

Analisa Elemen *Multi Arms* Pada Filter *Band Pass* Mikrostrip Menggunakan Resonator *Open Loop* Pada *Extremely High Frequency*

Elementary Analysis Multi Arms Filter Band Pass Microstrip Using the Open Resonator at Extremely High Frequency

Difa Dwi Juliantara Sukmawan, M. Reza Hidayat

Program Studi Teknik Elektro

Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI)

Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

Email : mreza@lecture.unjani.ac.id

Abstrak – Penggunaan filter *bandpass* memang sudah umum dipakai namun penggunaan spesifikasinya berbeda-beda tergantung kebutuhan, dalam hal ini filter *bandpass* mikrostrip diharapkan dapat mengamati karakteristik *multiarms* pada resonator *open loop* terhadap kinerja *bandpass filter* untuk frekuensi EHF yang digunakan di bagian pemancar untuk aplikasi Radio Astronomy. Bertujuan untuk mengamati karakteristik *multi arms* pada resonator *open loop* terhadap kinerja *bandpass filter* untuk *Extremely High Frequency* (EHF) dan merealisasikan filter ke bentuk *hardware* berdasarkan hasil pengamatan dari simulasi. Perancangan mikrostrip *bandpass filter* ini menggunakan desain *multiarms open loop resonator* dimana di awal tahap simulasi menggunakan 1 lengan saja dengan ukuran lebar *patch*, jarak antar lengan, lebar jalur *feeder* dan panjang *patch* berdasarkan eksperimen acak. Hasil simulasi akhir didapatkan dengan jarak konektor 2 mm dan jarak antar lengan 1 mm dengan nilai $S_{11} = -13,8$ dB dan $S_{21} = -2,8$ dB di frekuensi 30,8 GHz berdasarkan hasil simulasinya. Filter telah berhasil difabrikasi namun belum dapat diukur karena frekuensinya yang terlampaui tinggi dan alat ukur tidak dapat mengukur frekuensi tersebut.

Kata kunci: *bandpass filter, multiarms open loop resonator, microstrip filter.*

Abstract - The use of bandpass filters is already commonly used but the specifications configuration varies depending on the need, in this case microstrip bandpass filters are expected to observe the characteristics of multiarms in open loop resonators to the performance of bandpass filters for EHF frequencies is used in the transmitter section for Radio Astronomy applications. Aim to observe the characteristics of multi arms on an open loop resonator against kinerja bandpass filter for Extremely High Frequency (EHF) and realign the filter to a hardware form based on the results of observations from the simulation. The design of this filter bandpass microstrip uses a multiarms open loop resonator design where early in the simulation stage uses 1 arm only with patch width size, distance between arms, feeder path width and patch length based on randomized experiments. The final simulation result is obtained with a connector distance of 2 mm and an inter-arm distance of 1 mm with a value of $S_{11} = -13.8$ dB and $S_{21} = -2.8$ dB in a frequency of 30.8 GHz based on the simulation results. The filter has been successfully fabricated but cannot yet be measured because its past frequency is high and the measuring instrument incapable of measuring that frequency.

Keyword: *bandpass filter, multiarms open loop resonator, microstrip filter.*

I. PENDAHULUAN

Filter merupakan salah satu komponen yang berperan penting dalam sistem komunikasi saat ini. Sistem telekomunikasi bekerja pada rentang frekuensi tertentu. Filter berfungsi untuk

melewatkan sinyal informasi yang berada pada wilayah frekuensi kerja yang dikehendaki. Maka filter ini dibutuhkan pergeseran frekuensi yang didapatkan nilai return loss (S_{11}) berada di < -10 dB dan nilai insertion loss (S_{21}) berada di > -3 dB [1].

Berdasarkan perkembangan riset, penelitian tentang hal ini telah dilakukan sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Intan Nuraeni Agfah ini merancang dan merealisasikan sebuah band-pass filter yang bekerja pada frekuensi x-band, menggunakan metode square ring resonator with edge coupled to I/O line berbasis mikrostrip agar dapat memiliki bandwidth frekuensi sebesar 50 MHz pada frekuensi tengah 9.475 GHz [2]. Penelitian yang dilakukan oleh Naufal Rizki Rinditayoga menggunakan metode square open-loop resonator pada filter mikrostrip dapat memperlebar bandwidth filter yang berkerja pada frekuensi 7,1 - 7,7 GHz [3]. Penelitian yang dilakukan oleh Saffrine Kingsly yaitu filter yang diusulkan sepenuhnya beradaptasi dalam kisaran frekuensi 2 - 3 GHz dimana bandwidth dan frekuensi operasi filter dapat dikontrol sepenuhnya [4]. Penelitian yang dilakukan oleh A. Venkata Varunbabu Mannam dengan desain compact microwave filter di bawah 3 GHz tetap merupakan area penelitian aktif karena permintaan yang besar dari industri komunikasi nirkabel dalam band ini dan ukuran fisik yang relative besar dari resonator konvensional [5]. Penelitian yang dilakukan oleh Vahid Salimian Rizi menyajikan kerangka open loop resonator berdasarkan triple passband filter [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Wiwid Andriani ini dilakukan penapisan (filtering) terhadap sinyal suara asli gitar yang telah tercampur derau (noise) menggunakan metode band pass filter [7]. Penelitian yang dilakukan oleh Triprijooetomo ini bekerja pada frekuensi 1,78 GHz sampai dengan 3,38 GHz dengan nilai return loss minimal sebesar -42,2 dB serta nilai insertion loss lebih besar dari -3 dB. Dipergunakan untuk perangkat komunikasi nirkabel pita lebar [8]. Penelitian yang dilakukan oleh Izzan Radhi Mafazi diperoleh realisasi dari filter MLR dan DGS dengan menggunakan duroid 4003C dan permitivitas dielektrik 3,55 didapat frekuensi tengah dari filter berada pada frekuensi 5,76 GHz dengan bandwidth sebesar 94 MHz berada pada rentang frekuensi 5,71 GHz - 5,80 GHz [9].

Tujuan melakukan penelitian ini adalah mengamati karakteristik multiarms pada resonator open loop terhadap kinerja bandpass filter untuk frekuensi EHF yang digunakan di bagian pemancar untuk aplikasi Radio Astronomy dan merealisasikan filter ke bentuk hardware berdasarkan hasil pengamatan dari simulasi.

II. METODOLOGI

A. Parameter S

- *Return Loss* (S_{11})

Nilai *return loss* yang ideal adalah -10 dB pada bandwidth yang diinginkan. Nilai -10 dB menjelaskan bahwa nilai daya yang dikirim maksimum dan daya yang direfleksikan minimum. Berikut adalah perhitungan *return loss* (S_{11}) yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (1)$$

- *Insertion Loss* (S_{21})

Insertion Loss adalah kehilangan daya karena penyisipan perangkat antara sumber dan beban. Filter yang memiliki nilai kerugian penyisipan mendekati nol dikatakan bahwa filter tersebut selamat bekerja. Berikut adalah perhitungan *insertion loss* (S_{21}) yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$IL = 10 \log P_{LR} (dB) \quad (2)$$

Titik referensi -3 dB dapat diartikan bahwa setengah dari kekuatan itu filter yang diterima dapat dikirim dengan baik [10].

