

Perancangan Tunable Interdigital Bandpass Filter Pada Rentang Frekuensi 680-950 MHz

Bima Taufan Prasedya¹, Bambang Setia Nugroho², Budi Syihabuddin³

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom¹

bimataufan@gmail.com

Bambangsetianugroho@yahoo.com²

bsyihabuddin@gmail.com³

Abstrak

Frekuensi kerja dan bandwidth pada setiap sistem komunikasi berbeda-beda, perbedaan tersebut mengakibatkan perbedaan pada penggunaan hardware terutama pada bagian *Radio Frequency (RF Stage Frequency (RF Stage)*, yaitu *filter*, *amplifier*, dan *up/down converter*. Hal ini menimbulkan kompleksitas, tidak efisien, dan cost yang mahal karena harus merancang dan merealisasikan ulang agar sesuai frekuensi kerja dan *bandwidth* yang dibutuhkan. Dalam makalah ini akan dirancang sebuah bandpass filter yang bersifat *tunable*, dengan menggunakan dioda varaktor sebagai *tuner* untuk merubah frekuensi yang ingin dilewatkan. Perancangan bandpass filter menggunakan metode *Chebyshev Interdigital*. Kemudian tegangan 0 sampai 15 Volt diberikan untuk merubah kapasitansi varaktor sehingga frekuensi tengah dapat diatur pergeserannya pada rentang frekuensi 680 MHz sampai 950 Mhz dengan insertion loss yang rendah.

Kata Kunci: *Filter Interdigital, Tunable Bandpass Filter, Dioda Varaktor*

1. Pendahuluan

Frekuensi kerja dan bandwidth pada setiap sistem komunikasi berbeda-beda, perbedaan tersebut mengakibatkan perbedaan pada penggunaan hardware terutama pada bagian *Radio Frequency (RF Stage)*, yaitu *filter*, *amplifier*, dan *up/down converter*. Dengan demikian apabila kita ingin membangun sebuah pemancar dan penerima yang menggunakan lebih dari satu teknologi sistem komunikasi radio, maka harus menggunakan lebih dari satu *RF Stage*. Hal ini mengakibatkan kompleksitas, tidak efisien, dan cost yang mahal karena kita harus merancang dan merealisasikan ulang agar sesuai frekuensi kerja dan *bandwidth* yang dibutuhkan.

Dalam hal ini penulis melakukan penelitian pada perangkat keras bagian *RF Stage*, yaitu filter. Filter merupakan bagian dari *RF stage* yang memiliki fungsi untuk meloloskan sinyal dengan frekuensi tertentu dan meredam frekuensi lainnya [1]. Seiring berjalannya waktu banyak metode yang dikembangkan untuk merancang dan merealisasikan filter tersebut. Permasalahannya ialah ketika ingin merubah fekuensi kerja dan bandwidth maka harus merancang dan memperhitungkan ulang dimensi filter untuk mendapatkan frekuensi kerja maupun *bandwidth* yang dituju, tentunya akan menimbulkan ketidakefektifan dan biaya untuk merealisasikan filter semakin besar. Solusi dari permasalahan tersebut ialah bagaimana kita dapat merancang sebuah filter yang dapat dirubah-ubah frekuensi kerja dengan *bandwidth* yang terjaga tanpa harus merencanakan dan merealisasikan ulang sehingga dapat lebih efektif dan lebih hemat dari segi biaya.

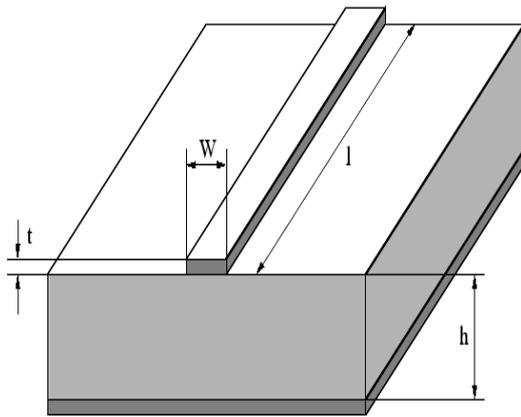
Untuk itu dalam makalah ini akan dibahas perancangan dan simulasi *tunable* bandpass filter dengan menggunakan metode *chebyshev* interdigital dengan rentang frekuensi tuning 680 MHz sampai 950 Mhz dengan menggunakan dioda varaktor sebagai *tuner*.

