

Ultra Wide Band (UWB) 3.4 - 4.8 Ghz Bandpass Filter Menggunakan Saluran Transmisi CRLH Satu Sel

Andik Atmaja

Politeknik Kota Malang

address Komplek Pendidikan Internasional Tlogowaru Malang, telp/fax (0341)754088

e-mail: andik.atmaja@gmail.com

Abstrak – Penelitian studi tentang *Metamaterials (MTMs)* dalam beberapa tahun terakhir telah meningkat sangat pesat. *Metamaterials* yang di sebut juga *artificial material* atau *Left Handed (LH) material* adalah material yang tidak ada di alam dimana strukturnya direkayasa oleh manusia yang memiliki dua atau lebih *properties* yang khusus, misalkan pada *Double Negative (DNG) material* yang memiliki μ *negative* dan ϵ *negative*. Beberapa pendekatan dalam mendesign *metamaterial* yaitu pendekatan resonant dan pendekatan *Transmission line*. Model *transmission line* yang pertama adalah *Right Handed Transmission lines (RH TL)* yang dimodelkan dalam sebuah unit sel sebagai rangkaian dan shunt kapasitor shunt(C_R), yang kedua adalah *Left Handed Transmission Line (LH TL)* dimodelkan dalam sebuah unit sel sebagai rangkaian kapasitor seri(C_L) dan induktansi shunt(L_L). gabungan dari dua buah model *transmission line* ini disebut *Composite Right-left Handed Transmission Line(CRLH TL)* dan ini menjadi dasar dalam mendesign *metamaterial*. *CRLH transmission line* dimodelkan dalam sebuah unit sel sebagai rangkaian kapasitor seri(C_L), induktansi seri(L_R) dan induktansi shunt (L_L) serta induktansi shunt(L_L). *CRLH TL* memiliki negatif, nol dan konstanta propagasi positif sesuai dengan karakteristik dari permitivitas efektif dan permeabilitas[1]. Hasil pengukuran bandpass filter menggunakan saluran transmisi *CRLH satu sel* menunjukkan frekuensi cutoff pada -10dB terletak pada frekuensi 3.016 GHz pada highpass filter dan 5.359GHz pada lowpass filternya. Sedangkan frekuensi 3.4 GHz terletak pada -4.8415 dB sedangkan frekuensi 4.8 Ghz terletak pada -4.753 dB. Hasil dari perancangan menunjukkan bahwa saluran transmisi *CRLH satu sel* dapat memenuhi spesifikasi yang diminta.

Kata kunci: filter, bandpass, Ultra Wide Band, composite right left handed, CRLH.

1. Pendahuluan

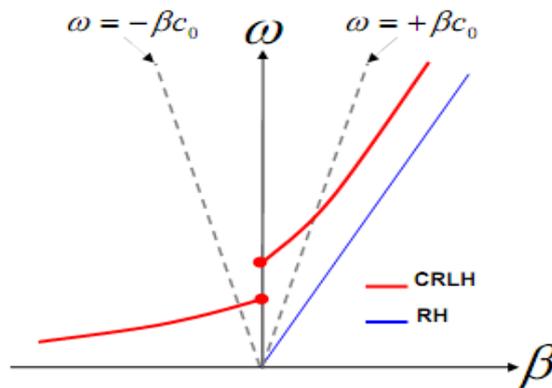
Teknologi *Ultra Wide Band* pertama kali dipublikasikan dan diperkenalkan pada tanggal 14 februari 2002 oleh *Federation Communications Commission (FCC)* Amerika Serikat. Teknologi UWB memiliki beberapa kelebihan yaitu kecepatan akses yang tinggi sekitar 110 Mbits/s dan konsumsi daya hanya 100 mW[1-3].

Seiring dengan perkembangan UWB, Penelitian studi tentang *Metamaterials (MTMs)* dalam beberapa tahun terakhir juga meningkat sangat pesat, *Metamaterials* yang di sebut juga *artificial material* atau *Left Handed material (LH)* merupakan struktur elektromagnetik buatan yang *effectively homogeneous* dengan sifat yang tidak biasa dan tidak tersedia di alam[4]

Merancang *metamaterial* dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan yaitu pendekatan resonan dan pendekatan saluran transmisi *CRLH*. *CRLH-TL* dimodelkan dalam sebuah unit sel sebagai rangkaian kapasitor seri(C_L), induktor seri(L_R) dan induktor shunt(L_L) serta kapasitor shunt(C_R). Saluran transmisi *CRLH* memiliki konstanta propagasi positif, negatif dan nol sesuai dengan karakteristik dari permitivitas efektif dan permeabilitas[4].

