

Desain dan Realisasi Filter *Bandpass* Mikrostrip dengan Struktur *Hairpin* *Design and Realization Microstrip Bandpass Filter with Hairpin Structure*

Teguh Praludi* dan Yaya Sulaeman

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
Komp LIPI Gd 20, Jl Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia

Abstrak

Kebutuhan akan sebuah filter dalam sebuah rangkaian elektronik mutlak diperlukan, dikarenakan sesuai dengan fungsi filter adalah meloloskan frekuensi yang diinginkan dan akan menahan frekuensi yang tidak diinginkan. Desain dan realisasi filter *bandpass* menggunakan teknologi mikrostrip dengan struktur *hairpin* akan dipaparkan pada makalah ini. Struktur *hairpin* merupakan perbaikan dari filter yang menggunakan *parallel coupled* bila ditinjau dari sisi dimensi sebuah filter, di mana pada struktur *hairpin* ini, panjang dari *stripline* akan dilipat membentuk huruf U sebesar $\frac{1}{2} \lambda$ dengan sudut lekukan 90° . Filter *bandpass* struktur *hairpin* dengan teknologi mikrostrip akan didesain dengan *insertion loss* ≤ -3 dB pada daerah *passband*, *return loss* ≥ -20 dB, lebar *bandwidth* 200 MHz, impedansi karakteristik 50Ω , frekuensi kerja 2,9–3,1 GHz dengan respon filter *Chebyshev* 0,1 dB. Filter *bandpass* yang didesain menggunakan bahan dari *roger* RO4350 yang mempunyai ketebalan 1,44 mm, dan permitivitas relatif (ϵ_r) = 3,77. Filter *bandpass* struktur *hairpin* ini dirancang dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ADS (*Advanced Design System*) dari Agilent.

Kata kunci: filter *bandpass*, *hairpin*, mikrostrip.

Abstrack

The filter in an electronic circuit is absolutely necessary, because according to the filter function which passes the desired frequency and will block unwanted frequencies. Design and realization of band pass filter using microstrip technology with hairpin structure will be presented in this paper. Hairpin structure is an improvement over the use of parallel coupled filter when it is reviewed from the filter dimensions, where in this hairpin structure, the length of the stripline will be folded to form "U" letters as big as $\frac{1}{2} \lambda$ with the angle curve of 90° . The hairpin-structured bandpass filter with microstrip technology will be designed with insertion loss ≤ -3 dB for range passband, return loss ≥ -20 dB, bandwidth 200 MHz, uses characteristic impedance 50Ω , with frequency range of 2.9–3.1 GHz with respon Chebyshev 0.1 dB, and center frequency 3 GHz. Design and realization of this bandpass filter uses substrate RO4350 from roger corp, with thickness of 1.44 mm, and effective permittivity (ϵ_r) = 3.77. Design of bandpass filter and simulation uses software ADS (Advanced Design System).

Keywords: *bandpass filter*, *hairpin*, *microstrip*.

I. PENDAHULUAN

Tapis (filter) atau *electronic filter* adalah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk memproses (menyaring, meneruskan, dan meredam) suatu sinyal (misal: komponen frekuensi, dan data) yang diinginkan dan/atau tidak memproses (membuang, menahan, meloloskan) sinyal yang tidak diinginkan [1]. Filter dapat didesain dengan berbagai cara dan komponen. Filter dapat dibuat dengan menggunakan elemen-elemen terbungkah (*lumped element*) yaitu kapasitor dan induktor yang dihubungkan dengan menggunakan jalur yang dicetak di atas *printed circuit board* (PCB), dan juga dapat dibuat dengan menggunakan teknologi mikrostrip. Filter dengan menggunakan *lumped element* biasanya digunakan untuk frekuensi rendah. Sedangkan jenis filter

untuk frekuensi tinggi biasa menggunakan mikrostrip. Filter *bandpass* dengan teknologi mikrostrip ini bekerja pada frekuensi 3 GHz (*S-band*), dan dapat diaplikasikan pada *receiver* pada radar yang bekerja pada jangkauan frekuensi 2-4 GHz.