2. Perancangan Tunable Bandpass Filter

Sebelum dirancang filter yang bersifat *tunable* dengan menggunakan dioda varaktor, maka dirancang terlebih dahulu bandpass filter menggunakan metode *chebyshev* interdigital. berikut penjelasan singkat tentang filter mikrostrip, interdigital bandpass filter, cara kerja dioda varaktor dan spesifikasi filter yang digunakan untuk membantu dalam perancangan.

2.1 Saluran Mikrostrip^[3]

Microstrip line merupakan media transmisi yang digunakan di dalam rangkaian RF dan *microwave*. Pada saat ukuran *microstrip* di kurangi sehingga dimensinya menjadi lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang, maka mikrostrip dapat digunakan sebagai elemen *lumped*. Parameter yang penting dalam merancang *transmission line* adalah karakteristik impedansi (Z_0), efektif *dielektrik konstan* (ϵ_r), *Atenuasi* (α), *discontinuity reaktansi*, frekuensi dispersi, eksitasi gelombang pada permukaan, dan radiasi. Mikrostrip adalah suatu saluran transmisi yang terdiri dari *strip* konduktor dan *ground plane* yang antara keduanya dipisahkan oleh dielektrik. Mikrostrip pada umumnya digunakan karena lebih mudah dalam pabrikasinya dan *losses* yang ditimbulkan relatif lebih kecil jika dibandingkan dari rangkaian *lumped*



Gambar 1 Struktur Mikrostrip
(Microstrip Filter For RF/Microwave applications:
Hong, Jia-Sheng,2001)

Karakteristik Transmisi pada mikrostrip dideskripsikan dengan dua parameter, yaitu konstanta dielektrik efektif (ϵ_{re}) dan impedansi karakteristik (Z_c). Konstanta dielektrik efektif adalah konstanta dielektrik pada saluran mikrostrip dengan dielektrik homogen yang lebih besar dari satu tetapi lebih kecil dari konstanta dielektrik (ϵ_r).

Dalam perhitungan apabila lebar saluran dan ketebalan substrat diketahui, maka konstanta dielektrik efektif dapat dicari dengan persamaan 2.1 [3].

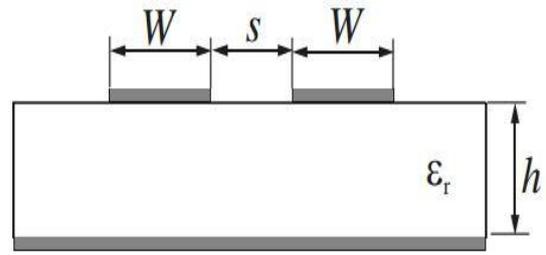
$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{u}\right)^{-ab} \quad (2.1)$$

Impedansi karakteristik saluran dapat dicari dengan persamaan 2.2.

$$Z_c = \frac{377}{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[\frac{F}{W/h} + \sqrt{1 + (2/(w/h))^2} \right] \quad (2.2)$$

2.2 Saluran Mikrostrip Terkopel

Saluran Mikrostrip terkopel digunakan secara luas dalam implementasi filter microstrip. Gambar 2.5 menggambarkan penampang sepasang saluran microstrip, di mana dua saluran microstrip dengan lebar W terhubung secara paralel dengan pemisahan s [3]. Antara satu saluran dengan saluran yang lainnya saling mengkopling daya dan besarnya daya yang dikopling tergantung pada jarak antar resonator tersebut. Semakin besar jarak antar resonator maka transfer daya yang terjadi akan semakin mengecil. Namun semakin dekat jarak antar resonator, maka transfer daya akan semakin besar.



