

RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* MIKROSTRIP *HAIRPIN* DENGAN *OPEN STUB* DAN *DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)* UNTUK FREKUENSI UMTS 3G (1920-1980 MHz)

Agus Setiawan, Tommi Hariyadi, Budi Mulyanti
Program Studi Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI
Jl. Dr. Setiabudhi No. 207 Bandung 40154
Email: setiawan.agus@student.upi.edu

Diterima : 13 Agustus 2014

Disetujui : 01 September 2014

Dipublikasikan : September 2014

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dirancang Band Pass Filter (BPF) dengan frekuensi tengah 1950 MHz. Disain BPF dilakukan pada saluran mikrostrip dengan open stub dan defected ground structure (DGS) menggunakan metode hairpin. Simulasi dilakukan dengan menggunakan CST Studio Suite 2012 pada substrat rogers RT5880 yang memiliki permitivitas relatif 2,2 dan ketebalan 1,58 mm. Hasil simulasi BPF menggunakan elemen chebyshev orde ke empat menunjukkan BPF memiliki bandwidth sempit dan terjadi sedikit peningkatan return loss. Sementara itu, hasil simulasi BPF yaitu frekuensi kerja 1918-1979 MHz, insertion loss -1,3 dB, return loss -10,82 dB, impedansi karakteristik 50,3 ohm, dan bandwidth 61 MHz. Sedangkan hasil pengukuran menunjukkan bahwa frekuensi kerja 1926-1986 MHz, insertion loss -1,7 dB, return loss -19 dB, VSWR 1,28, dan bandwidth 60 MHz.

Kata kunci: bandpass filter, defected ground structure, hairpin, open stub, saluran mikrostrip.

ABSTRACT

In this paper, band pass filter (BPF) with center frequency 1950 MHz was designed. The designed of BPF on microstrip line with open stub and defected ground structure (DGS) was done using hairpin method. The simulation was carried out using CST Studio Suite 2012 on rogers RT5880 substrate with 2.2 and 1.58 mm of relative permittivity and substrate thickness, respectively. The results of BPF simulation using the fourth order of chebyshev element show that BPF has narrow-bandwidth and the return loss was slightly improved. Meanwhile the results of BPF simulation are 1918-1979 Mhz, -1.3 dB, -10.82 dB, 50.3 ohm, and 61 Mhz of frequency range, insertion loss, return loss, characteristic impedance, and bandwidth, respectively. While the result of BPF measurement show that the specification of BPF are 1926-1986 MHz, -1.7 dB, -19 dB, 1.28 and 60MHz of frequency range, insertion loss, return loss, VSWR, and bandwidth, respectively

Keywords: bandpass filter, defected ground structure, hairpin, microstrip line, open stub.

PENDAHULUAN

Spektrum frekuensi *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) dialokasikan untuk penyelenggaraan telekomunikasi bergerak seluler. Frekuensi yang digunakan terdiri dari frekuensi *uplink* menempati 1920-1980 MHz, dan *downlink* menempati 2110-2160 MHz. Dengan adanya interferensi yang terjadi pada pita frekuensi UMTS akibat emisi yang ditimbulkan oleh BTS PCS1900 yang masuk ke dalam *receiver* BTS UMTS, sehingga diperlukan tapis (*filter*) untuk meredam frekuensi yang tidak diinginkan [1].

Filter merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi untuk memproses (menyaring, meneruskan, dan meredam) suatu sinyal yang diinginkan dan/atau tidak memproses (membuang, menahan, meloloskan) sinyal yang tidak diinginkan [2]. *Filter* dapat didisain dengan komponen *lumped* yang dihubungkan oleh jalur pada *printed circuit board* (PCB) dan dapat juga dibuat pada saluran mikrostrip. Untuk frekuensi tinggi, pada umumnya disain filter dilakukan dengan menggunakan saluran mikrostrip [3].

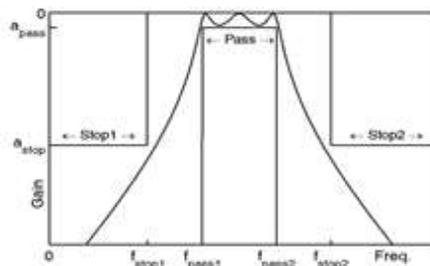
Pada penelitian yang dilakukan [4], telah dirancang *filter bandpass* pada frekuensi *X-band* dengan *open stub*. Hasil penelitian tersebut menyebutkan bahwa dengan menambah *open stub* pada *resonator* pertama dan resonator terakhir dapat mempersempit bandwidth sesuai dengan spesifikasi

yang diinginkan [4]. Selain itu, pada penelitian [5], telah dilakukan perancangan BPF dengan menggunakan DGS. Hasil penelitian tersebut menyebutkan bahwa dengan penambahan DGS dapat meningkatkan nilai *return loss* [5].

Sedangkan pada penelitian ini, *filter bandpass* didisain menggunakan metode *hairpin* dengan *open stub* dan DGS yang bekerja pada rentang frekuensi 1920-1980 MHz.