II. DASAR TEORI

A. Parameter Filter

Bandwidth atau lebar pita adalah daerah frekuensi saat sinyal yang melewati filter dapat diteruskan dengan redaman sekecil mungkin. Rentang frekuensi yang diapit di antara dua frekuensi potong (*cut-off frequency*) disebut frekuensi *passband*, sedangkan frekuensi yang tidak diloloskan disebut dengan *stopband*. *Return loss* adalah perbandingan antara daya yang tersedia dari sumber terhadap daya yang dipantulkan kembali oleh beban. *Return loss* dapat terjadi karena tidak sesuai impedansi antara saluran transmisi dengan beban. Pada saat pengukuran *return loss* dapat dilihat melalui nilai S_{11} . Selain itu terdapat parameter lain dari filter yaitu *insertion loss* yang dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya yang tersedia dari sumber

* Corresponding Author.

Email: teguhpraludi@gmail.com

Received: June 26, 2013; Revised: June 27, 2013

Accepted: June 28, 2013

Published: June 30, 2013

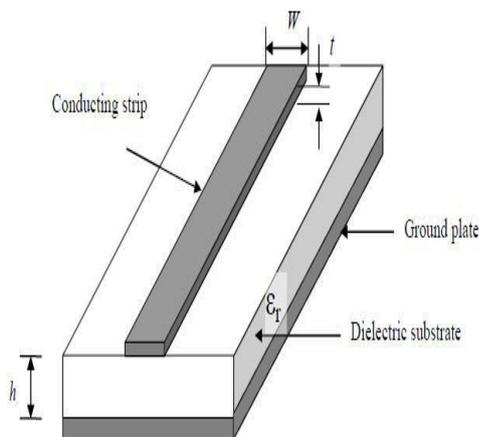
© 2013 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v13.33-37

dengan daya keluaran filter ke beban [1]. Pada saat pengukuran *insertion loss* dapat dilihat melalui nilai S_{21} . Filter *bandpass* adalah sebuah filter yang berfungsi untuk meloloskan frekuensi pada *range* tertentu, sehingga akan terdapat dua buah frekuensi *cut-off*, yaitu frekuensi *cut-off* bawah dan frekuensi *cut-off* atas.

B. Mikrostrip

Saluran transmisi mikrostrip adalah konduktor tipis dengan lebar w yang dicetak pada bagian atas substrat berdielektrik dengan permitivitas relatif ϵ_r , tebal substrat h , tebal mikrostrip t , dan $\tan \delta$ (juga disebut *loss tangent* atau *tangen delta*). Substrat tersebut memiliki *ground plane* pada sisi yang berlawanan dengan jalur mikrostrip [2]. Di atas strip adalah udara sehingga bila tanpa *shielding* sebagian medan elektromagnetik akan meradiasi, dan sebagian lagi ada yang masuk kembali ke dalam substrat dielektrik. Jadi ada dua dielektrik yang melingkupi strip: udara dengan konstanta dielektrik satu dan substrat dengan konstanta dielektrik $\epsilon_r > 1$. Dengan demikian saluran mikrostrip, secara keseluruhan, dapat kita pandang sebagai sebuah saluran dengan dielektrik homogen yang lebih besar dari satu tapi lebih kecil dari ϵ_r [3].



Gambar 1. Saluran Mikrostrip.

C. Konstanta Dielektrik Efektif

Pada mikrostrip terdapat pengaruh oleh dielektrik yang ditimbulkan oleh udara dan substrat sehingga strukturnya tidak homogen, maka diperlukan konstanta dielektrik relatif sebagai pengganti, untuk menentukan hambatan karakteristik. Konstanta dielektrik relatif dapat dianggap sebagai konstanta dielektrik medium homogen pengganti medium udara dan substrat dengan h (tinggi substrat), w (ketebalan mikrostrip) dan konstanta dielektrik (ϵ_r), pada saluran mikrostrip untuk menentukan konstanta dielektrik efektif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan *Hammersted* dan *Jansen* [2] seperti yang diperlihatkan pada Persamaan (1) dan (2).