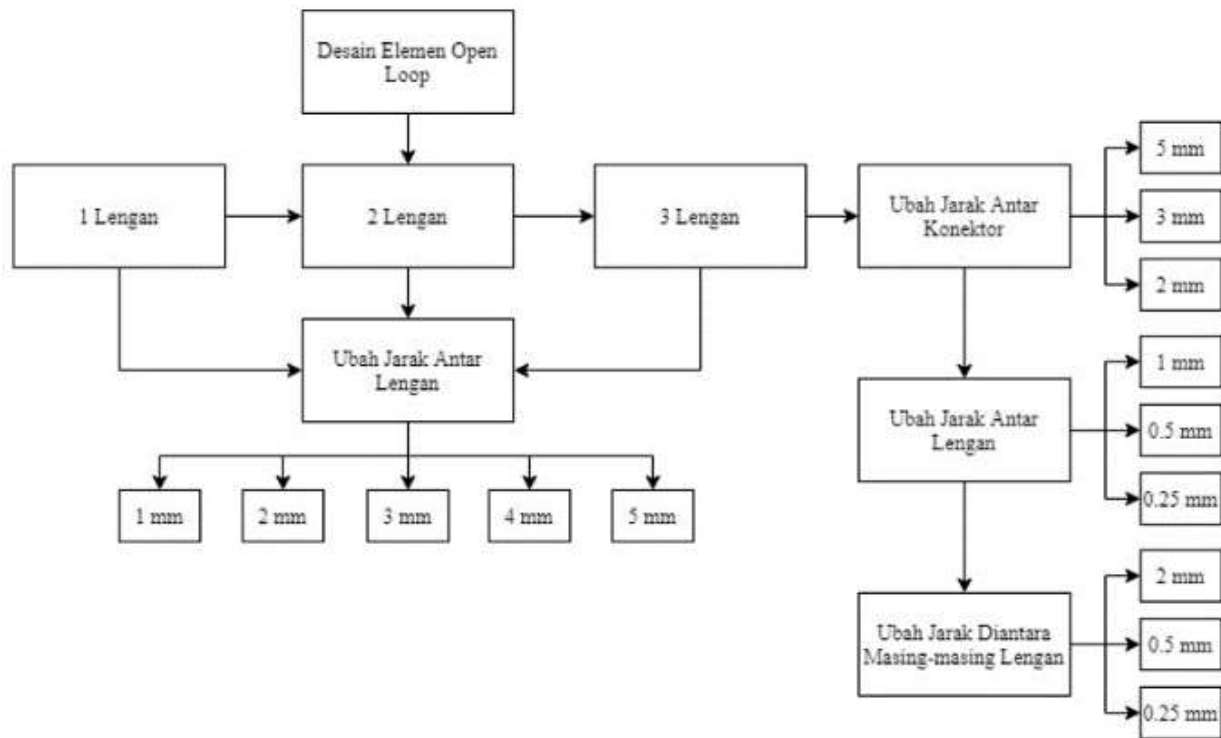
B. Perancangan

Dalam pengerjaan penelitian ini meliputi beberapa tahap pengerjaan dengan memperhatikan beberapa keluaran yang diharapkan. Diagram blok perancangan filter penelitian ini dapat dilihat di **Gambar 1**.

Dari **Gambar 1** adalah tahapan pengamatan karakteristik dari *multiarms* pada resonator *open loop*, dimana diawal dilakukan pengamatan pengaruh dari jarak antar lengan untuk 1 lengan dengan mengubah jarak dari 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Kemudian dilakukan pengamatan pengaruh dari jarak antar lengan untuk 2 lengan dengan mengubah jarak dari 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Setelah itu dilakukan pengamatan pengaruh dari jarak antar lengan untuk 3 lengan dengan mengubah jarak dari 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Lalu setelah itu pada pengamatan 3 lengan kemudian diubah jarak antar konektor yang sebelum jaraknya adalah 5 mm kemudian diubah menjadi 1 mm, 0,5 mm dan 0,25 mm untuk melihat hasil yang paling baik untuk jarak antar konektornya. Setelah mendapatkan jarak antar konektor yang paling baik maka dilakukan lagi pengamatan

mengubah jarak antar lengan yang menggunakan 3 lengan dimana di ubah dari jarak 1 mm, 0,5 mm dan 0,25 mm. Tahap akhir adalah melihat

pengaruh perubahan jarak antar lengan kemudian diamati juga pengaruh jarak diantara masing-masing lengan yaitu 1 mm, 0,5 mm dan 0,25 mm.



Gambar 1. Diagram Blok Tahapan Perancangan Filter

C. Dimensi Resonator

Pada perancangan awal terdapat persamaan dalam saluran transmisi yang meliputi:

1) Lebar saluran transmisi (W)

Untuk dapat menentukan lebar dari saluran transmisi mikrostrip, dapat digunakan persamaan (3) dan (4) berikut:

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (3)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r+1}{2} \right]^{0.5} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left[0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right] \quad (4)$$

$$\epsilon_r = 4,3$$

2) Permittivitas bahan dielektrik efektif (ϵ_{reff})

Untuk mencari nilai permitivitas bahan dielektrik efektif dari bahan substrat, dapat digunakan persamaan (5) dan (6) berikut:

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(1 + \frac{10}{u} \right)^{-a,b} \quad (5)$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{u^4 + \left(\frac{u}{52} \right)^2}{u^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18,7} \ln \left[1 + \left(\frac{u}{18,1} \right)^3 \right] \quad (6)$$

3) Panjang gelombang (λ_g)

Untuk menentukan λ_g dalam saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan (7) berikut:

$$\lambda_g = \frac{300}{f_{resonansi}(GHz) \sqrt{\epsilon_{r,eff}}} \quad (7)$$

4) Panjang resonator (a)

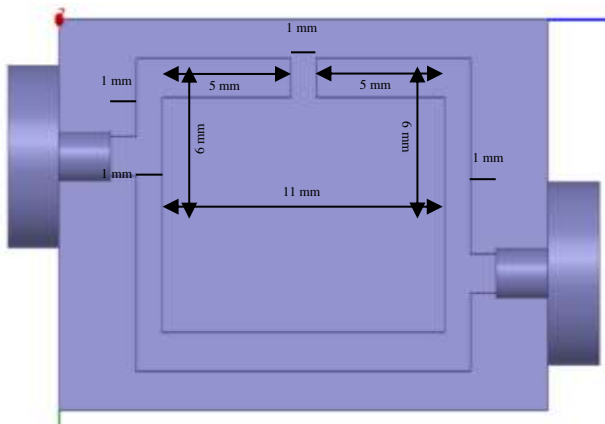
Untuk menentukan Panjang resonator (a) pada saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan (8) berikut [10]:

$$a = \frac{\frac{1}{2}\lambda_g + gap}{4} + w \quad (8)$$

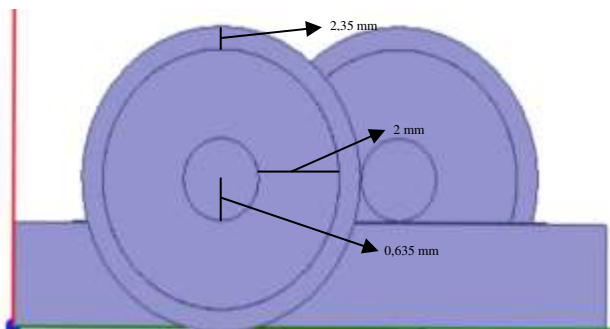
Berdasarkan hasil perhitungan matematis dari dimensi untuk lebih jelasnya masing-masing ukuran bisa dilihat di **Gambar 2** berikut. Di **Gambar 2**, terlihat menampilkan desain *patch filter* bagian atas, dengan ukuran antar lengannya 1 mm, panjang masing-masing antar lengan 5 mm, lebar masing-masing patch 6 mm, panjang patch 11 mm. Sedangkan pada bagian antar konektor 15 mm. **Gambar 3** menunjukkan desain konektor SMA (Sub Miniature version A) 50 Ohm pada tampak samping filter yang menunjukkan ukuran 2,35 mm untuk diameter

jaket, 2mm untuk diameter dielektrik, dan 0,635 mm untuk diameter konduktor dalam.

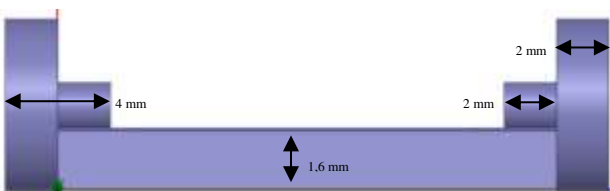
Gambar 4 menunjukan desain tampak samping bawah pada bagian filter yang menunjukan panjang konektor dalam dengan ukuran 4 mm, bagian konektor yang masuk ke *feeder* adalah 2 mm dan yang menunjukan panjang jaket dan dielektrik adalah 2 mm. Kemudian untuk ketebalan substrat 1,6 mm.



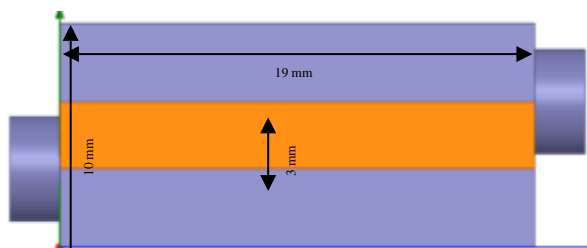
Gambar 2. Tampilan Atas Pada Filter



Gambar 3. Tampilan Samping Pada Filter



Gambar 4. Tampilan Samping Bawah Pada Filter



Gambar 5. Tampilan *Ground Plane* Pada Filter

D. Perlangkapan Yang Digunakan Pada Penelitian

Software yang digunakan dalam perancangan filter, terdiri dari *software* HFSS (Honeywell Fire Software Suite) untuk melakukan simulasi. sedangkan *hardware* yang digunakan dalam pembuatan filter, terdiri dari substrat FR4-epoxy dengan tebal bahan 1,6 mm dan konektor SMA 2 buah dengan impedansi karakteristik 50 Ohm.