Filter Bandpass

BPF adalah jenis *filter* yang hanya melewatkan sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan meredam sinyal diluar rentang frekuensi tersebut. BPF memiliki dua frekuensi *cut off* yaitu frekuensi *cut off* bawah (f_L) dan frekuensi *cut off* atas (f_H). Rentang kedua frekuensi *cut off* inilah yang dilewatkan oleh filter sedangkan sinyal diluar rentang frekuensi tersebut akan diredam. Gambar 1 menunjukkan kurva respon frekuensi *filter bandpass* [4].

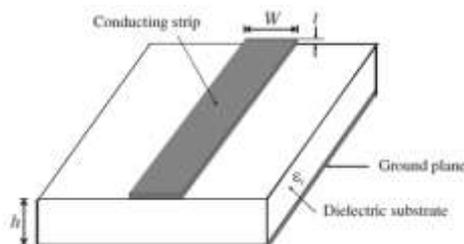


Gambar 1. Kurva respon frekuensi *filter bandpass* [4].

Parameter Filter

Bandwidth adalah daerah frekuensi saat sinyal yang melewati filter dapat diteruskan dengan redaman sekecil mungkin. Rentang frekuensi diantara dua frekuensi *cut off* disebut daerah *passband*, sedangkan frekuensi yang tidak diloloskan disebut *stopband*. *Return loss* merupakan perbandingan antara daya pada sumber dengan daya yang dipantulkan kembali oleh beban. *Return loss* terjadi karena impedansi antara saluran transmisi dengan beban tidak sesuai. Nilai *return loss* dapat diketahui dengan mengamati grafik S_{11} . *Insertion loss* adalah perbandingan antara daya pada beban dengan daya keluaran filter ke beban [2]. Nilai *insertion loss* dapat diketahui dengan melihat grafik S_{21} . Nilai impedansi karakteristik dipengaruhi oleh lebar strip penghantar, tebal bahan dielektrik dari permukaan sampai bidang tanah (*ground plane*) dan homogenitas bahan dielektrik [3].

Mikrostrip



Gambar 2. Struktur mikrostrip [4]

Mikrostrip adalah suatu saluran transmisi yang terdiri dari strip konduktor dan *ground plane* yang antara keduanya dipisahkan oleh dielektrik [4]. Struktur mikrostrip dapat dilihat pada gambar 2. Strip konduktor merupakan konduktor tipis dengan lebar w yang dicetak pada bagian atas substrat dengan permitivitas relatif ϵ_r , tebal substrat h , dan tebal konduktor t [6]. Diatas strip adalah udara sehingga bila tanpa *shielding*, sebagian medan elektromagnetik akan meradiasi dan sebagian yang

lain masuk ke dalam substrat dielektrik. Jadi ada dua dielektrik yang melingkupi strip yaitu udara dan substrat dielektrik [3].

Untuk mencari lebar saluran resonator digunakan persamaan berikut ini [4].

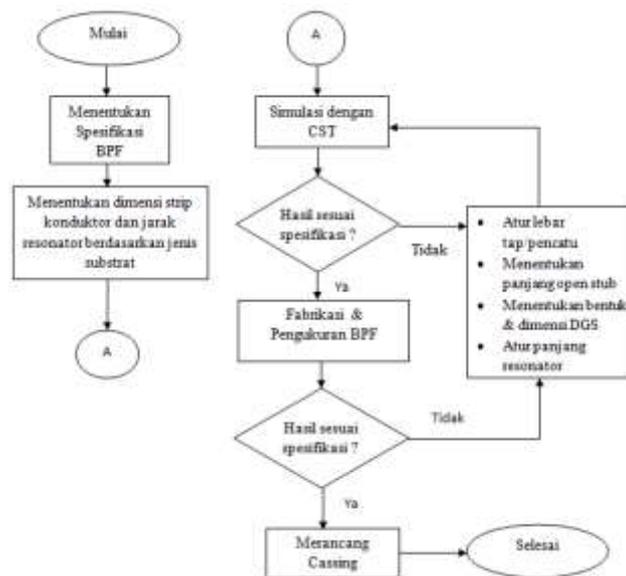
$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (1)$$

Dengan,

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

Z_c = impedansi karakteristik

METODE



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan *Filter Bandpass Hairpin*

Penelitian diawali dengan proses perancangan *filter bandpass* dimulai dengan menentukan spesifikasi BPF. Kemudian dilanjutkan dengan menentukan dimensi BPF berdasarkan jenis *substrat* yang dipilih. Dalam penelitian ini *substrat* yang digunakan yaitu *rogers RT5880* dengan konstanta dielektrik, $\epsilon_r = 2,2$ dan ketebalan, $h = 1,6$ mm. Pada proses fabrikasi ada ketentuan dimensi minimum *strip* konduktor yaitu sebesar 10 mil atau sama dengan 0.254 mm, sehingga dalam proses perancangan tidak boleh ada desain *strip* konduktor yang kurang dari ukuran tersebut. Pada penelitian ini BPF yang dirancang menggunakan metode *hairpin* dengan *resonator* berbentuk “U”. Dalam menentukan dimensi *filter* dipergunakan rumus matematis yang diperoleh dari studi literatur berbagai sumber seperti buku, jurnal ilmiah, ataupun laporan penelitian terkait BPF. Adapun dimensi BPF yang dihitung terdiri dari lebar *resonator hairpin* (W), panjang *resonator* (L), dan jarak antar *resonator* (S).