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{u}\right)^{-0.5} \quad (1)$$

dengan:

$$u = \frac{w}{h}$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{(u)^4 + \left(\frac{u}{52}\right)^2}{(u)^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{u}{18.1}\right)^3 \right]$$

$$b = 0.564 \left(\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0.053} \quad (2)$$

D. Impedansi Karakteristik

Impedansi karakteristik adalah fungsi dari lebar strip penghantar, tebal bahan dielektrik dari permukaan sampai bidang tanah (*ground plane*) dan homogenitas bahan dielektrik (dinyatakan ϵ_{eff}) [4]. Karakteristik transmisi pada mikrostrip ditentukan oleh konstanta dielektrik dan impedansi karakteristik. Untuk menentukan besarnya impedansi karakteristik saluran, dapat digunakan Persamaan (3) dan (4).

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8}{w/h} + 0.25 \frac{w}{h} \right] \quad \text{untuk } w/h \leq 1 \quad (3)$$

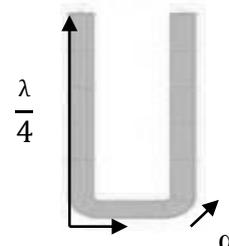
$$Z_0 = \frac{120\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}}{\left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right]} \quad (4)$$

untuk $w/h > 1$

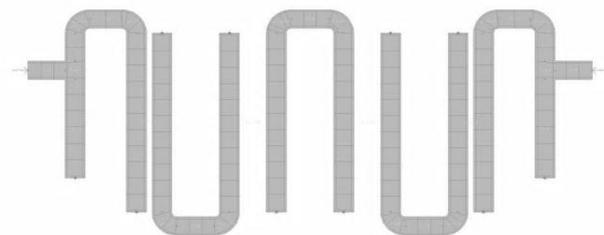
III. DESSAIN DAN REALISASI

A. Hairpin

Dasar dari mikrostrip dengan model *hairpin* ini adalah dari desain mikrostrip pada *parallel coupled*, tetapi dengan menekuk jalur mikrostrip menjadi dua seperti huruf "U", dengan sudut lekukan sebesar 90° , tujuannya adalah memanfaatkan ruang yang ada sehingga akan didapatkan dimensi yang lebih kecil. Pada Gambar 2 ditunjukkan sebuah saluran *hairpin* tunggal, dengan α dinamakan sudut lekukan [3].



Gambar 2. Pole Tunggal Hairpin.



Gambar 3. Filter Hairpin Lima Pole.

Sedangkan pada Gambar 3 diperlihatkan susunan *stripline hairpin* yang menggunakan lima buah *resonator* [4].

B. Spesifikasi Filter

Parameter substrat sangat mempengaruhi spesifikasi filter yang akan dirancang, pada paper ini menggunakan substrat RO4350 dengan spesifikasi sebagai berikut: konstanta dielektrik, $\epsilon_r = 3,77$, ketebalan substrat (H) = 1,44 mm, ketebalan mikrostrip (T) = 0,035 mm, loss tangent ($\tan \delta$) = 0,004, dengan lebar *bandwidth* = 200 MHz. Dalam menentukan dimensi dari mikrostrip terlebih dahulu dicari besarnya nilai respon *chebyshev* untuk 5 buah *pole resonator* [5] – [8].

$$g_1 = \frac{2}{\gamma} \sin \frac{\pi}{2n} \tag{5}$$

$$g_i = \frac{1}{g_{i-1}} \times \frac{4 \sin \left[\frac{(2i-1)\pi}{2n} \right] \sin \left[\frac{(2i-3)\pi}{2n} \right]}{\gamma^2 + \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \right]} \tag{6}$$

$$\beta = \ln \left[\coth \left(\frac{\text{ripple}}{17,37} \right) \right]$$

$$\gamma = \sinh \frac{\beta}{2n}$$

TABEL I
ELEMEN *CHEBYSHEV* UNTUK *RIPPLE* 0,1 dB

N	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
1	0.3053	1.0000			
2	0.8431	0.6220	1.3554		
3	1.0316	1.1474	1.0316	1.0000	
4	1.1088	1.3062	1.7704	0.8181	1.3554
5	1.1468	1.3712	1.975	1.3712	1.1468

Tabel 1 memperlihatkan respon filter *Chebyshev* dengan *ripple* 0,1 dB untuk banyaknya resonator dari satu sampai lima pole. Selanjutnya dilakukan perhitungan besarnya impedansi mode *even* dan mode *odd* [6].