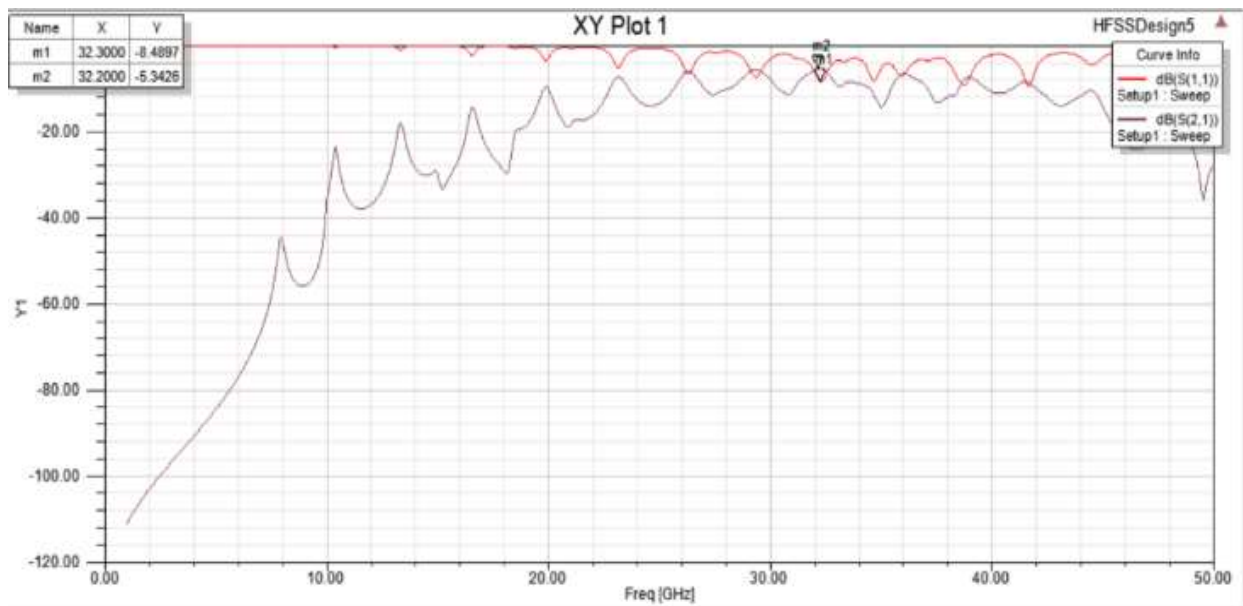
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Respon *Band Pass Filter* Menggunakan Single Arm

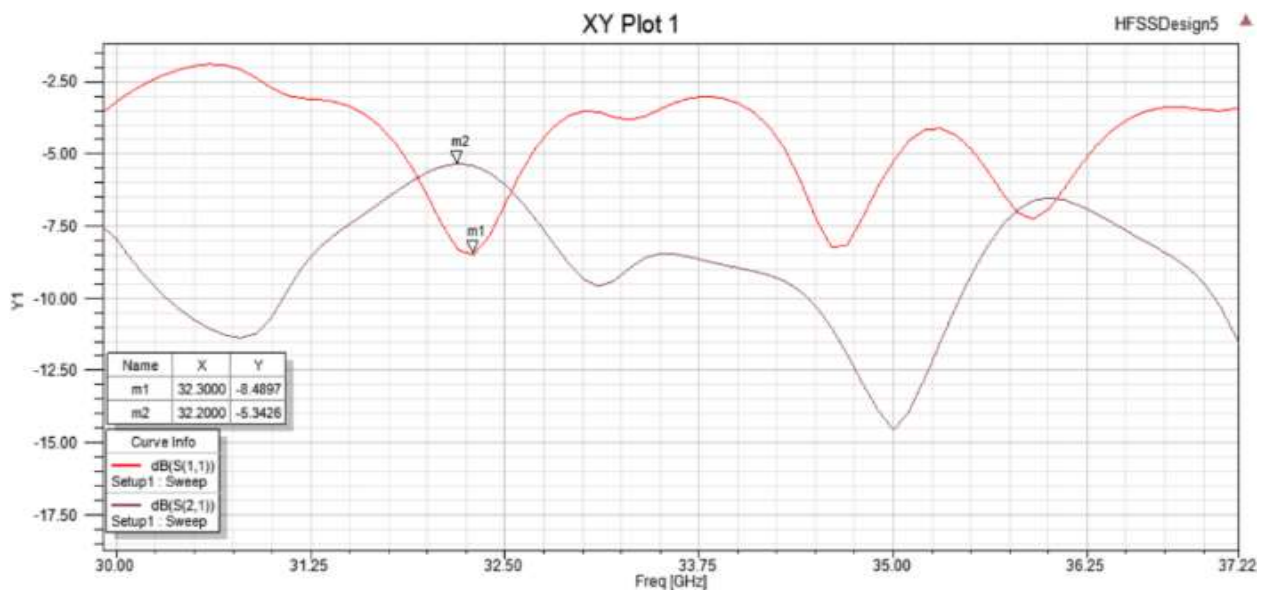
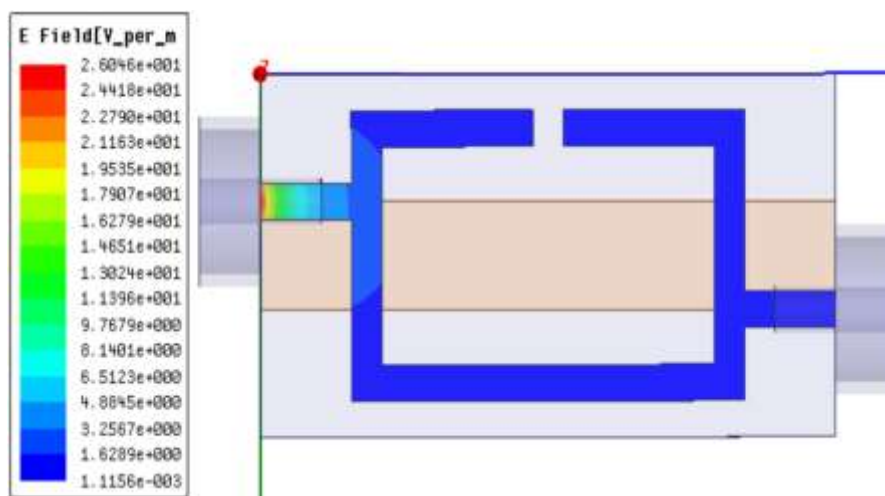
Hasil pengamatan dari mengubah jarak antar lengan untuk 1 lengan bahwa hampir tidak terjadi perubahan frekuensi (hanya berubah sekitar 0,1 GHz) adapun nilai *Return Loss* (S_{11}) yang terendah yaitu di jarak 2 mm dan *Insertion Loss* (S_{21}) yang tertinggi yaitu di jarak 1 mm bisa dilihat di **Gambar 6**. Dari **Gambar 7** dapat dilihat bahwa nilai S_{11} dan S_{21} pada $m1 = -8,5$ dB dan $m2 = -5,3$ dB di frekuensi 32,3 GHz. Sedangkan di **Gambar 8** dapat dilihat bahwa *ploting magnitude* pada resonator itu kondisi yang paling baik adalah berada di sekitar konektor input yaitu $2,60462e+001$ V/m.