Gambar 2 Struktur Mikrostrip Terkopel
(Microstrip Filter For RF/Microwave applications:
Hong, Jia-Sheng,2001)

Pada saluran mikrostrip terkopel mempunyai dua buah mode impedansi karakteristik, yaitu mode genap dan mode ganjil. Impedansi karakteristik mode genap dan mode ganjil terdiri dari fungsi lebar saluran (W), konstanta dielektrik (ϵ_r), tinggi substrat (h), dan jarak saluran (S).

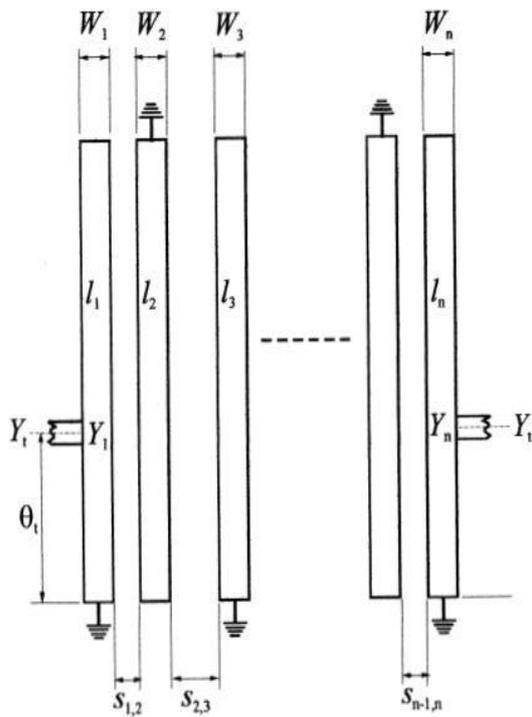
Berikut rumus untuk menghitung impedansi karakteristik mode genap dan mode ganjil secara berturut-turut menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4 [3].

$$Z_{ce} = \frac{Z_c \sqrt{\epsilon_{re}/\epsilon_{re}^0}}{1 - Q_4 \sqrt{\epsilon_{re}} Z_c / 377} \quad (2.3)$$

$$Z_{co} = \frac{Z_c \sqrt{\epsilon_{re}/\epsilon_{re}^0}}{1 - Q_{10} \sqrt{\epsilon_{re}} Z_c / 377} \quad (2.4)$$

2.3 Interdigital Bandpass Filter [3]

Interdigital bandpass filter merupakan salah satu metode perancangan filter bandpass. Konfigurasi interdigital (Gambar 3) terdiri dari n buah saluran dengan lebar masing-masing saluran adalah W_n dan panjang masing-masing saluran adalah L_n . Masing-masing saluran mempunyai jarak antar saluran ($S_{i,i+1}$) dengan $i = 1$ s/d $n-1$ dan admitansi karakteristik Y_n . Y_t merupakan admitansi pada tap input-output yang nilainya mungkin sama dengan admitansi karakteristik sumber-beban (Y_0). Sedangkan θ_t diukur dari ujung input atau output saluran yang short-circuit, menunjukkan posisi tapping, dimana $Y_1 = Y_n$, yaitu impedansi karakteristik dari saluran mikrostrip tunggal. Metode interdigital mempunyai panjang resonator yaitu saluran $\lambda/4$ pada frekuensi tengah, dengan short-circuit pada salah satu ujung dan open-circuit pada ujung lainnya. Realisasi grounding pada metode interdigital biasanya menggunakan *through hole*.



Gambar 3 Konfigurasi interdigital bandpass filter (Microstrip Filter For RF/Microwave applications: Hong, Jia-Sheng,2001)

Y_t merupakan admintasi pada tap input/output yang nilainya mungkin sama dengan admintasi karakteristik sumber-beban (Y_o). Sedangkan θ_t diukur dari ujung input dan output saluran yang *short-circuit*, menunjukkan posisi *tapping*, dimana $Y_1 = Y_n$ yang menunjukkan microstrip impedansi karakteristik tunggal dari resonator input / output.

Proses perancangan filter dengan metode interdigital menggunakan persamaan 1 sampai dengan 5 [3].