Selanjutnya dibuat/digambar dimensi BPF dan simulasikan menggunakan perangkat lunak *CST studio suite 2012*. Tahap selanjutnya adalah optimasi lebar tap pencatu BPF. Kemudian merancang *filter bandpass* dengan *open stub* untuk mempersempit *bandwidth* sampai spesifikasi yang dirancang dan optimasi panjang saluran *resonator* untuk memperoleh frekuensi kerja yang sesuai dengan spesifikasi. Lalu merancang *filter bandpass* dengan *defected ground structure* (DGS) untuk memperbaiki nilai *return loss*. Jika belum diperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang

diharapkan, maka dilakukan *optimasi/tuning* sampai diperoleh hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Kemudian tahap selanjutnya adalah fabrikasi dan pengukuran, setelah hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi maka hasil rancangan BPF direalisasikan melalui proses fabrikasi dan kemudian diukur. Setelah diukur, apabila hasil pengukuran belum sesuai spesifikasi maka dianalisa dan disimulasikan ulang sehingga didapat dimensi baru yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Hasil tersebut difabrikasi ulang, untuk diukur kembali. Dan apabila telah diperoleh hasil pengukuran yang sesuai maka tahap terakhir adalah merancang *casing* atau wadah BPF.

Dalam perancangan BPF, terdapat beberapa parameter penting yang digunakan sebagai acuan, baik dalam perhitungan maupun simulasi. Spesifikasi BPF yang dirancang sesuai dengan aplikasi spektrum frekuensi UMTS 3G pada pita frekuensi *uplink*, memenuhi parameter-parameter yang ditunjukkan tabel 1.

Tabel 1. *Spesifikasi BPF yang Dirancang*

No.	Parameter BPF	Keterangan
1.	Frekuensi kerja	1,92-1,98 GHz
2.	<i>Bandwidth</i> -3 dB	60 MHz
3.	Frekuensi tengah	1,95 GHz
4.	FBW (<i>Fractional BW</i>)	0.03
5.	<i>Insertion loss</i>	>-2 dB
6.	<i>Return loss</i>	< -10 dB
7.	<i>Matching Impedance</i>	50 ohm
8.	VSWR	1<VSWR<2
9.	Orde filter	4
10.	Respon frekuensi	Chebyshev

Jenis *substrat* yang digunakan adalah *rogers RT5880*. Tabel spesifikasi dari *substrat rogers RT5880* ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. *Spesifikasi Substrat Rogers RT5880*

No.	Nama Parameter	Keterangan
1	Jenis <i>Substrat</i>	Rogers RT5880
2	Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	2,2
3	<i>Dielectric Loss Tangent</i> (δ)	0,0009
4	Ketebalan <i>Substrat</i> (h)	1,6 mm

Hairpin Filter

Pada penelitian ini, perancangan BPF dilakukan dengan metode *hairpin*. Dasar dari mikrostrip *hairpin* adalah desain mikrostrip *parallel coupled*, dengan menekuk jalur mikrostrip menjadi dua seperti huruf “U”, dengan sudut lekukan 90^0 [3]-[6]. Gambar ilustrasi filter hairpin dengan empat resonator ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. *Filter hairpin* dengan empat buah *resonator/pole* [6]

Untuk mencari panjang resonator dapat digunakan persamaan berikut ini [4].

$$L = \frac{\pi/180^\circ}{\sqrt{\epsilon_e} K_0} \theta \quad (\text{dalam meter}) \quad (3)$$

Karena filter bandpass hairpin menggunakan saluran setengah panjang gelombang maka kita ketahui $\theta = 180^\circ$ [4].

Dengan,

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \sqrt{\frac{1}{1+12\left(\frac{h}{W}\right)}} \quad (4)$$

$$k_0 = \frac{2\pi f}{c} \quad (5)$$

Dengan f adalah frekuensi tengah dari filter *bandpass*, sedangkan c adalah kecepatan cahaya di udara, $c = 3.10^8 \text{ m/s}$ [4].

Dalam perancangan filter ini, digunakan *parameter low pass filter* sebagai parameter perencanaannya, dengan caramenyesuaikan karakteristik filter yang diinginkan dengan parameter *low pass filter*. Dengan menggunakan (6) dan (7) dapat diperoleh koefisien kopling hasil perhitungan (K_n) dan koefisien kopling berdasarkan simulasi S21 (K) untuk mencari jarak antar resonator/*pole* [4].

$$K_n = \frac{\text{FBW}}{\sqrt{g_n \times g_{n+1}}} \quad (6)$$

$$K = \frac{f_H^2 - f_L^2}{f_H^2 + f_L^2} \quad (7)$$

Dengan FBW adalah *fraktional bandwidth* dari BPF, g_n adalah parameter *low pass filter* berdasarkan tabel *Chebyshev* orde empat yang ditunjukkan pada tabel 3. Dengan jumlah orde (n) = 4, sehingga terdapat lima parameter *low pass filter* $g_1 - g_5$ [4].