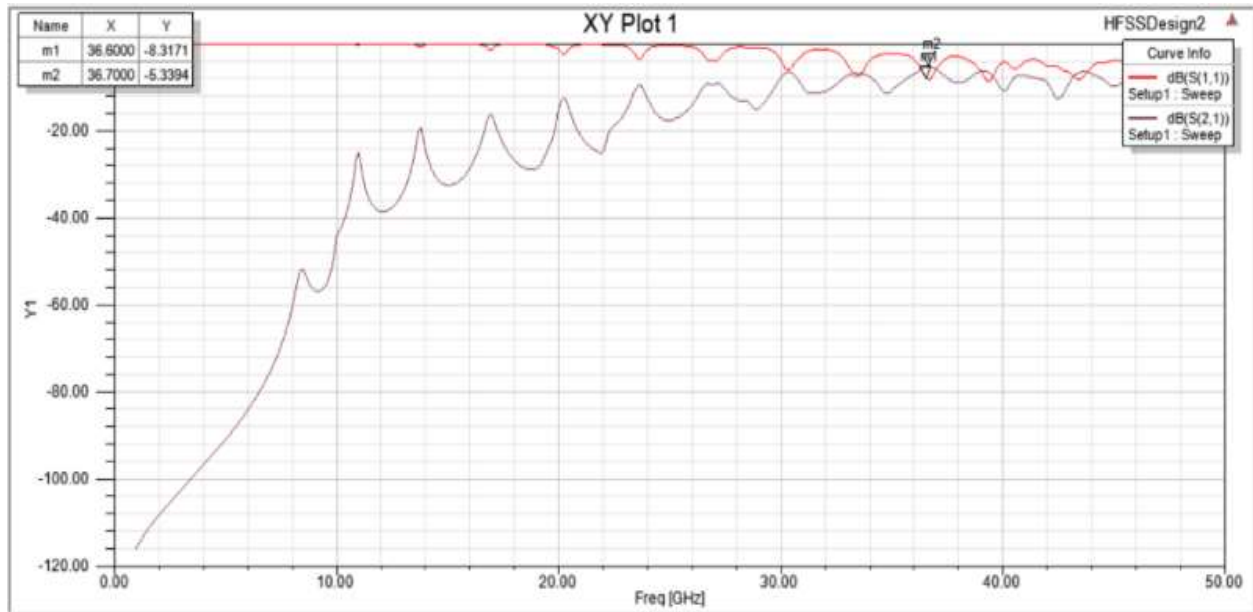
B. Hasil Simulasi Respon *Band Pass Filter* Menggunakan Double Arms

Hasil pengamatan dari mengubah jarak antar lengan untuk 2 lengan bahwa hampir tidak terjadi perubahan frekuensi (hanya berubah sekitar 0,1 GHz) adapun nilai *Return Loss* (S_{11}) yang terendah yaitu di jarak 2 mm dan *Insertion Loss* (S_{21}) yang tertinggi yaitu di jarak 4 mm bisa dilihat di **Gambar 9**. Dari **Gambar 10** dapat dilihat bahwa nilai S_{11} dan S_{21} pada $m1 = -8,3$ dB dan $m2 = -5,3$ dB di frekuensi 36,7 GHz. Sedangkan di **Gambar 11** dapat dilihat bahwa *ploting magnitude* pada resonator itu kondisi yang paling baik adalah berada di sekitar konektor input yaitu $1,2510e+001$ V/m.

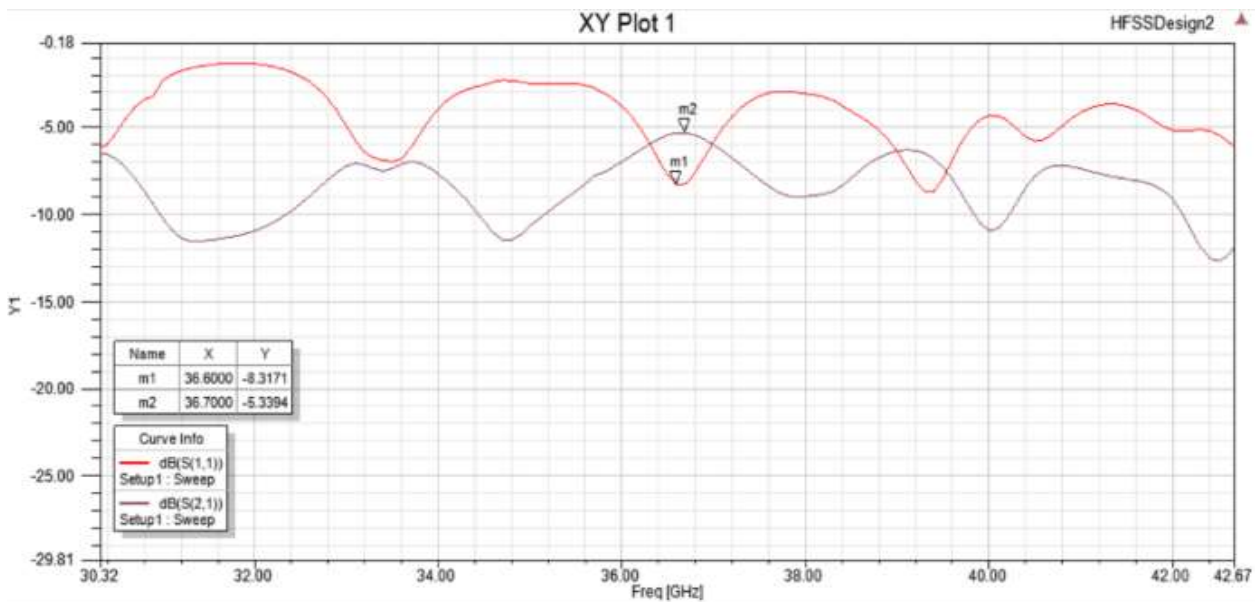
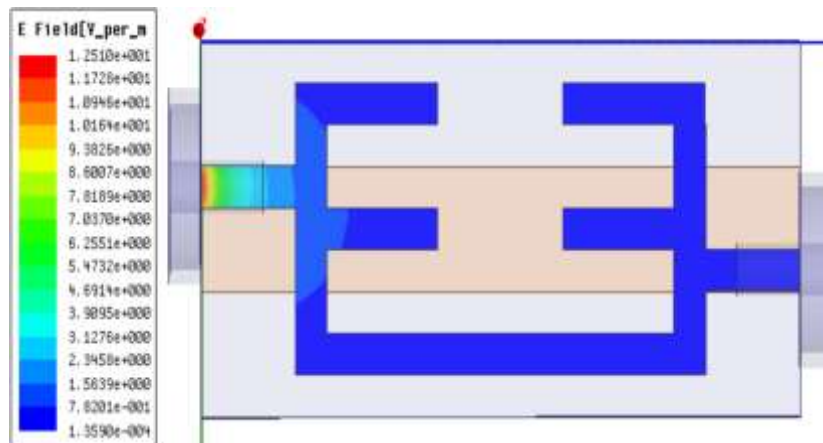


Gambar 6. Hasil Simulasi Resonator Pada 1 mm (Single Arm)

Gambar 7. Frekuensi Resonator Pada Grafik Parameter S_{11} dan S_{21} di 1 mm (Single Arm)Gambar 8. Tampilan *Magnitude* Pada Bentuk Filter di 1 mm (Single Arm)



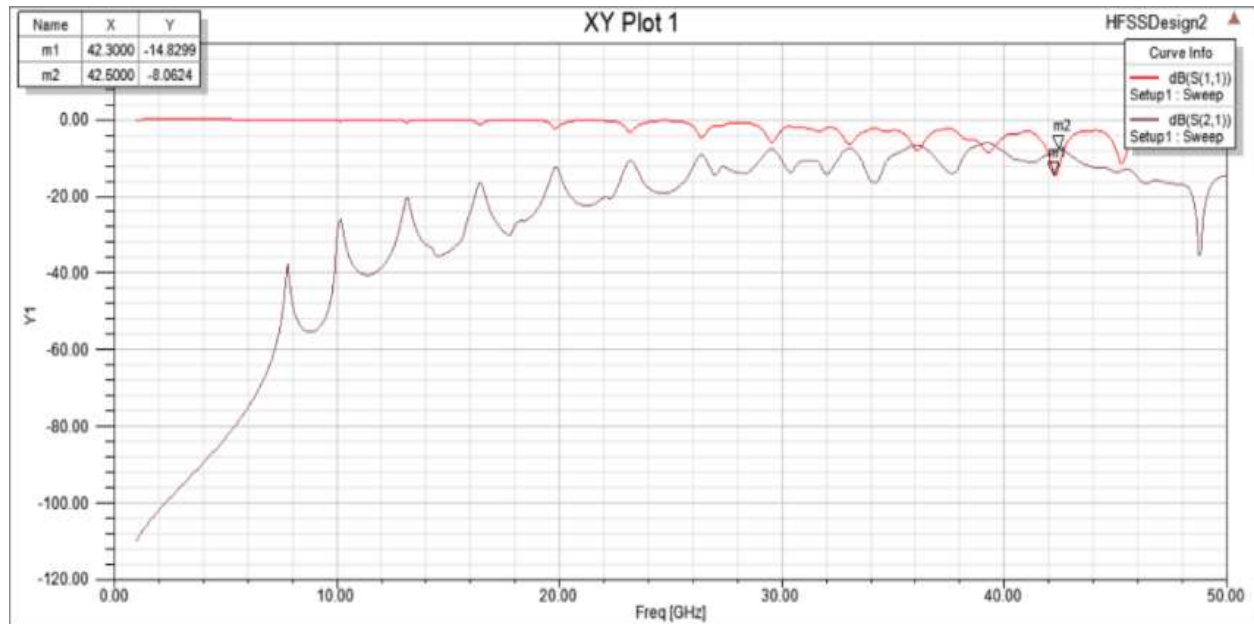
Gambar 9. Hasil Simulasi Resonator Pada 4 mm (Double Arms)