$$FBW = \frac{f_2 - f_1}{f_1} \tag{7}$$

$$Z_0 J_1 = \frac{\sqrt{\pi FBW}}{2g_1} \tag{8}$$

$$Z_0 J_n = \frac{\pi \sqrt{FBW}}{2 \sqrt{g_{n-1} g_n}} \tag{9}$$

$$Z_0 J_{N+1} = \frac{\sqrt{\pi FBW}}{2g_N g_{N+1}} \tag{10}$$

dengan $n = 2, 3, \dots, N$

Selanjutnya dihitung nilai Z_{0e} dan Z_{0o} dengan menggunakan Persamaan (11) dan (12):

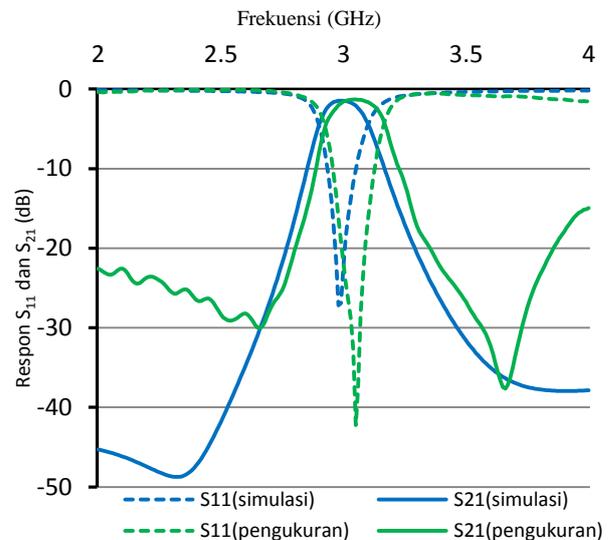
$$(Z_{0e})_n = Z_0 [1 + JZ_0 + (JZ_0)^2] \tag{11}$$

$$(Z_{0o})_n = Z_0 [1 - JZ_0 + (JZ_0)^2] \tag{12}$$

TABEL II
MODE *EVEN* DAN MODE *ODD*

Orde	$Z_0 J_n$	$Z_{0e}(\text{Ohm})$	$Z_{0o}(\text{Ohm})$
1	0,1985	61,8951	42,0451
2	0,3218	71,2677	39,0877
3	0,2452	65,2661	40,7461
4	0,2452	65,2661	40,7461
5	0,3218	71,2677	39,0877
6	0,1985	61,8951	42,0451

Pada Tabel 2 ditunjukkan besarnya mode *even* dan mode *odd* yang menggambarkan besarnya efek kopling yang terjadi di antara dua *resonator* yang saling berdekatan. Selanjutnya, dengan menggunakan linecal yang terdapat pada ADS, didapatkan dimensi dari mikrostrip dengan lebar (w) = 2,8 mm, jarak antara dua *resonator* (s) = 0,88 mm dan panjang (L) = 14,76 mm. Kemudian dilakukan simulasi dan optimasi untuk mendapatkan hasil yang optimal dari filter yang dirancang.



Gambar 4. Respon S_{11} dan S_{21} Lima Pole Hairpin.

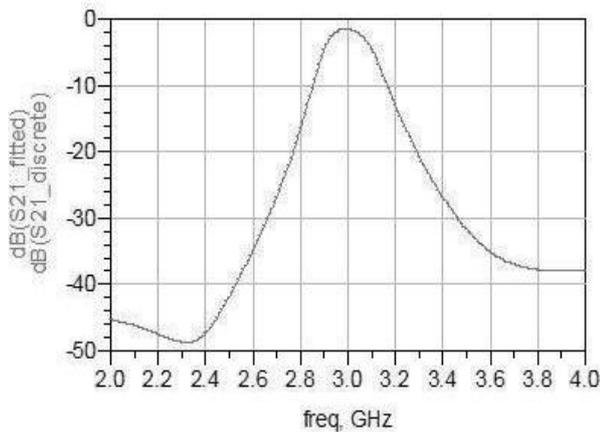
Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi dan realisasi sebuah filter *bandpass* yang menggunakan teknologi mikrostrip dengan struktur *hairpin* yang menggunakan lima buah *resonator*, terjadi pergeseran frekuensi kerja pada filter tersebut. Data dari hasil pengukuran dan simulasi dikonversikan ke dalam microsoft excel untuk selanjutnya digabung dan dibandingkan. Frekuensi kerja menjadi lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil simulasi. Hasil simulasi dan realisasi filter *bandpass* tersebut pada frekuensi kerja 3 GHz ditampilkan pada Tabel 3.