Pada saluran transmisi CRLH satu sel dimensi dari sebuah struktur komponen dapat didesign hingga $\frac{1}{4} \lambda$, sehingga memungkinkan *miniaturized* pada struktur CRLH[5,7,8].

Merancang metamaterial dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu pendekatan resonant dan pendekatan saluran transmisi. Model pendekatan saluran transmisi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Composite Right-left Handed Transmission Line*(CRLH TL). CRLH transmission line dimodelkan dalam sebuah unit sel sebagai rangkaian kapasitor seri(C_L), induktor seri(L_R) dan induktansi shunt (L_L) serta kapasitor shunt(C_R). CRLH TL memiliki konstanta propagasi positif, negatif dan, nol sesuai dengan karakteristik dari permitivitas efektif dan permeabilitas[4]. Grafik konstanta propagasi ditunjukkan pada Gambar 1.

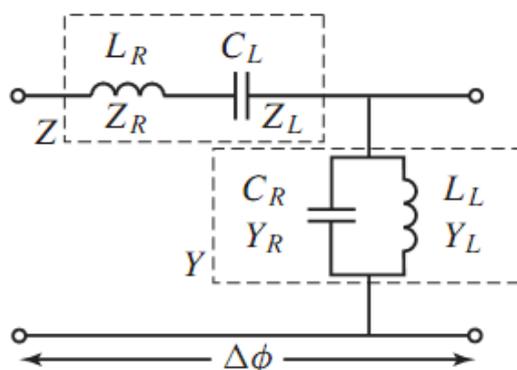


Gambar 1. Grafik konstanta propagasi pada CRLH TL[4]

Karena MTMs adalah struktur yang *effectively homogenous*, maka MTMs pada dasarnya dapat dimodelkan oleh satu dimensi (1D) jalur transmisi, yang arah propagasinya mewakili setiap arah dalam material[4]. Rangkaian CRLH-TL merupakan gabungan antara RH-TL dan LH-TL, dalam sebuah unit sel CRLH terdiri dari rangkaian kapasitor seri(C_L), induktor seri(L_R) dan induktor shunt (L_L) serta kapasitor shunt(C_R), Gambar 2 menunjukkan rangkaian dari CRLH-TL

2. Metodologi Penelitian

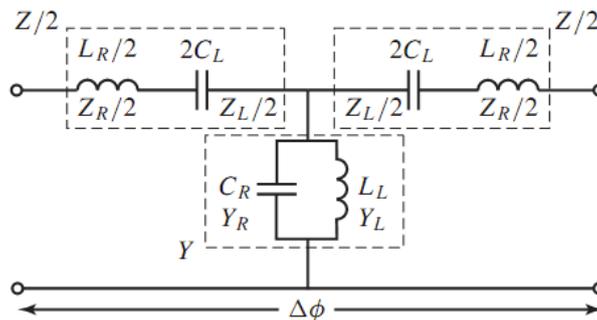
Jika dibandingkan dengan pendekatan resonant, pendekatan CRLH-TL memiliki beberapa keuntungan [4, 13]



Gambar 2. Rangkaian 1 cell CRLH-TL [4]

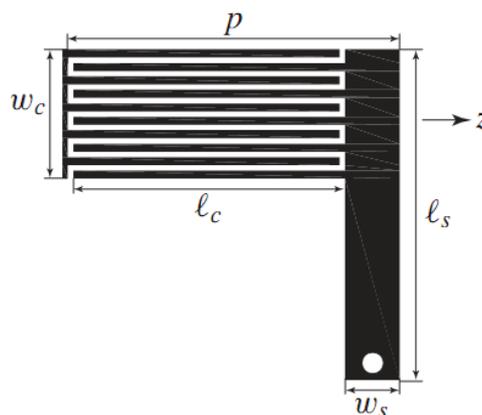
Rangkaian CRLH dibagi menjadi 2 yaitu *unsymmetric* dan *symmetric* unit cell. Pada Gambar 2 diatas adalah rangkaian CRLH *unsymmetric*. Untuk rangkaian CRLH *symmetric* terdiri dari bentuk T(*T-shape*) dan bentuk phi(*π -shape*). Rangkaian *symmetric* merupakan pengembangan dari rangkaian CRLH *asymmetric*. Gambar 3 memperlihatkan rangkaian *symmetric* untuk *T-shape*.