Gambar 10. Frekuensi Resonator Pada Grafik Parameter S_{11} dan S_{21} di 4 mm (Double Arms)Gambar 11. Tampilan *Magnitude* Pada Bentuk Filter di 4 mm (Double Arms)

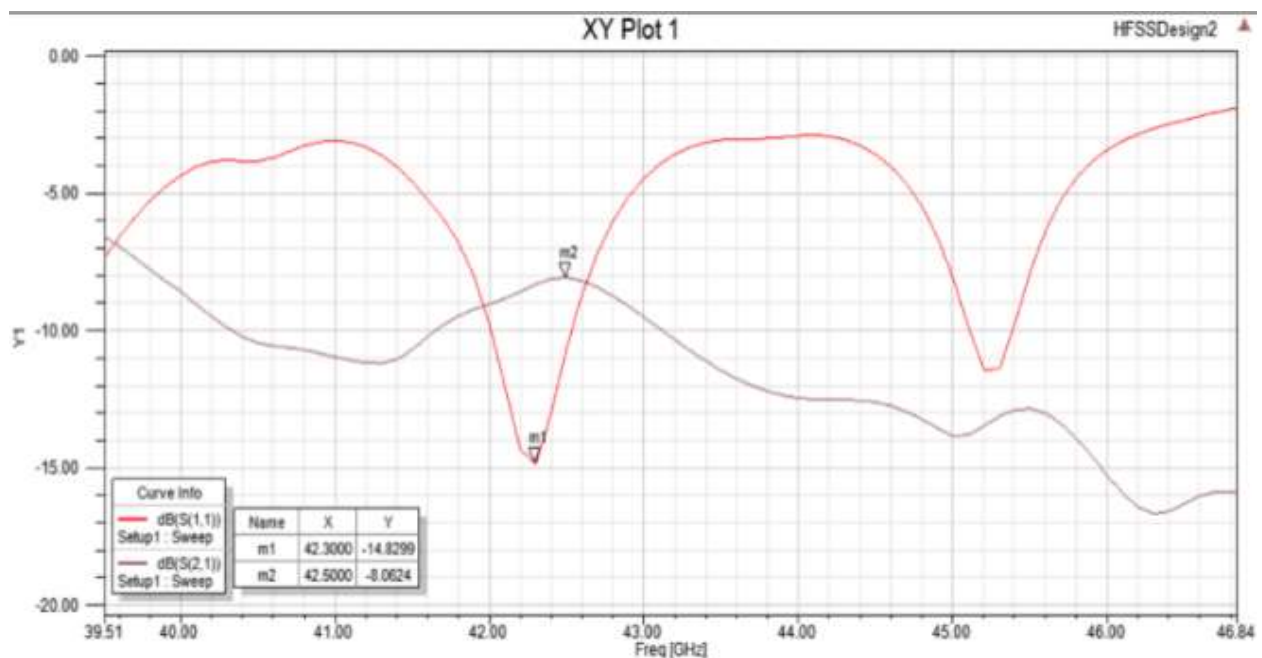
C. Hasil Simulasi Respon *Band Pass Filter* Menggunakan Multi Arms

Hasil pengamatan dari mengubah jarak antar lengan untuk 3 lengan bahwa hampir tidak terjadi perubahan frekuensi (hanya berubah sekitar 0,2 GHz) adapun nilai *Return Loss* (S_{11}) yang terendah yaitu di jarak 5 mm dan *Insertion Loss* (S_{21}) yang

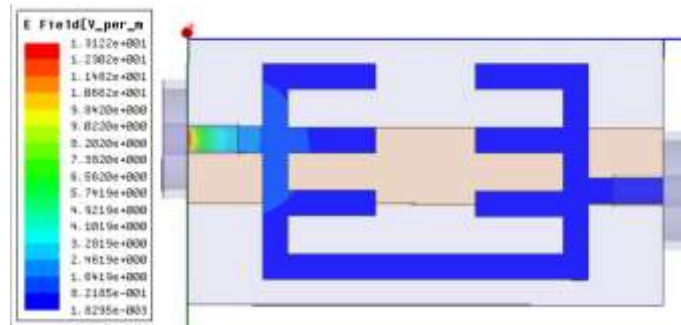
tertinggi yaitu di 4 mm bisa dilihat di **Gambar 12** berikut. Dari **Gambar 13** dapat dilihat bahwa nilai S_{11} dan S_{21} pada $m1 = -14,8$ dB dan $m2 = -8$ dB di frekuensi 42,5 GHz. Sedangkan di **Gambar 14** dapat dilihat bahwa *ploting magnitude* pada resonator itu kondisi yang paling baik adalah berada di sekitar konektor input yaitu $1,3122e+001$ V/m.



Gambar 12. Hasil Simulasi Resonator Pada 4 mm (Multi Arms)



Gambar 13. Frekuensi Resonator Pada Grafik Parameter S_{11} dan S_{21} di 4 mm (Multi Arms)

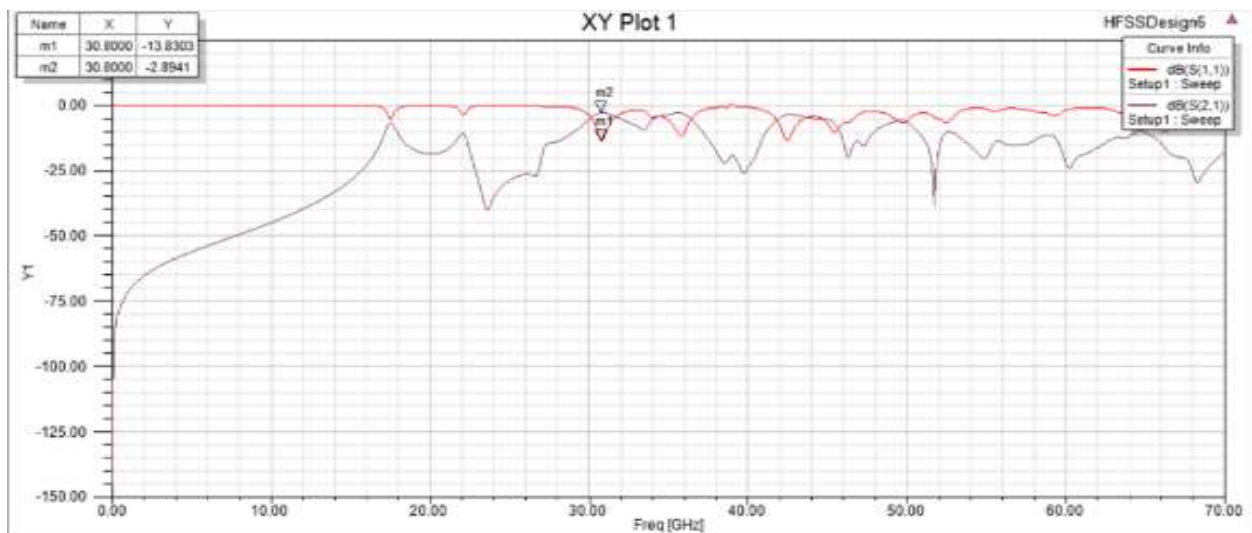


Gambar 14. Tampilan Magnitude Pada Bentuk Filter di 4 mm (Multi Arms)

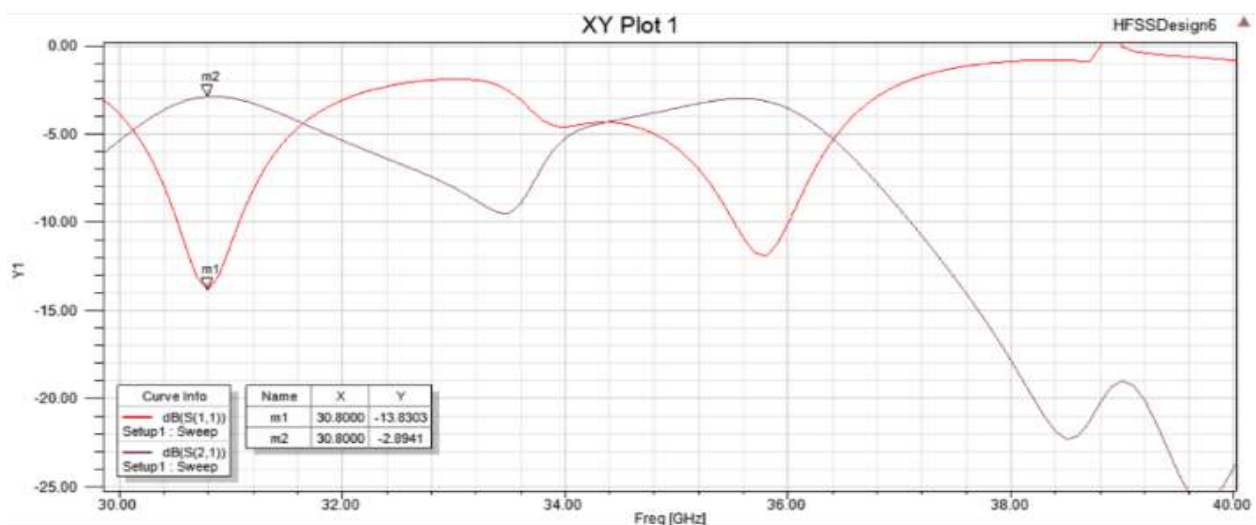
D. Hasil Simulasi Respon *Band Pass Filter* Pada Pengaruh Perubahan Jarak Antar Konektor *Multi Arms Resonator Open Loop*

