{R}{r}\right)}{\frac{2\lambda_0}{2b} \sqrt{\pi f_0 \mu \rho \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)} + 8 \sqrt{\pi f_0 \mu \rho \left(\frac{R}{r}\right)}}$

Dari kedua persamaan di atas terdapat hubungan dengan nilai dari *Insertion Loss*, dengan memakai persamaan rugi-rugi total yaitu : $L_K(dB) = 4,343 Q_L \sum_{k=1}^n \frac{g_k}{Q_{UK}}$

Dengan nilai *Insertion Loss* 0,4 dB lalu nilai Q bernilai 23,5, dan jumlah nilai g faktor adalah 7.011 maka didapatkan nilai $Q_U = 1788,86$ dB.

Untuk jenis filter yang narrowband maka nilai panjang resonator(l) adalah $\theta_0 = \frac{45}{360} \times \frac{3 \times 10^{10} \text{ cm/det}}{2350 \text{ MHz}}$. Didapatkan nilai $l = 1,6$ cm. Dengan mensubstitusikan nilai yang ada maka didapatkan nilai b (jarak antara ground plane) yaitu 1,25 cm.

3.2 Menentukan Besarnya Kapasitansi Sendiri Dan Kapasitansi Bersama

Berdasarkan persamaan yang diberikan oleh G.L Matthaei [5] untuk perancangan filter *bandpass Comblin* untuk narrow *bandwidth*. Dari persamaan tersebut akan didapatkan nilai kapasitansi sendiri dan nilai kapasitansi bersama. Untuk menghitung kedua nilai tersebut di gunakan persamaan berikut

$$\frac{J_{1,2}}{Y_A} = \frac{\omega}{w'_1} \sqrt{\left(\frac{\left(\frac{b_1}{Y_A} \right) \left(\frac{b_2}{Y_A} \right)}{g_1 g_2} \right)} = 0,04688280635$$

Selanjutnya di cari nilai kapasitansi ternormalisasi sendiri dan didapatkan nilai kapasitansi terbungkus masing – masing resonator :

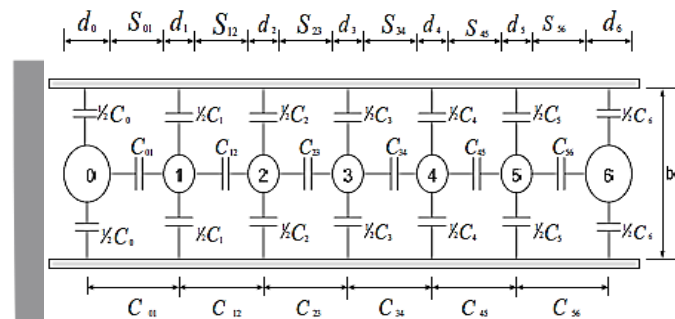
$$C_k^s|_{k=l^s/d^n} = Y_A \left(\frac{Y_{ak}}{Y_A} \right) \frac{\cot \theta_0}{w_0} = 0,89 \text{ pF}$$

Tabel 2. Nilai Kapasitansi Bersama Dan Kapasitansi Gandeng

| K | $\frac{C_{k,k+1}}{\epsilon}$ | K | $\frac{C_k}{\epsilon}$ |
|---------|------------------------------|---------|------------------------|
| 0 dan 5 | 1.706 | 0 dan 6 | 5.826 |
| 1 dan 4 | 0.353 | 1 dan 5 | 3.282 |
| 2 dan 3 | 0.269 | 2 dan 4 | 4.333 |
| | | 3 | 4.417 |

3.3 Menentukan dimensi filter

Filter ini memiliki orde 5 sehingga memiliki jumlah resonator sebanyak 7 yang sudah dihitung sebelumnya. Dari nilai kapasitansi sendiri dan kapasitansi bersama akan didapatkan dimensi dari filter. Berikut penampakan penampang filter dari bagian atas filter menunjukkan nilai – nilai yang mempengaruhi dimensi filter.