Tabel 3. Elemen Chebyshev orde 4 untuk ripple 0,1 dB

N	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
4	1,1088	1,3062	1,7704	0.8181	1,3554

Dalam perancangan filter *bandpass* ini, terlebih dahulu dicari dimensi filter. Adapun dimensi filter yang dihitung meliputi : jarak antar resonator dihitung menggunakan (6) dan (7), lebar resonator menggunakan (1) dan (2), panjang resonator menggunakan (3)-(5). Sedangkan untuk panjang tap pencatu harus lebih dari 5 kali ketebalan bahan dielektrik [4]. Untuk perancangan BPF ini ditentukan panjang tap pencatu sebesar 10 mm.

Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh jarak resonator = 1,4 mm, lebar resonator = 5,2 mm, panjang resonator = 57 mm. Tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi dan optimasi dimensi filter dengan *CST Studio Suite 2012* sampai diperoleh BPF dengan parameter-parameter sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Optimasi Dimensi Filter

Optimasi dilakukan untuk mendapatkan dimensi filter yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. *Layout* akhir perancangan BPF dapat dilihat pada gambar 6.

Dalam penelitian ini, optimasi yang dilakukan terdiri dari optimasi jarak antar resonator (S), panjang resonator (L_2), panjang *open stub* (L_{os}), dimensi DGS yang terdiri dari panjang (P), lebar (L), tinggi (h) dan jarak DGS ke ujung tap (S_T).

Optimasi Jarak Antar Resonator Hairpin (S)

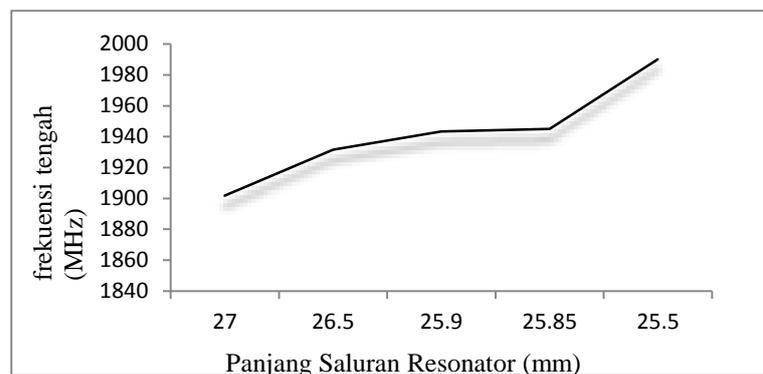
Tabel 4 menunjukkan bahwa semakin lebar jarak antar resonator frekuensi kerja filter akan semakin besar dan *bandwidth* filter akan semakin sempit serta sebaliknya.

Tabel 4. Optimasi Jarak Antar Resonator Hairpin (S)

Jarak (S)	f_L (MHz)	f_H (MHz)	Bandwidth (MHz)
0,8 mm	1768,2	2086,9	318,7
1 mm	1817,9	2089,1	271,2
1,2 mm	1857	2092,7	235,7
1,4 mm	1885,2	2093,8	208,6

Optimasi Panjang Saluran Resonator (L_r)

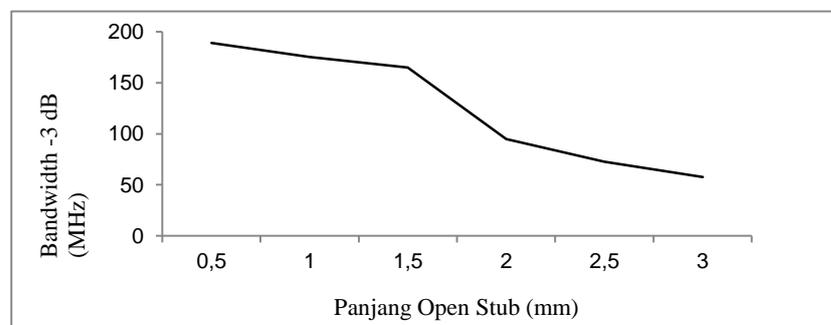
Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin pendek resonator maka frekuensi kerja filter akan semakin besar/tinggi dan sebaliknya.



Gambar 4. Pengaruh Panjang Resonator Terhadap Frekuensi Kerja BPF

Optimasi Panjang Open Stub (L_{os})

Optimasi panjang *open stub* ditunjukkan gambar 5, semakin panjang *open stub*, *bandwidth* akan semakin sempit dan sebaliknya.