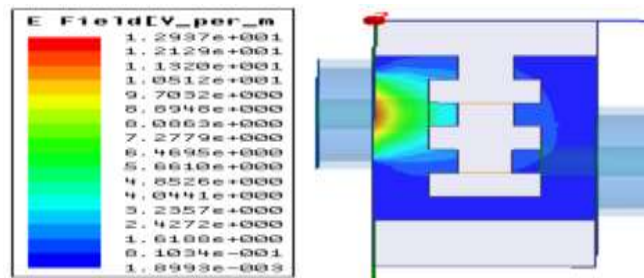
Berdasarkan hasil pengamatan perubahan konektor ternyata makin dekat maka respon filter nya makin baik hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai *Insertion Loss* (S_{21}), dimana

nilai S_{21} terbaik ada di jarak 2 mm yaitu sebesar -2,8 dB bisa dilihat di **Gambar 15**. Dari **Gambar 16** dapat dilihat bahwa nilai S_{11} dan S_{21} pada $m1 = -13,8$ dB dan $m2 = -2,8$ dB di frekuensi 30,8 GHz. Di **Gambar 17** dapat dilihat bahwa *plotting magnitude* pada resonator itu kondisi yang paling baik adalah berada di sekitar konektor input yaitu $1,2937e+001$ $\sqrt{m}$.



Gambar 15. Hasil Simulasi Resonator Pada 2 mm

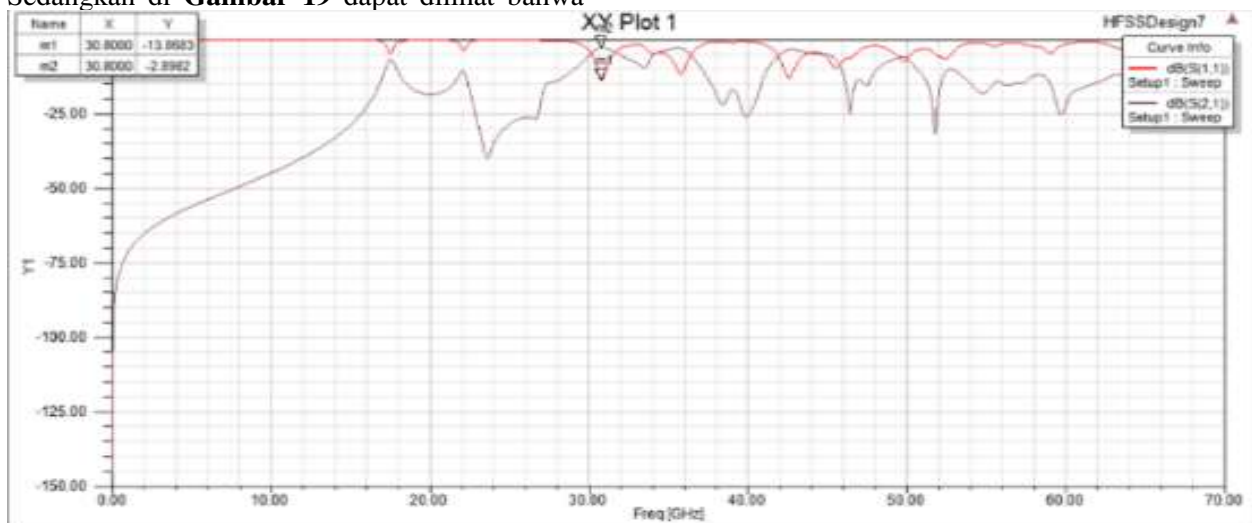
Gambar 16. Frekuensi Resonator Pada Grafik Parameter S_{11} dan S_{21} di 2 mm

Gambar 17. Tampilan *Magnitude* Pada Bentuk Filter di 2 mm

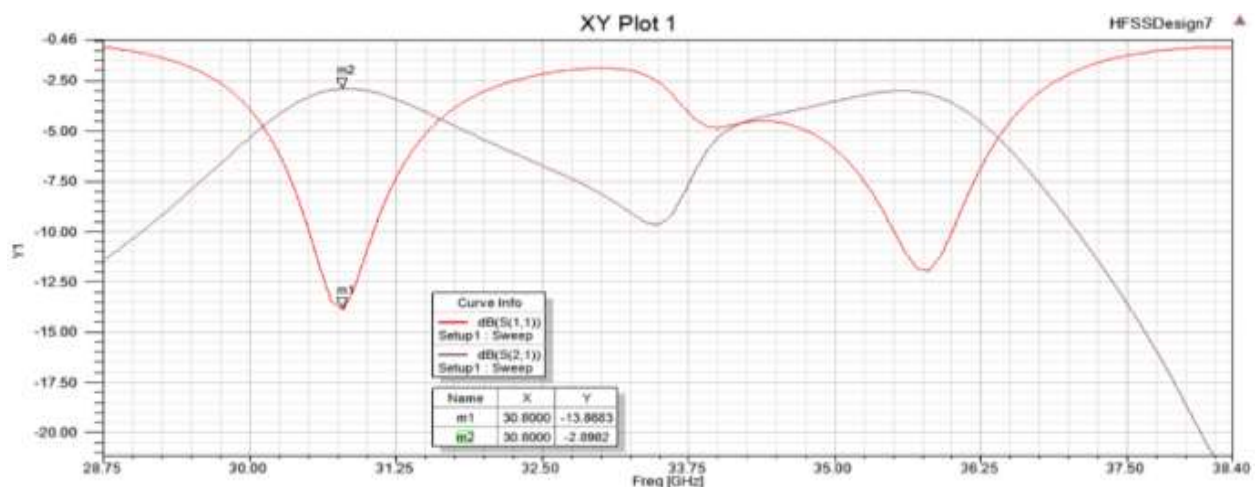
E. Hasil Simulasi Respon *Band Pass Filter* Pada Pengaruh Perubahan Jarak Antar Lengan *Multi Arms Resonator Open Loop* Dengan Jarak Antar Konektor 2 mm