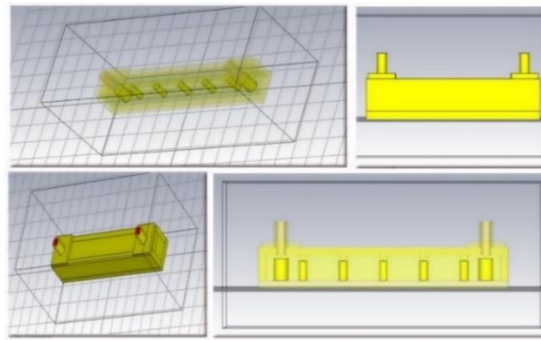
Gambar 3. Tampak Atas Geometri Filter[4]

Berdasarkan nilai kapasitansi bersama dan kapasitansi sendiri lalu akan didapatkan nilai d dan s digunakan kurva E.G Kristal dan B.F. Nicholson. Untuk mendapatkan nilai tersebut dilakukan beberapa langkah

1. Plot nilai dari nilai kapasitansi bersama di dalam grafik Lampiran A.1
2. Plot nilai tersebut di grafik Lampiran A.2
3. Dengan menggunakan kurva bantu d/b di cari nilai dari titik – titik kordinat dari kapasitansi sendiri
4. Berdasarkan titik kordinat tersebut didapatkan nilai d/b dan s/b.
5. Nilai d/b dan s/b di denormalisasi terhadap nilai b untuk didapatkan nilai s dan b, selanjutnya

3.4 Optimasi Filter Comblne

Optimasi sendiri merupakan tahapan dimana sebuah alat diubah nilai dari beberapa parameter sehingga diharapkan hasil optimasi dapat mendekati spesifikasi perancangan. Berikut table 5 menunjukkan perbandingan geometri filter *comblne* sebelum dan sesudah optimasi dilakukan.



Gambar 4 Optimasi Filter *Comblaine Cavity* Menggunakan Aplikasi

Tabel 5. Perbandingan Geometri Perhitungan Dan Optimasi

| Resonator | Diameter | | Panjang resonator(mm) | | kapasitansi beban(pF) | | jarak gap resonator(mm) | |
|-----------|----------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-------------------------|-----------|
| | awal | optimasi | awal | optimasi | awal | optimasi | awal | optimasi |
| 1 | 7,75 | 7,75 | 16 | 14,69 | - | - | 0,7356358 | 0,7356358 |
| 2 | 5,125 | 5,125 | 16 | 15,76 | 40,2 | 27,3 | 0,225 | 0,2818 |
| 3 | 6,357 | 6,357 | 16 | 15,76 | 40,2 | 24,6 | 0,67 | 0,38909 |
| 4 | 6,5 | 6,5 | 16 | 15,76 | 40,2 | 23,3 | 0,76 | 0,4063 |
| 5 | 6,357 | 6,357 | 16 | 15,76 | 40,2 | 25,4 | 0,67 | 0,3976318 |
| 6 | 5,125 | 5,125 | 16 | 15,76 | 40,2 | 26,3 | 0,225 | 0,2849 |
| 7 | 7,75 | 7,75 | 16 | 14,69 | - | - | 0,7356358 | 0,7356358 |

3.5 Hasil Pengukuran dan Analisa

Setelah optimasi filter pada *software* untuk mendapatkan parameter yang sesuai telah selesai dilakukan kemudian dilakukan realisasi filter menggunakan ukuran yang didapat setelah optimasi dilakukan. Hasil realisasi filter memiliki dimensi panjang 103 mm dan lebar 18,5 mm



Gambar 6. Realisasi Bandpass Filter *Comblaine Cavity*

Setelah filter direalisasikan langkah selanjutnya adalah pengukuran parameter *return loss*, *insertion loss*, *bandwidth*, *VSWR*, fasa, dan impedansi pada filter ini. Namun spesifikasi yang dihasilkan setelah realisasi tidak sebagus pada saat simulasi. Berikut akan ditampilkan hasil pengukuran pada filter *Comblaine Cavity*.