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{fbw}{2} \right) \quad (2.5)$$

$$Y = \frac{Y_i}{\tan \theta} \quad (2.6)$$

$$J_{i,i+1} = \frac{Y}{\sqrt{g_i g_{i+1}}} ; i = 1 \text{ s/d } n-1 \quad (2.7)$$

$$Y_{i,i+1} = J_{i,i+1} \sin \theta \quad (2.8)$$

$$Y_t = Y_1 - \frac{Y_{1,2}^2}{Y_1} \quad (2.9)$$

$$\theta_t = \frac{\sin^{-1} \left(\frac{Y \sin^2 \theta}{\sqrt{Y_o g_o g_o}} \right)}{1 - \frac{fbw}{2}} \quad (2.10)$$

2.4 Dioda Varaktor

Dioda Varactor disebut juga sebagai dioda kapasitas yang sifatnya mempunyai kapasitas yang berubah-ubah jika diberikan tegangan. Dioda ini bekerja didaerah reverse mirip dioda Zener. Bahan dasar pembuatan dioda varactor ini adalah silikon dimana dioda ini sifat kapasitansinya tergantung pada tegangan yang

diberikan padanya. Jika tegangan semakin naik, kapasitansinya akan turun sehingga menimbulkan efek pada panjang saluran. Salah satu penggunaan dioda varaktor adalah tuning pada rangkaian aktif dan pasif.

Untuk Mencari nilai kapasitansi yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan 2.11 dan 2.12 [4].

$$f_o (V_{bias}) = \frac{1}{Z_{ak} 2\pi (V_{bias}) \tan(\theta_o V_{bias})} \quad (2.11)$$

$$\theta(V_{bias}) = 2\pi f_1 \sqrt{\epsilon_{rE}} / c \quad (2.12)$$

2.5 Spesifikasi Filter

Filter yang dirancang menggunakan metode chebysev interdigital, ripple 0.1 dB, dan redaman stopband 40 dB dengan bandwidth 40 Mhz. *return loss* atau $S(1,1) \leq -10$ dB, *Insertion loss* atau $S(2,1) \geq -5$ dB, dan $VSWR \leq 2$. Kemudian Filter akan dirancang menggunakan bahan Epoxy FR-4.

Tabel 1: Spesifikasi Filter

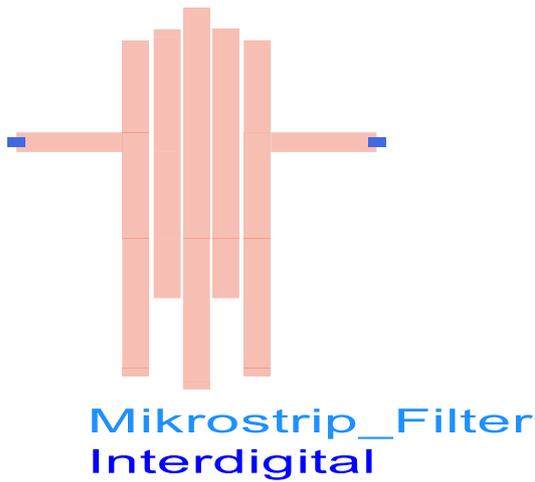
| Spesifikasi | Satuan |
|--|-------------|
| ϵ_r | 4.4 |
| Ketebalan dielektrik (t) | 0.035 mm |
| Tinggi substrat (h) | 1.65 mm |
| Impedansi Karakteristik dielektrik (Z_c) | 75 Ω |

3. Hasil dan Pembahasan

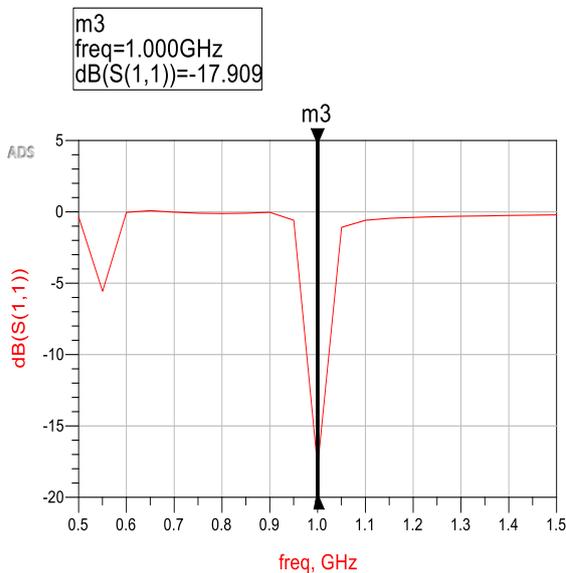
Untuk hasil dan pembahasan dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan filter sebelum menggunakan dioda varaktor dan setelah menggunakan dioda varaktor untuk membuat sebuah bandpass filter yang bersifat *tunable* sesuai tujuan utama dalam penelitian ini.