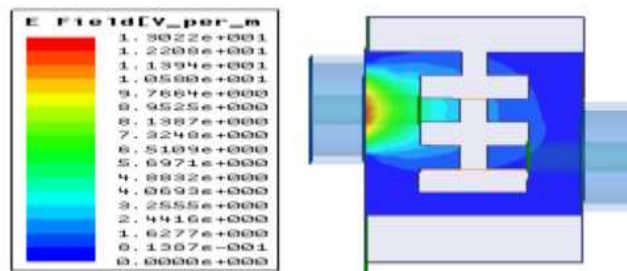
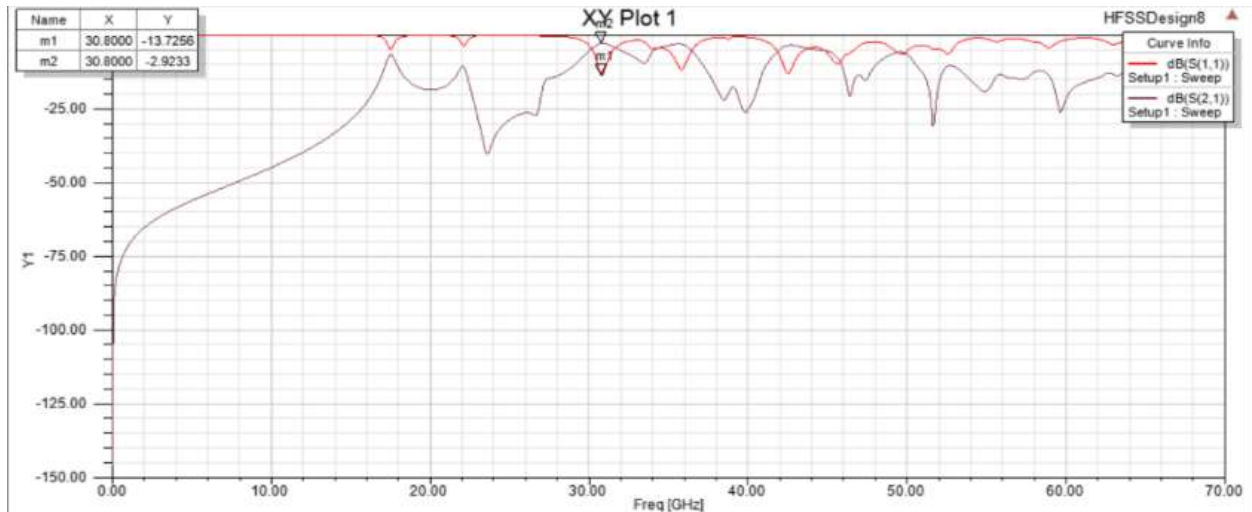
Hasil pengamatan dari mengubah jarak antar lengan untuk 3 lengan dengan jarak antar konektor 2 mm bahwa tidak terjadi perubahan frekuensi maka nilai *Return Loss* (S_{11}) dan *Insertion Loss* (S_{21}) berada di frekuensi yang sama bisa dilihat di **Gambar 18** dan **Gambar 21**. Sedangkan di **Gambar 19** dapat dilihat bahwa

nilai S_{11} dan S_{21} pada $m1 = -13.8$ dB dan $m2 = -2.8$ dB di frekuensi 30.8 GHz. Di **Gambar 20** dilihat bahwa *ploting magnitude* pada resonator itu kondisi yang paling baik adalah berada di sekitar konektor input yaitu $1,3022e+001$ μ m. Dari **Gambar 22** dapat dilihat bahwa nilai S_{11} dan S_{21} pada $m1 = -13,7$ dB dan $m2 = -2,9$ dB di frekuensi 30,8 GHz. Di **Gambar 23** dapat dilihat bahwa *ploting magnitude* pada resonator itu kondisi yang paling baik adalah berada di sekitar konektor input yaitu $1,2885e+001$ μ m.

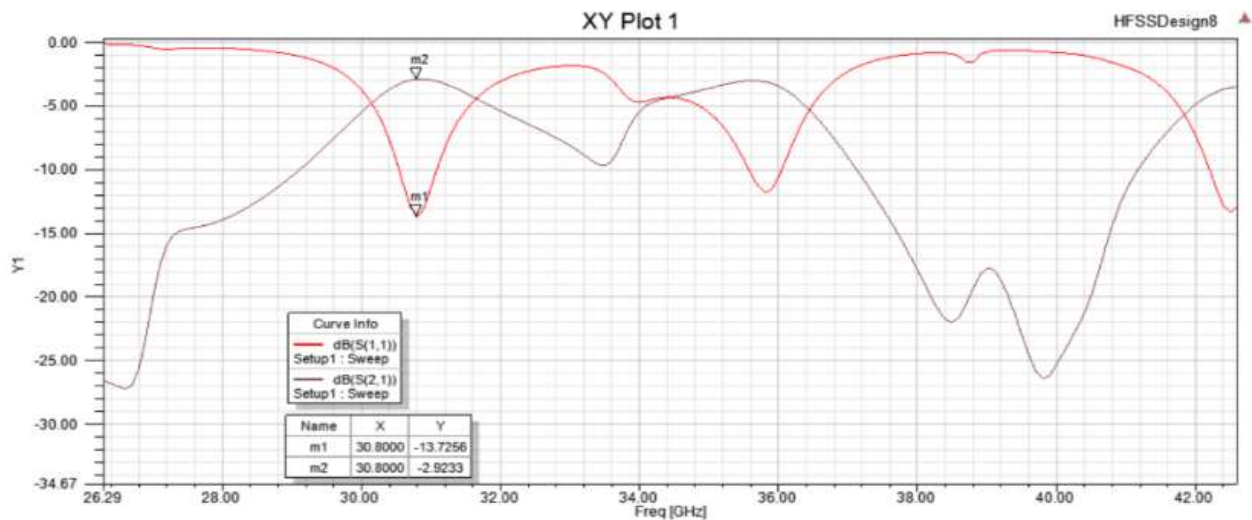
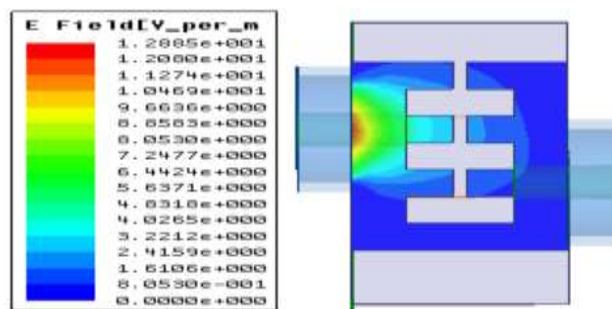


Gambar 18. Hasil Simulasi Resonator Pada 0,5 mm

Gambar 19. Frekuensi Resonator Pada Grafik Parameter S_{11} dan S_{21} di 0,5 mm

Gambar 20. Tampilan *Magnitude* Pada Bentuk Filter di 0,5 mm

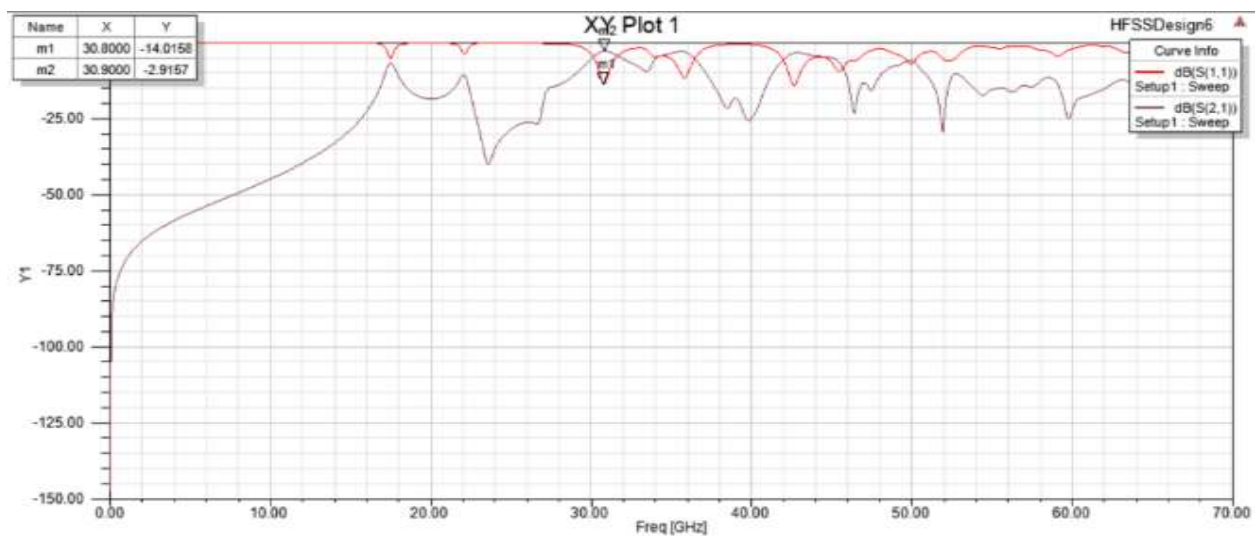
Gambar 21. Hasil Simulasi Resonator Pada 0,25 mm

Gambar 22. Frekuensi Resonator Pada Grafik Parameter S_{11} dan S_{21} di 0,25 mmGambar 23. Tampilan *Magnitude* Pada Bentuk Filter di 0,25 mm