Gambar 7. Insertion Loss Hasil Realisasi (A) Return Loss Hasil Realisasi (B) VSWR Hasil Realisasi (C)

3.6 Analisa Hasil Realisasi Filter

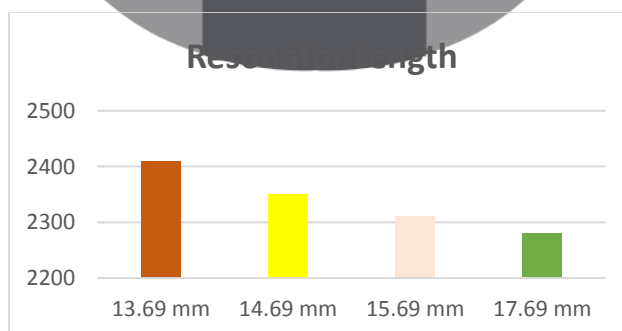
Tabel 6. Perbandingan Nilai Kinerja Filter

| Parameter | Spesifikasi | Simulasi | Optimasi | Realisasi |
|----------------------------------|-------------|----------|-----------|-----------|
| Frekuensi tengah | 2350 MHz | 2386 MHz | 2376 MHz | 2312 MHz |
| Bandwidth | 20 MHz | - | 38 MHz | 38 MHz |
| Return Loss | ≤ -10 dB | -13,3 dB | - 31,3 dB | -17,16 dB |
| Insertion Loss | ≥ -3 dB | -2,09 dB | - 0,6 dB | -3,74 dB |
| Impedansi Terminal <i>input</i> | 50 Ohm | - | 49,7 Ohm | 56 Ohm |
| Impedansi Terminal <i>output</i> | 50 Ohm | - | 51,06 Ohm | 47 Ohm |
| VSWR | ≤ 1,5 | - | 1,058 | 1,28 |

Tabel 6 menunjukkan perbandingan dari nilai – nilai parameter filter *comblin* antara simulasi, optimasi dan realisasi. Secara keseluruhan hasil yang didapatkan memenuhi spesifikasi. Adapun hasil yang kurang sesuai dengan spesifikasi dipengaruhi oleh proses pabrikan yang sulit karena dimensi filter yang kecil sehingga dibutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi saat proses pembuatan filter.

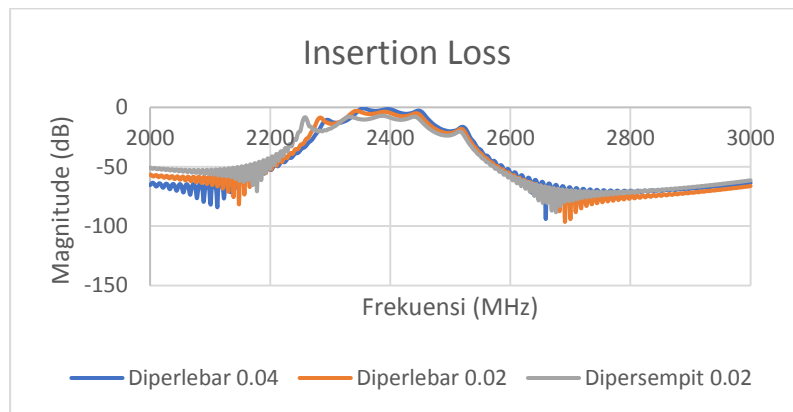
3.7 Analisa Pengaruh Panjang Resonator

Berdasarkan dari gambar 8 terlihat bahwa panjang resonator 13,69 mm memiliki frekuensi tengah yang lebih besar di 2410 MHz. Sedangkan untuk panjang sesonator 14,69 mm frekuensi tengahnya berada di 2350 GHz. Kedua sampel ini membuktikan bahwa saat frekuensi besar maka lamda akan bernilai kecil dan begitupun sebaliknya.