Gambar 5. Pengaruh optimasi panjang *open stub* terhadap *bandwidth*

Optimasi DGS

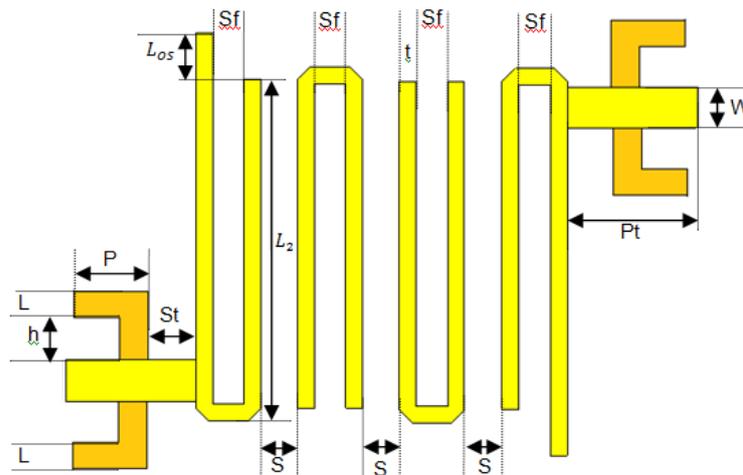
Dari optimasi DGS yang dilakukan, diperoleh nilai *return loss* seperti yang ditunjukkan tabel 5 yaitu BPF dengan DGS memiliki nilai *return loss* yang lebih baik, yaitu berbeda -0,3 dB pada frekuensi *cut-off* atasnya.

Tabel 5. Perbandingan S11 (Return loss) pada Frekuensi Cut-off

BPF	f_L	f_H
Tanpa DGS	-5,7 dB	-6,0 dB
Dengan DGS	-5,7 dB	-6,3 dB

Hasil Perancangan BPF dengan Open Stub dan DGS

Pada perancangan BPF ini, ditambahkan *open stub* pada resonator pertama dan keempat sebagai penghasil *stop-band rejection* untuk menghilangkan frekuensi resonan dan *ripple* yang tidak diharapkan sehingga dapat mempersempit *bandwidth*. Pada perancangan BPF ini juga ditambah *defected ground structure* yang dipasang pada bagian *ground plane* dibawah kedua tap pencatu filter. Penambahan DGS ini dapat meningkatkan nilai *return loss* dari filter. Hasil akhir dimensi BPF ditunjukkan pada gambar 6.

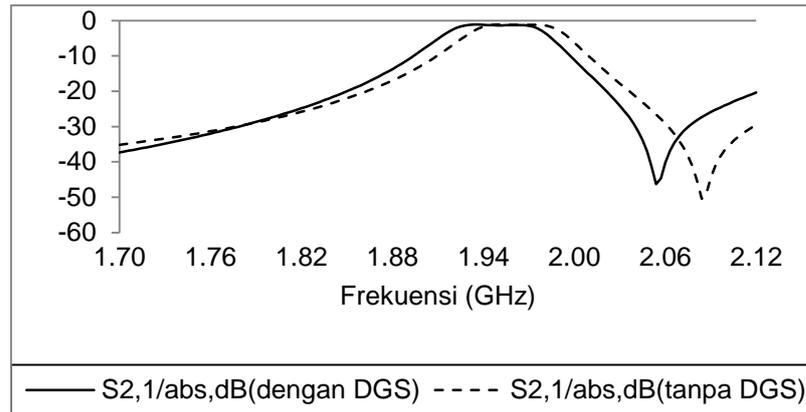


Gambar 6. Layout hasil akhir dimensi BPF

Dengan ukuran panjang resonator (L_r) = 57 mm ($L_r = 2(L_2) + S_f$), *slide factor* (S_f) = 2,4 mm, lebar resonator (t) = 1,3 mm, panjang tap (P_t) = 10 mm, lebar tap (w) = 3,2 mm, panjang *open stub* (L_{os}) = 3,6 mm, panjang DGS (P) = 2 mm, lebar (L) = 1 mm, tinggi (h) = 0,5 mm, jarak DGS ke ujung tap (S_t) = 3 mm

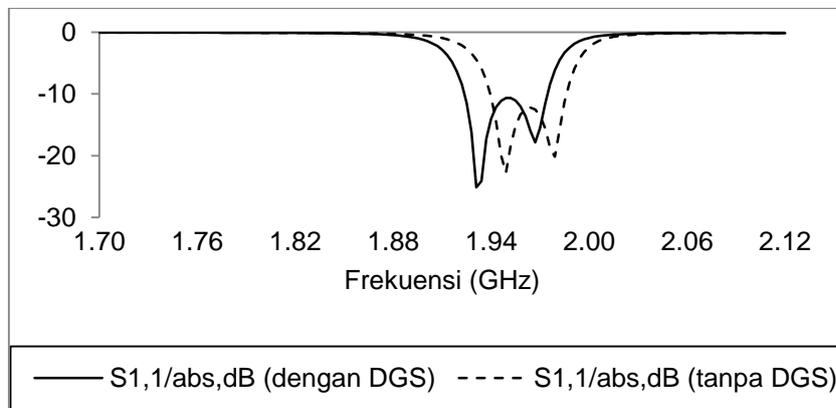
Hasil Simulasi

Pada gambar 7 diperlihatkan hasil simulasi S_{21} yang menggunakan *CST Studio Suite 2012*, dengan hasil nilai *insertion loss* sBPF dengan DGS pada frekuensi 1948 MHz sebesar -1,34 dB. Sedangkan frekuensi kerja dari BPF adalah 1918-1979 MHz dengan *bandwidth* sebesar 61 MHz. sedangkan BPF tanpa DGS memiliki frekuensi kerja lebih besar.