3.1 Hasil Perancangan dan Simulasi Filter Tanpa Dioda varaktor

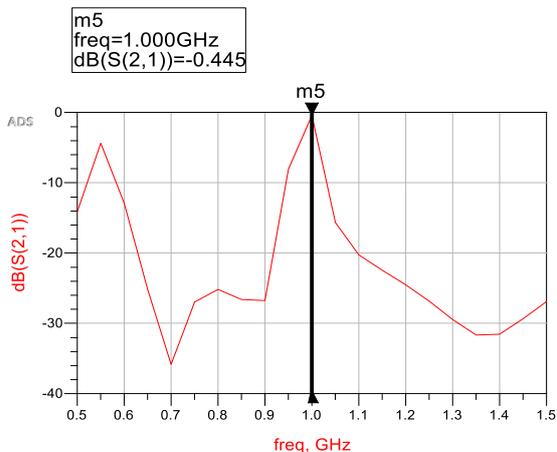
Sesuai penjelasan pada bab sebelumnya, sebelum menggunakan dioda varaktor, filter dirancang terlebih dahulu menggunakan metode chebysev interdigital. Dalam penelitian ini bandpass filter dirancang pada frekuensi 1 GHz. Gambar 4 memperlihatkan hasil design filter, gambar 5 dan 6 merupakan hasil simulasi dengan meninjau $S(1,1)$ dan $S(2,1)$.



Gambar 4 Hasil Perancangan filter tanpa dioda varaktor



Gambar 5 Hasil simulasi parameter S(1,1)



Gambar 6 Hasil simulasi parameter S(2,1)

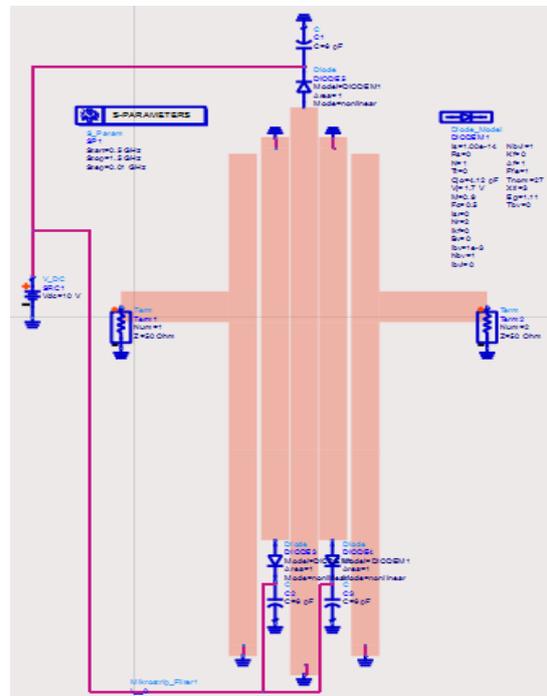
Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa parameter S(1,1) dan S(2,1) yang menjadi acuan sudah menunjukkan hasil yang baik yaitu untuk

S(1,1) didapat sebesar -17.909 dB dan untuk S(2,1) didapatkan -0.445 dB.