TABEL III
RESPON S_{11} DAN S_{21} PADA LIMA RESONATOR

Jumlah resonator	Lima Hairpin
Insertion Loss Simulasi (S_{11}) (dB)	-1,46
Insertion Loss Realisasi (S_{11}) (dB)	-1,56
Return Loss Simulasi (S_{21}) (dB)	-22,06
Return Loss Realisasi (S_{21}) (dB)	-22,02

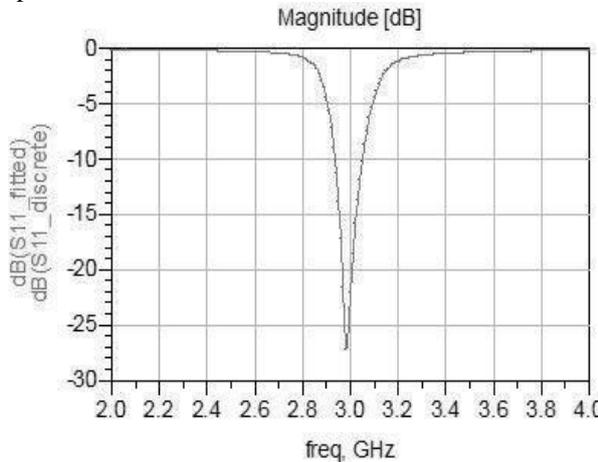
Seperti yang terlihat pada Tabel 3, bahwa respon *insertion loss* maupun *return loss* yang yang dihasilkan tidak jauh berbeda antara simulasi dan realisasi, meskipun untuk hasil simulasi masih mempunyai respon yang lebih baik. Sedangkan nilai terbaik *insertion loss* dan *return loss* pada simulasi berada pada frekuensi 2,99 GHz dengan nilai *insertion loss* -1,45 dB dan *return loss* -26,91 dB. Sedangkan pada realisasi nilai terbaik pada frekuensi 3,050 GHz dengan *insertion loss* sebesar -1,32 dB dan *return loss* -42,21 dB, terjadi pergeseran sebesar 60 MHz.

IV. HASIL DAN ANALISA



Gambar 5. Hasil Simulasi S_{11} .

Pada Gambar 5 diperlihatkan gambar hasil simulasi dari S_{11} yang menggunakan ADS, terlihat bahwa pada frekuensi 2,9 GHz dihasilkan nilai *return loss* -4,477 dB dan pada frekuensi 3,1 GHz sebesar -4,475 dB.



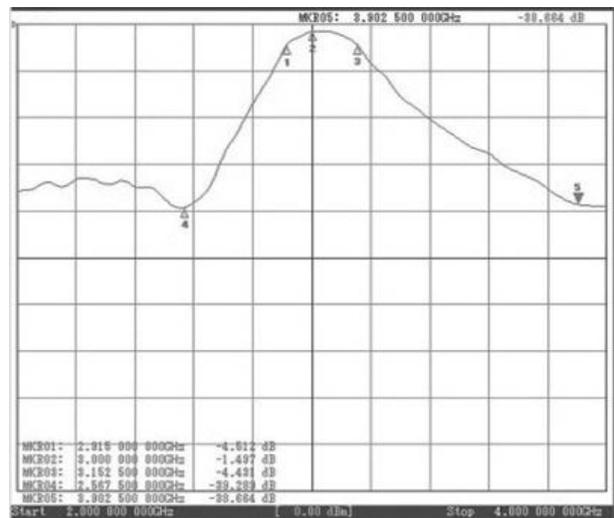
Gambar 6. Hasil Simulasi S_{21} .

Pada Gambar 6 ditunjukkan gambar hasil simulasi dari S_{21} yang menggunakan ADS, terlihat bahwa pada frekuensi 2,9 GHz dihasilkan nilai *return loss* -4,554 dB dan pada frekuensi 3,1 GHz sebesar -4,366 dB.