Gambar 7. Hasil simulasi S21

Pada gambar 8 diperlihatkan gambar hasil simulasi S11 yang menggunakan *CST Studio Suite 2012*, dengan hasil nilai *return loss* BPF dengan DGS sebesar -10,82 dB pada frekuensi 1948 MHz.



Gambar 8. Hasil simulasi S11

Hasil Fabrikasi dan Pengukuran

Hasil Fabrikasi

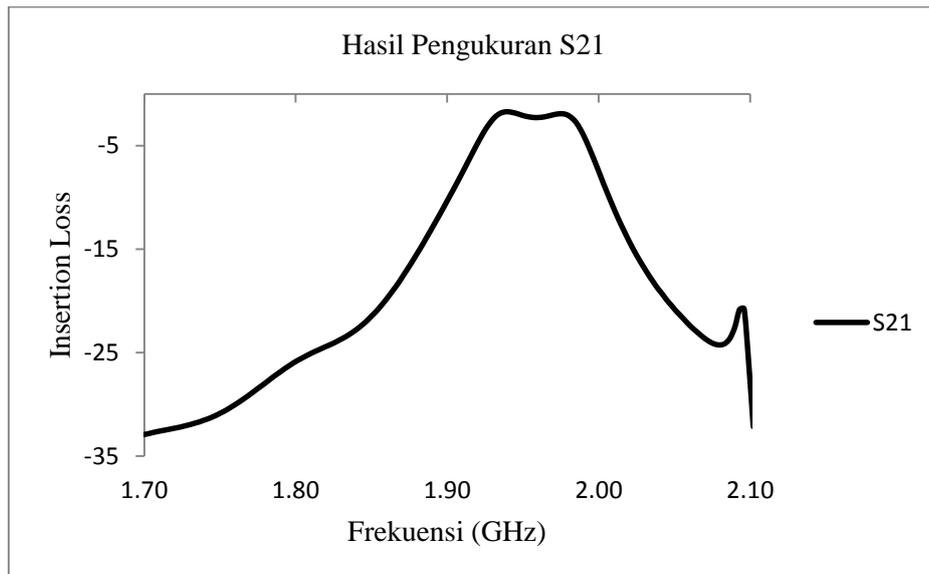
Hasil fabrikasi BPF berukuran 45,8 x 39,1 mm, sedangkan fabrikasi casing memiliki ukuran 66,2 x 59,8 mm dengan bahan aluminium. Gambar 9 menunjukkan hasil fabrikasi BPF dengan casing.



Gambar 9. Hasil Fabrikasi BPF dengan Casing

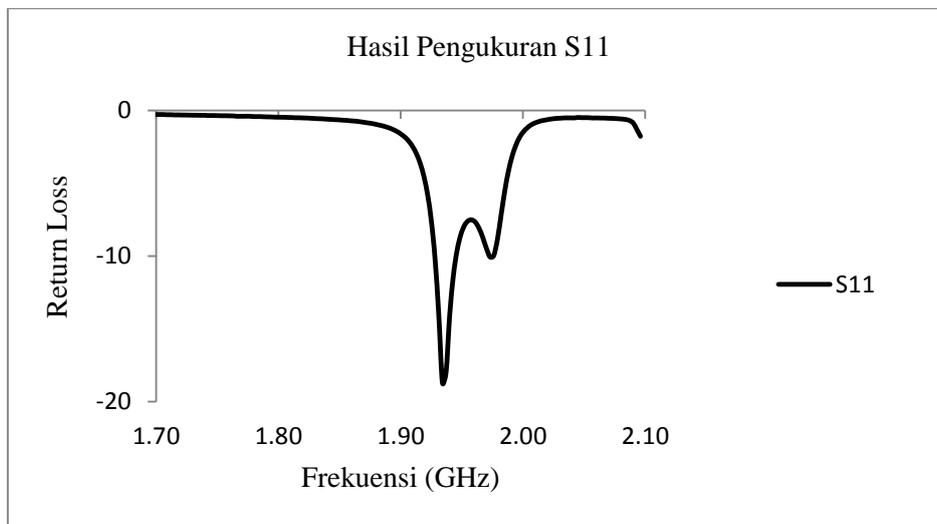
Hasil Pengukuran

Hasil Pengukuran S21 dapat dilihat pada gambar 10. Hasil pengukuran BPF sudah mendekati spesifikasi yang diharapkan. Dari hasil pengukuran diketahui nilai *insertion loss* sebesar 1,7 dB pada frekuensi 1,939 MHz. Nilai *insertion loss* sudah bagus dan memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Frekuensi kerja BPF sudah mendekati spesifikasi yang diharapkan, yaitu 1,926 MHz – 1,986 MHz, hanya bergeser sejauh 6 MHz dengan *bandwidth* -3 dB sudah sesuai spesifikasi yang diharapkan yaitu sebesar 60 MHz.