3.2 Perancangan dan simulasi Filter Dengan Dioda Varaktor

Untuk mengubah frekuensi tengah filter digunakan dioda varaktor. Kapasitansi yang dimiliki dioda varaktor akan berubah jika diberi tegangan DC, Jika tegangan semakin naik, kapasitansinya akan turun sehingga menimbulkan efek pada panjang saluran. Untuk mencangkup wilayah frekuensi yang diinginkan, maka dibutuhkan dioda varaktor yang memiliki nilai kapasitansi yang lebar. Nilai kapasitansi sendiri dapat dicari menggunakan persamaan 1 dan 2. Pada penelitian ini dioda varaktor yang digunakan mempunyai tipe SMV1233 yang memiliki kapasitansi 0.84-5.08 pF dan tegangan bias maksimal yang diberikan adalah 15 volt sesuai dengan *datasheet* .

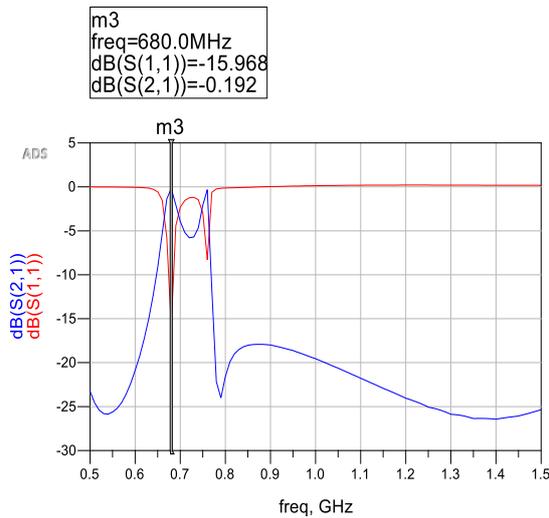
Dibawah ini merupakan design bandpass filter dengan menggunakan dioda varaktor.



Gambar 7 Hasil perancangan filter dengan dioda varaktor

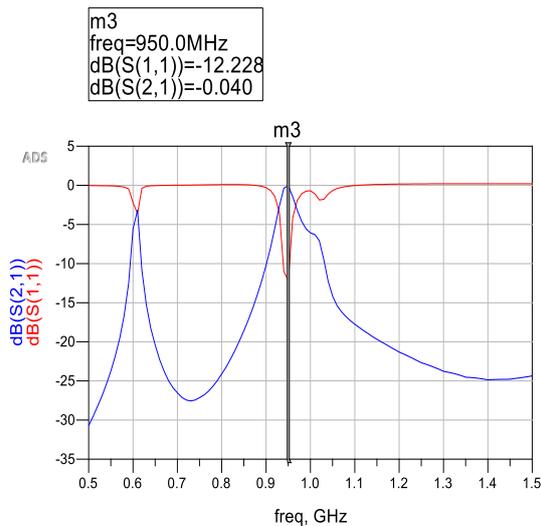
Hasil simulasi menggunakan software ADS menunjukkan bahwa pergeseran frekuensi dan bandwidth terjadi pada frekuensi 680 MHz sampai dengan 950 MHz.

Gambar 8 Dibawah ini menunjukkan hasil simulasi bandpass filter ketika tegangan 0 Volt diberikan yang sekaligus menunjukkan batas bawah rentang frekuensi tuning yaitu 680 Mhz.



Gambar 8 Hasil simulasi parameter $S(1,1)$ dan $S(2,1)$ ketika tegangan 0 Volt diberikan

Gambar 9 dibawah ini menunjukkan hasil simulasi ketika tegangan 15 Volt diberikan atau batas maksimum tegangan yang diperbolehkan sesuai dengan data sheet dari dioda varaktor, dan menunjukkan frekuensi tengah berada pada 950 MHz yang sekaligus menjadi batas maksimum rentang frekuensi tuning yaitu dari 680 MHz sampai 950 MHz.