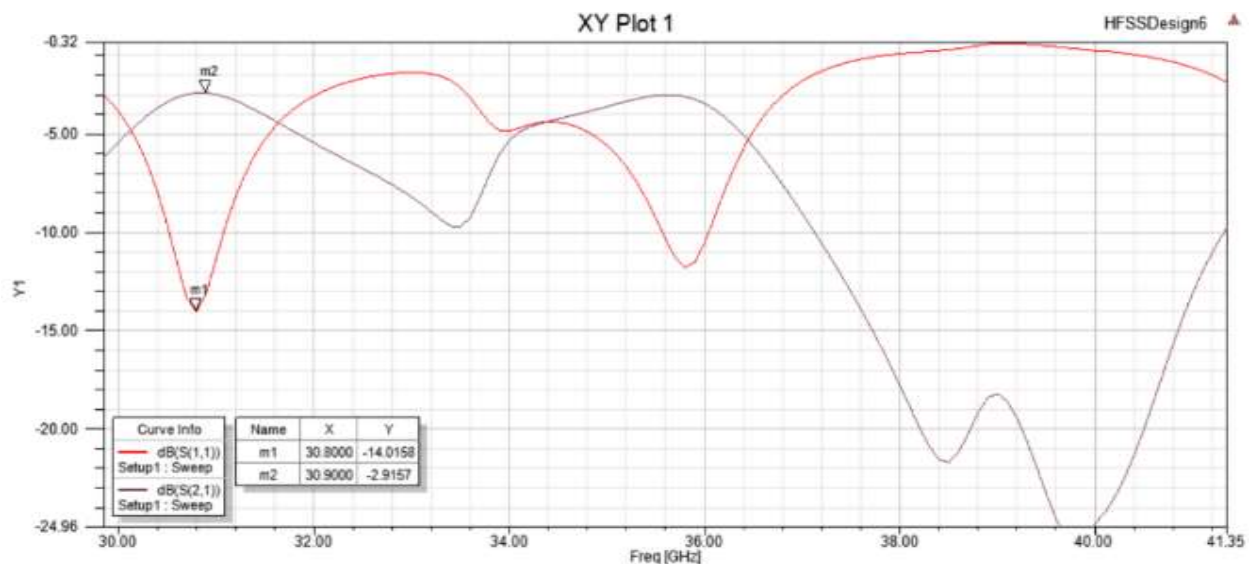
F. Hasil Simulasi Respon *Band Pass Filter* Pada Pengaruh Perubahan Jarak Antar Diantara Masing-masing Perubahan lengan *Multi Arms Resonator Open Loop* Dengan Jarak Antar Konektor 2 mm.

Hasil pengamatan dari mengubah jarak diantara masing-masing pasangan lengan untuk 3 lengan bahwa hampir tidak terjadi perubahan frekuensi

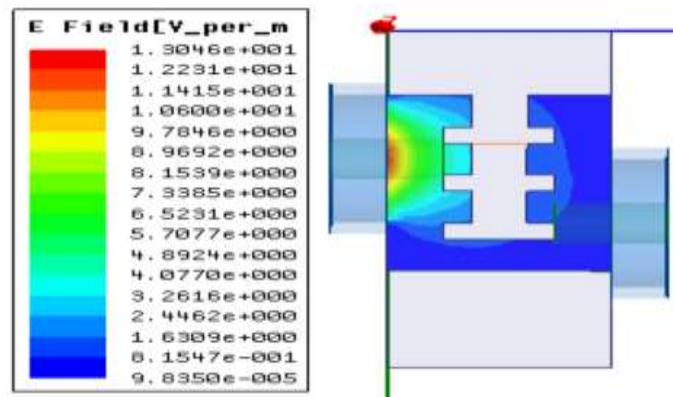
(hanya berubah sekitar 0,1 GHz) adapun nilai *Return Loss* (S_{11}) yang terendah yaitu di jarak 0,25 mm dan *Insertion Loss* (S_{21}) yang tertinggi yaitu di 0,5 mm bisa dilihat di **Gambar 24**. Dari **Gambar 25** dapat dilihat bahwa nilai S_{11} dan S_{21} pada $m1 = -14$ dB dan $m2 = -2,9$ dB di frekuensi 30,9 GHz. Di **Gambar 26** dapat dilihat bahwa *ploting magnitude* pada resonator itu kondisi yang paling baik adalah berada di sekitar konektor input yaitu $1,3046e+001$ V/m.



Gambar 24. Hasil Simulasi Resonator Pada 0,5 mm



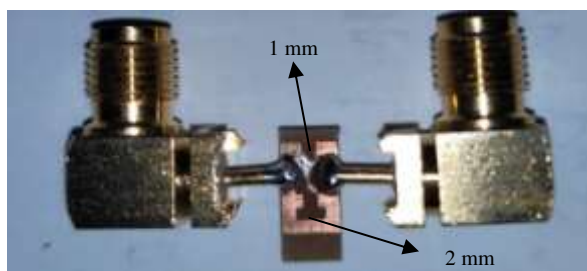
Gambar 25. Frekuensi Resonator Pada Grafik Parameter S_{11} dan S_{21} di 0,5 mm



Gambar 26. Tampilan *Magnitude* Pada Bentuk Filter di 0,5 mm

G. Hasil Fabrikasi Filter

Hasil fabrikasi filter *open loop resonator* menggunakan *multi arms* namun belum dapat diukur dikarenakan frekuensi nya yang terlampaui tinggi dan alat ukur tidak dapat mengukur frekuensi tersebut bisa dilihat di **Gambar 27** berikut.



Gambar 27. Hasil Fabrikasi Filter *Open Loop Resonator* Menggunakan *Multi Arms*

IV. KESIMPULAN

Dalam tahap simulasi hal yang paling berpengaruh dalam mendapatkan respon filter yang paling baik adalah dengan mengubah jarak antar konektor. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan *Insertion Loss* (S_{21}) dari jarak awal 15 mm di -5,3 dB menjadi jarak 2 mm di -2,8 dB berdasarkan hasil simulasi. Filter telah berhasil difabrikasi dengan jarak konektor 2 mm dan jarak antar lengan 1 mm, dimana nilai *Return Loss* (S_{11}) = -13,8 dB dan *Insertion Loss* (S_{21}) = -2,8 dB di frekuensi 30,8 GHz berdasarkan hasil simulasinya. Filter belum dapat diukur karena frekuensi nya yang terlampaui tinggi dan alat ukur tidak dapat mengukur frekuensi tersebut. Untuk kelanjutan penelitian ini bisa dilakukan pengukuran khusus nya menggunakan alat ukur

bekerja di frekuensi lebih besar dari 30 GHz. Penelitian ini juga bisa dikembangkan dengan menambah jumlah elemen *open loop* dan melihat seperti apa respon filter ketika menambah elemen *open loop* nya.

Daftar Pustaka

- [1] A. Y. Gracia Simatupang, T. Prakoso, and I. Santoso, "Perancangan Dualband Bandpass Filter dengan Metode Square Open Loop Resonator pada Frekuensi 2100 MHz," *Transmisi*, vol. 20, no. 3, p. 133, 2018, doi: 10.14710/transmisi.20.3.133-137.
- [2] I. N. Agfah, H. Wijanto, and B. Syihabuddin, "Bandpass Filter Mikrostrip X-Band Untuk Radar Cuaca Dengan Metode Square Ring Resonator X-Band Microstrip Bandpass Filter for Weather Radar With Square Ring Resonator Method," vol. 4, no. 2, pp. 1–7, 2017.
- [3] D. Teori, "Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Dengan Metode," vol. 7, no. 3, pp. 140–145, 2016.
- [4] S. Kingsly *et al.*, "Compact Frequency and Bandwidth Reconfigurable Microwave Filter," *Wirel. Pers. Commun.*, no. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07652-0.
- [5] A. V. Varunbabu Mannam and Y. R. Veeranki, "Design of narrowband band pass filter using open-loop square resonators with loading element," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 47, pp. 1–9, 2016, doi: 10.17485/ijst/2016/v9i47/102197.
- [6] Vahid salimian Rizi, "Ce Pte Us Pt," *Mater. Res. Express*, pp. 0–12, 2019.
- [7] A. R. AR and W. Andriani, "Filtering Sinyal Suara Gitar Menggunakan Band Pass Filter," *InfoTekJar (Jurnal Nas. Inform. dan Teknol. Jaringan)*, vol. 4, no. 1, pp. 57–60, 2019, doi: 10.30743/infotekjar.v4i1.1194.
- [8] T. Toto Supriyanto, "Perancangan Wideband Band Pass Filter (BPF) Dengan Metamaterial," *Sist. Kendali Tenaga Elektron. Telekomunikasi Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 18–23, 2015.
- [9] I. R. Mafazi, "Miniaturisasi Mikrostrip Band Pass Filter Untuk Aplikasi Radar C-Band Miniaturization of Band Pass Filter Microstrip for Radar C-Band Applications," vol. 5, no. 3, pp. 5138–5144, 2018.
- [10] F. Farida and E. Setijadi, "Perancangan Filter Bandpass dengan Teknik Penggabungan Filter Lowpass dan Highpass," *J. Sustain. J. Has. Penelit. dan Ind. Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 32–38, 2018, doi: 10.31629/sustainable.v7i1.436.