Gambar 8. Pengaruh Variasi Panjang Resonator

3.8 Analisa Pengaruh Jarak Tuning Dan Resonator

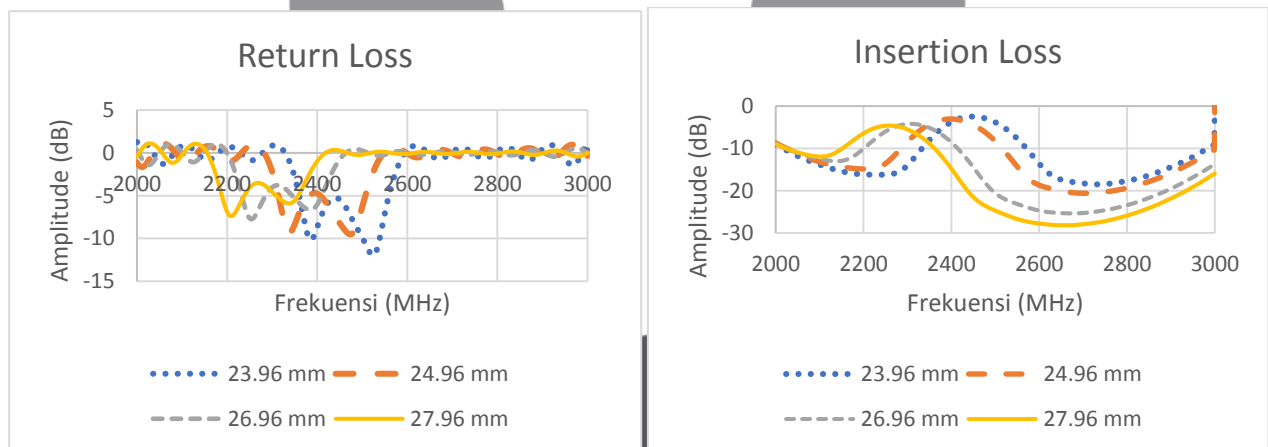


Gambar 9. Pengaruh Perubahan Nilai Tuning

Pada gambar 9 kurva 1 terlihat bahwa saat jarak tuning 1 dan 2 di diperkecil serta jarak tuning resonator 4 dan 5 diperlebar maka akan terjadi pelebaran dan penurunan pada nilai S – parameter. Jadi untuk mendapatkan respon ideal maka yang perlu dilakukan adalah mengatur jarak tuning resonator 3 sebagai frekuensi tengah.

3.9 Analisis Pengaruh Perubahan Tinggi Box Cavity

Perubahan pada tinggi box *cavity* dapat berpengaruh pada nilai dari *Insertion Loss* dan *Return Loss combine filter*. Pada proses optimasi dilakukan perubahan dari tinggi *cavity* box untuk didapatkan nilai S-parameter yang baik.



Gambar 10. Perubahan Tinggi *Cavity* Terhadap *Return Loss* (a) Perubahan Tinggi *Cavity* Terhadap *Insertion Loss* (b)

Berdasarkan gambar 10 terlihat pengaruh dari perubahan tinggi box. Pada perubahan dari nilai tinggi box *cavity* berpengaruh terhadap frekuensi tengah dari *combine filter*.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

1. *Return Loss* yang didapatkan pada proses simulasi sebesar -31 dB dan pada proses realisasi didapatkan -17 dB, sedangkan pada spesifikasi awal $Return Loss \leq -10$. Hasil ini menunjukkan pada kedua proses tersebut sudah memenuhi spesifikasi.