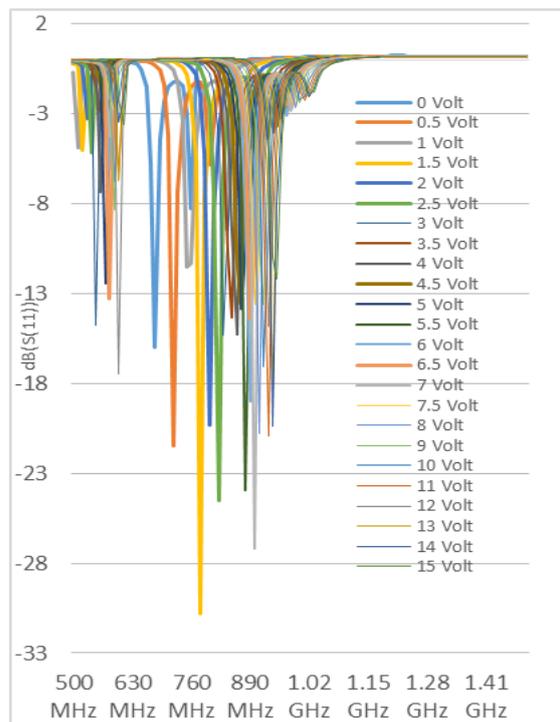
Gambar 9 Hasil simulasi parameter $S(1,1)$ dan $S(2,1)$ ketika tegangan 15 Volt diberikan

Dan pada tabel 2 berikut hasil keseluruhan simulasi *tunable* bandpass filter ketika tegangan 0 sampai 15 Volt diberikan dilihat dari hasil pergeseran frekuensi dan besar parameter $S(1,1)$ dan $S(2,1)$ yang didapat.

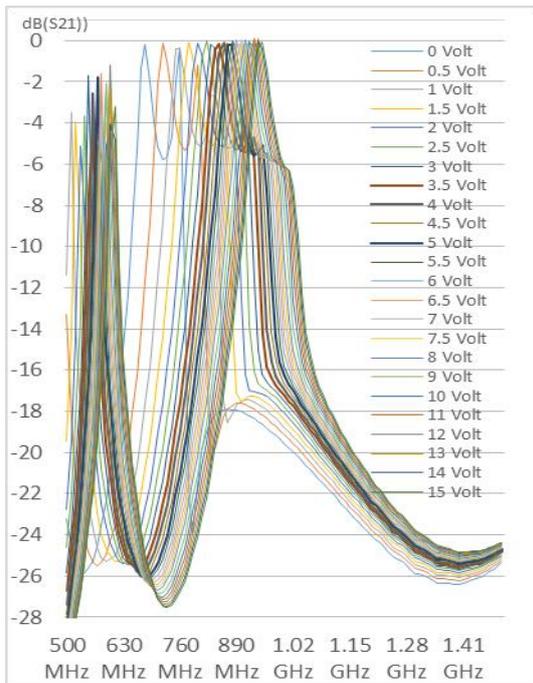
Tabel 2: Hasil keseluruhan simulasi ketika tegangan bias ditambah dan menimbulkan efek pergeseran frekuensi

| V_{bias} (volt) | f_{bias} (MHz) | $dB(S11)$ | $dB(S21)$ |
|----------------------|---------------------|-----------|-----------|
| 0 | 680 | -15 | -0.192 |
| 0.5 | 720 | -21,480 | -0.096 |
| 1 | 760 | -11.3 | -0.384 |

| | | | |
|-----|-----|---------|--------|
| 1.5 | 780 | -30.787 | -0.055 |
| 2 | 800 | -20.349 | -0.138 |
| 2.5 | 820 | -24.542 | -0.024 |
| 3 | 830 | -15.315 | -0.172 |
| 3.5 | 850 | -14.36 | -0.152 |
| 4 | 860 | -15.294 | -0.081 |
| 4.5 | 870 | -13.525 | -0.1 |
| 5 | 870 | -13.851 | -0.212 |
| 5.5 | 880 | -23.969 | -0.001 |
| 6 | 890 | -19.015 | 0.023 |
| 6.5 | 890 | -14.355 | -0.182 |
| 7 | 900 | -27.171 | 0.03 |
| 7.5 | 900 | -13.657 | -0.23 |
| 8 | 910 | -20.798 | 0.048 |
| 9 | 920 | -13.629 | -0.027 |
| 10 | 920 | -17.105 | -0.067 |
| 11 | 930 | -20.957 | 0.089 |
| 12 | 930 | -14.852 | -0.128 |
| 13 | 940 | -18.578 | 0.088 |
| 14 | 940 | -20.382 | 0.014 |
| 15 | 950 | -12.228 | -0.04 |