Gambar 10. Hasil Pengukuran S21

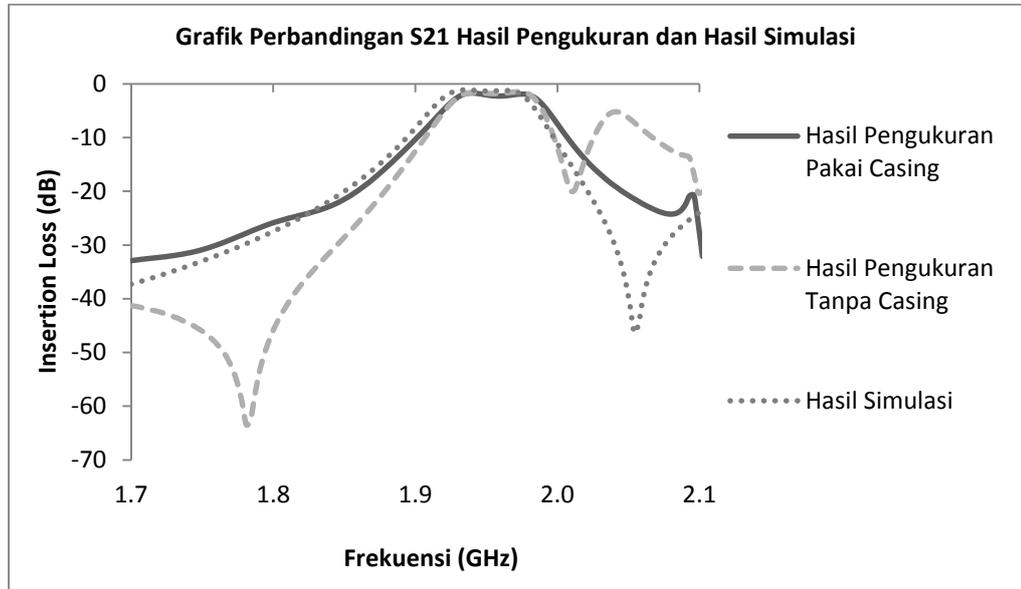
Hasil Pengukuran S11 dapat dilihat pada gambar 11. Hasil pengukuran BPF menunjukkan bahwa nilai *return loss* sebesar -8,86 dB pada frekuensi *cut-off* bawah (fL) dan -5,0 dB pada *cut-off* atas (fH). Sedangkan *return loss* terbaiknya sebesar -19 dB, sudah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan yaitu < -10 dB.



Gambar 11. Hasil Pengukuran S11

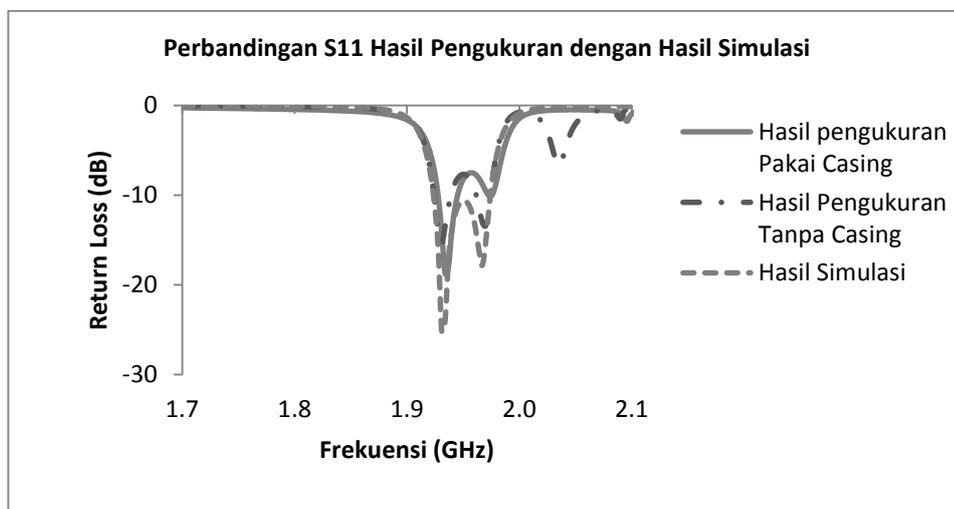
Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh, hasil pengukuran sudah mendekati hasil simulasi. Untuk lebih jelasnya mengenai perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi untuk nilai S21 dan S11 dapat dilihat pada gambar 12 dan gambar 13 berikut.



Gambar 12. Perbandingan S21 Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi

Dari gambar 12 terlihat parameter transmisi (S21) dari tiga keadaan berbeda yaitu hasil pengukuran pakai casing, hasil pengukuran tanpa casing dan hasil simulasi. Respon S21 terbaik adalah hasil simulasi hal ini dikarenakan simulasi mengasumsikan ideal untuk jenis substrat dan bahan yang digunakan, untuk hasil pengukuran dengan *casing* hasilnya sudah mendekati hasil simulasi walaupun masih terdapat sedikit perbedaan sedangkan untuk hasil pengukuran tanpa *casing* masih terdapat respon yang tidak diinginkan yaitu terdapat respon S21 diatas -10 dB diatas frekuensi 2 GHz. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh dari luar karena tidak ditutup dengan *casing*.