2. *Insertion Loss* yang didapatkan pada proses simulasi sebesar -0,6 dB dan pada proses realisasi didapatkan -3,74 dB, sedangkan pada spesifikasi awal *Insertion Loss* ≥ -3 dB. Hasil ini menunjukkan pada filter hasil realisasi belum memenuhi spesifikasi.
3. Respon fasa untuk *comblin* filter pada simulasi linier dan pada proses realisasi respon fasa linier.
4. *Bandwidth* yang dihasilkan pada simulasi sebesar 38 MHz, dan pada saat realisasi *bandwidth* yang didapatkan 38 MHz, ini menunjukkan bahwa filter ini belum sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan yaitu 20 MHz.
5. VSWR yang didapatkan pada proses simulasi sebesar 1,05 dan pada proses realisasi VSWR yang di dapatkan sebesar 1,2. Hasil ini menunjukkan terpenuhinya spesifikasi awal yaitu $VSWR \leq 1,5$.
6. Nilai impedansi terminal *input* simulasi sebesar 51,06 Ohm dan impedansi terminal *output* simulasi sebesar 49,7 Ohm, sedangkan pada spesifikasi awal impedansi terminal *input* dan *output* sebesar 50 Ohm.
7. Perak merupakan konduktor terbaik, dimana nilai *Insertion Loss* sebesar -0,78 . Sedangkan nilai *Insertion Loss* kuningan yang merupakan material filter *comblin* adalah -1,15.
8. Hasil perancangan dan pengukuran menghasilkan hasil yang berbeda dikarenakan, adanya loss yang dihasilkan dari proses pabrikasi seperti proses pembubutan lempengan kuningan dan penyambungan dengan metode las. Lalu ada juga loss yang dihasilkan bahan konduktor, dan juga kurangnya ketelitian saat pembuatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Manggala, *PERANCANGAN FILTER SQUARE LOOP RESONATOR PADA FREKUENSI 2350 MHZ UNTUK APLIKASI SATELIT NANO*. Bandung: Telkom University, 2011.
- [2] I. Prayogo, *PERANCANGAN DAN REALISASI HIGH POWER AMPLIFIER (HPA) PADA FREKUENSI 437,430 MHZ UNTUK APLIKASI TTC DOWNLINK NANO SATELIT TEL-U SAT*. Bandung: Telkom University, 2017.
- [3] M. Ikbal, *PERANCANGAN DAN REALISASI FILTER BAND PASS COMB LINE PADA FREKUENSI 5.21 GHZ UNTUK WIFI 802.11AC*. Bandung: Telkom University, 2012.
- [4] G. Borg, "FILTERS."
- [5] R. M. Gagliardi, "Satellite Communication," *Van Nostrand Reinhold*, vol. 1st Editio, 1991.
- [6] ISIS - Innovative Solutions In Space, "ISIS – TXS Small Satellite S-Band Transmitter," p. 2, 2012.
- [7] L. Young, "Design of microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures volume 11," *Design*, vol. 11.
- [8] P. In, "Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 37, 65–71, 2013," vol. 37, no. January, pp. 65–71, 2013.
- [9] U. Telkom, *PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI BAND PASS FILTER PADA SYNTHETIC APERTURE RADAR*. 2014.
- [10] a Hasan and a E. Nadeem, "Bandpass Filter Using Via Ground Holes," pp. 393–419, 2008.
- [11] M. E. Fundamentals, "Microwave Engineering Fundamentals and Spectrometer Design," pp. 1–14, 2004.
- [12] F. Yu, X. Zhang, and Y. Zhang, "Frequency-Tunable Bandpass Filters With Constant Absolute Bandwidth and Improved Linearity.," *Prog. Electromagn. Res. Lett.*, vol. 33, no. July, pp. 131–140, 2012.
- [13] D. Applegate and M. Thorup, "Load optimal MPLS routing with $N + M$ labels," *IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annu. Jt. Conf. IEEE Comput. Commun. Soc. (IEEE Cat. No.03CH37428)*, vol. 0, no. C, pp. 555–565, 2003.
- [14] B. A. B. Iii, "self capacitance)," no. d, pp. 27–39.