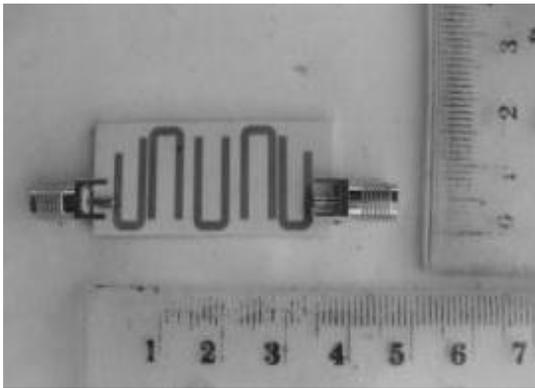
Gambar 7. Hasil pengukuran respon S_{11} filter hairpin lima resonator

Pada Gambar 7 ditunjukkan hasil pengukuran dari realisasi filter *bandpass* untuk respon S_{11} pada frekuensi 2,9 GHz sebesar -2,69 dB dan pada frekuensi 3,1 GHz sebesar -16,36 dB. Nilai terbaik didapat pada frekuensi 3,05 GHz dengan respon yang dihasilkan -42,21 dB.



Gambar 8. Hasil Pengukuran Respon S_{21} Filter Hairpin Lima Resonator.

Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil pengukuran dari realisasi filter *bandpass* untuk respon S_{21} pada frekuensi 2,9 GHz sebesar -8,10 dB dan pada frekuensi 3,1 GHz sebesar -1,62 dB. Nilai terbaik didapat pada frekuensi 3,05 GHz dengan respon yang dihasilkan -1,32 dB.

Gambar 9. Realisasi Filter *Bandpass* .Gambar 10. Realisasi Filter *Bandpass* dengan *Shielding*.

Pada Gambar 9 diperlihatkan realisasi dari sebuah filter *bandpass hairpin* yang menggunakan teknologi mikrostrip dalam bentuk terbuka, sedangkan pada Gambar 10 diperlihatkan bahwa filter tersebut telah diberi *shielding* (penutup).

KESIMPULAN

Telah dilakukan beberapa kali simulasi, kemudian dilakukan optimasi untuk mendapatkan nilai respon yang terbaik pada filter *bandpass* dengan struktur *hairpin* yang bekerja pada frekuensi 2,9–3,1 GHz. Hasil realisasi

dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Besarnya *insertion loss* pada simulasi -1,46 dB sedangkan pada realisasi besarnya *insertion loss* -1,56 dB terdapat perbedaan sebesar 0,01 dB. Untuk respon *return loss* pada simulasi -22,06 dB sedangkan pada realisasi -22,02 dB, terdapat perbedaan sebesar 0,04 dB. Nilai respon terbaik *insertion loss* pada simulasi -1,45 dB berada pada frekuensi 2,99 GHz, sedangkan untuk *return loss* sebesar -27,19 dB berada pada frekuensi 2,98 GHz. Pada realisasi filter *bandpass* ini respon yang terbaik dari hasil pengukuran berada pada frekuensi 3,05 GHz dengan respon *insertion loss* -1,32 dB dan *return loss* sebesar -42,21 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons inc, 1998.
- [2] J. S. Hong, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applicatios*, John Wiley & Sons, 2011.
- [3] H. Madan, *Design Of Microstrip Bandpass Filters*, College of Engineering, Pune, 2007.
- [4] K.Vidhya and T.Jayanthy "design of microstrip hairpin band pass filter using defected ground structure and open stubs" in *Proc. International Conference on Information and Electronics Engineering, IPCSIT*, vol. 6 (2011), 268 – 272.
- [5] S. Seghier, N. Benabdallah, N. Benahmed, F. T Bendimerad and K. Aliane, "Design and Optimization of Parallel Coupled Microstrip Bandpass Filter for FM Wireless Applications", *The Computing Science and Technology International Journal*, vol. 2, no. 1, march, 2012.
- [6] N. Toledo, "Practical Techniques for designing Microstrip tapped hairpin resonator filters on FR4 laminate", in *2nd National ECE Conference*, Manila, Philippines, November 2001.
- [7] S.Y. Lee and C.M.Tsai, "New cross-coupled filter design using improved hairpin resonators", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, no. 12, pp. 2482 – 2490, Dec. 2000.
- [8] G.L. Matthaei "Narrow-Band, Fixed-Tuned, and Tunable Bandpass Filters With Zig-Zag Hairpin-Comb Resonators", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 4, Apr. 2003.