Gambar 13 Perbandingan S11 Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi

Dari Gambar 13 terlihat parameter refleksi (S_{11}) dari tiga keadaan berbeda yaitu hasil pengukuran pakai *casing*, hasil pengukuran tanpa *casing* dan hasil simulasi. Sama seperti respon S_{21} , respon S_{11} terbaik adalah hasil simulasi hal ini dikarenakan simulasi mengasumsikan ideal untuk jenis *substrat* dan bahan yang digunakan, untuk hasil pengukuran dengan *casing* hasilnya sudah mendekati hasil simulasi walaupun masih terdapat sedikit perbedaan sedangkan untuk hasil pengukuran tanpa *casing* masih terdapat respon yang tidak diinginkan yaitu terdapat respon S_{21} diatas -10 dB. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh dari luar karena tidak ditutup dengan *casing*.

KESIMPULAN

Telah dilakukan beberapa kali simulasi dan optimasi untuk mendapatkan spesifikasi terbaik pada *filter bandpass* mikrostrip *hairpin* dengan *open stub* dan *defected ground structure* yang bekerja pada frekuensi 1918-1979 MHz. Besarnya nilai *insertion loss* hasil rancangan atau simulasi sebesar -1,3 dB. Nilai *return loss* sebesar -10,82 dB pada frekuensi tengah 1948 MHz dengan *bandwidth* sebesar 61 MHz, impedansi *input* sebesar 50,3 ohm. Penambahan *open stub* dapat mempersempit *bandwidth* dari BPF tergantung dari panjang *open stub* sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Semakin panjang *open stub*, *bandwidth* dari BPF semakin sempit dan sebaliknya. Sedangkan penambahan DGS dapat meningkatkan nilai *return loss*, namun peningkatannya tidak signifikan, yaitu terjadi peningkatan -0,3 dB pada frekuensi *cut off* atasnya (f_H).

Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran diperoleh frekuensi kerja BPF sudah mendekati dengan spesifikasi yang diinginkan ataupun simulasi yaitu 1926 – 1986 MHz. Hal ini berarti frekuensi bergeser 6% dari *bandwidth* -3 dB-nya yang besarnya 60 MHz. Nilai *return loss* -19 dB, *insertion loss* -1,7 dB dan VSWR 1,28. Pergeseran frekuensi, perbedaan nilai S_{21} dan S_{11} dapat disebabkan beberapa hal seperti : hasil fabrikasi BPF dan *casing* tidak 100% persis seperti keadaan pada saat simulasi dan adanya toleransi tertentu dari bahan yang digunakan yang tidak diperhitungkan dalam simulasi

SARAN

Dalam perancangan suatu *filter* perlu ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar disain *filter* yang dibuat sesuai dengan yang diharapkan, yaitu :

1. Perlunya pemilihan bahan yang memiliki konstanta dielektrik yang baik agar *filter* yang dirancang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.
2. Ketika mendisain *filter* sebaiknya disertakan pula dengan wadah/ *casing*, agar tidak dipengaruhi oleh *interferensi* dari lingkungan sekitar.
3. Pemilihan *konektor* sebagai *port input output filter* juga perlu diperhatikan, pilihlah *konektor* yang kualitasnya bagus agar disain yang diperoleh sesuai atau mendekati simulasi yang dilakukan..
4. Dalam proses fabrikasi ukuran hasil simulasi dan hasil fabrikasi sebisa mungkin sama, karena apabila berbeda sedikit saja akan berpengaruh terhadap frekuensi kerjanya

REFERENSI

- [1] Imrazaki, M. & Iskandar A. (2012). Analisis interferensi kanal blok 11 dan 12 pita UMTS 3G : studi kasus BTS di Bogor, Depok dan Tangerang. Jurnal Sarjana Institut Teknologi Bandung Bidang Elektro dan Informatika.

- [2] Pozar, D. M. (1998). *Microwave Engineering*. New York : J. Wiley & Sons, Inc.
- [3] Praludi, T. & Sulaeman, Y. (2013). *Desain dan realisasi mikrostrip bandpass filter dengan struktur hairpin*. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 13(1), hlm. 33-37.
- [4] Fauzi, Y. (2012). *Rancang bangun BPF untuk aplikasi radar X-band menggunakan resonator mikrostrip hairpin dengan open stub dan square groove*. (Skripsi). Universitas Indonesia, Jakarta.
- [5] Zakriti, A. dkk. (2013). *Improvement of band-width performance of hairpin band-pass filter using defected ground structures*. *European Scientific Journal*, 9 (24), hlm. 189-196.
- [6] Hong, J. S. (2001). *Microwave Filter for RF/Microwave Applications*. New York : J. Wiley & Sons, Inc.
- [7] Toledo, N. (2001). *Practical techniques for design microstrip tapped hairpin resonator filter on FR4 laminate*. *In 2nd National ECE Conference*, hlm. 1-14.