Gambar 10 Hasil Simulasi Pergeseran Parameter $S(1,1)$ ketika tegangan ditambah



Gambar 11 Hasil Simulasi Pergeseran Parameter S(2,1) ketika tegangan ditambah

Gambar hasil simulasi diatas menunjukkan pergeseran frekuensi kerja filter, parameter S(1,1) dan S(2,1) pada saat tegangan diberikan pada dioda varaktor dari rentang 0 sampai 15 Volt dengan bandwidth yang cenderung konstan ketika terjadi pergeseran. Untuk perubahan besar kapasitansi dan bandwidth yang didapat ketika tegangan dinaikan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3: range tuning dengan nilai kapasitansi serta tegangan yang dibutuhkan

| V _{bias} (volt) | C _{var} (pf) | f _{bias} (MHz) | Bandwith (MHz) |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| 0 | 5.08 | 680 | 665-695 |
| 0.5 | 3.95 | 720 | 710-743 |
| 1 | 3.28 | 760 | 740-778 |
| 1.5 | 2.8 | 780 | 765-805 |
| 2 | 2.41 | 800 | 785-825 |
| 2.5 | 2.09 | 820 | 800-843 |
| 3 | 1.82 | 830 | 818-858 |
| 3.5 | 1.62 | 850 | 830-870 |
| 4 | 1.45 | 860 | 840-880 |
| 4.5 | 1.33 | 870 | 850-890 |
| 5 | 1.24 | 870 | 858-898 |
| 5.5 | 1.16 | 880 | 865-905 |
| 6 | 1.1 | 890 | 870-910 |
| 6.5 | 1.05 | 890 | 878-918 |
| 7 | 1.01 | 900 | 880-920 |
| 7.5 | 0.98 | 900 | 885-925 |
| 8 | 0.96 | 910 | 890-930 |
| 9 | 0.92 | 920 | 900-940 |

| | | | |
|----|------|-----|---------|
| 10 | 0.9 | 920 | 905-945 |
| 11 | 0.88 | 930 | 910-950 |
| 12 | 0.87 | 930 | 918-958 |
| 13 | 0.86 | 940 | 920-960 |
| 14 | 0.85 | 940 | 925-965 |
| 15 | 0.84 | 950 | 930-970 |

Dari hasil yang didapat pergeseran frekuensi kerja filter sudah menunjukkan hasil yang baik terhadap parameter S(1,1) dan S(2,1) sesuai spesifikasi yang diinginkan yaitu untuk parameter S(1,1) ≤ -10 dB sedangkan untuk S(2,1) ≥ -5 dB pada setiap pergeseran yang terjadi, akan tetapi dilihat dari bentuk responnya sendiri masih perlu dilakukan perbaikan.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi diatas dapat disimpulkan bahwa ketika kita menambah besar tegangan maka besar kapasitansi dari dioda varaktor akan menurun sehingga mempengaruhi dari panjang resonator, hal ini yang menyebabkan terjadi pergeseran terhadap frekuensi tengah dan bandwidth. Dari hasil yang didapat pergeseran sudah menunjukkan hasil yang baik terhadap parameter S(1,1) dan S(2,1), yaitu untuk parameter S(1,1) atau *return loss* yang didapat ≤ -10 dB, dan untuk parameter S(2,1) atau *Insertion loss* ≥ -5 dB, pada rentang frekuensi 680 Mhz sampai dengan 950 MHz. akan tetapi masih perlu dilakukan perbaikan pada bentuk respon filter.

Daftar Pustaka

- [1] Pozar, David M. "Microwave Engineering. Fourth Edition. John Wiley & Son, Inc. United States.2012
- [2] Davis, Alan W.; Agarwal, Krishna, 2001, Radio Frequency Circuit Design, New York, John Wiley & Sons. Inc
- [3] Hong, Jia-Sheng; Lancaster, M.J., 2001, Microstrip Filter For RF/Microweave aplications, New York, John Wiley & Sons.Inc.
- [4] Andrew R Brown and Gabriel M. Rebeiz, "A Varactor-Tuned RF Filter," in IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol 48, No 7, July 2000.