Rangkaian dasar CRLH TL seperti pada Gambar 2 terdiri dari rangkaian seri (impedansi, Z) dan rangkaian shunt(admitansi, Y), rangkaian seri terdiri dari *Right handed inductor* (L_R) dan *left handed capacitor* (C_L) sedangkan pada rangkaian shunt terdiri dari *right handed capacitor* (C_R) dan *left handed inductor* (L_L). maka persamaan rangkaian seri dan rangkaian shunt adalah[4].



Gambar 3. Rangkaian *symmetric* CRLH-TL T-shape [4]

Kapasitor Interdigital dan stub pada implementasi CRLH pada satu sel unit ditunjukkan dalam Gambar 4. Rangkaian ekuivalent dari sel unit seri kapasitor interdigital dan induktor stub ditunjukkan dalam Gambar 4. kapasitor interdigital *CRLH microstrip* pada rangkaian lumped merupakan ekifalen dari impedansi(Z), sedangkan stub pada rangkaian lumped merupakan ekifalen dari admitansi(Y). Pada *CRLH microstrip* ada beberapa parameter yang muncul disebabkan oleh *design* kapasitor interdigital dan stub, namun dari beberapa parameter tersebut ada yang diabaikan karena sangat kecilnya nilai dari parameter tersebut[4].



Gambar 4. Unit cell dari microstrip CRLH [4].

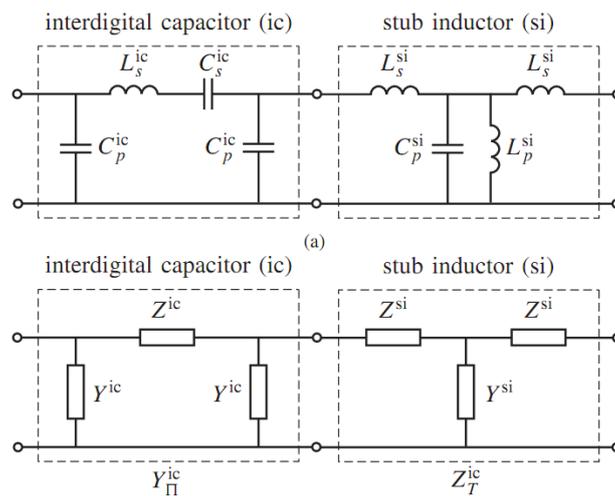
Dari Gambar 5 bisa didapatkan parameter-parameter yang digunakan dalam mendesign mikrostrip CRLH. Parameter scattering atau S parameter dari kapasitor interdigital dan induktor stub tersebut nilai dari parameter dirubah kedalam bentuk admittansi(Y) dan impedansi(Z) secara berurutan dan dikonversi menggunakan standar formula, kemudian dengan mengabaikan induktansi L_s^{si} yang sangat kecil, maka didapatkan parameter CRLH yaitu[4]:

$$L_R = L_s^{ic} \tag{1}$$

$$C_R = 2C_p^{ic} + C_p^{si} \tag{2}$$

$$L_L = L_p^{si} \tag{3}$$

$$C_L = C_s^{ic} \tag{4}$$

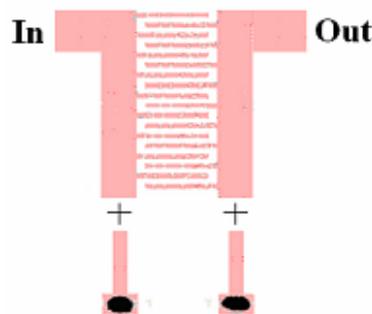


Gambar 5. Rangkaian equivalent dari CRLH microstrip [4]

3. Hasil dan Pembahasan

Perancangan filter ini menggunakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). *CST Microwave Studio 2010* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk merancang dan mensimulasikan Filter yang akan dibuat. Setelah disimulasi akan diperoleh beberapa karakteristik filter seperti S11 dan S21.

Pada perancangan bandpass filter menggunakan saluran transmisi CRLH satu sel terdapat 2 bagian yang harus dirancang. Pada Gambar 6 ditunjukkan bahwa CRLH microstrip terdiri dari dua bagian yaitu interdigital capacitor dan ground stub.



Gambar 6. Mikrostrip saluran transmisi CRLH satu sel

3.1 Perancangan Kapasitor Interdigital

Perancangan kapasitor interdigital pada saluran transmisi CRLH ada beberapa parameter dari dimensi interdigital yang di jadikan acuan awal, pada perhitungan ini digunakan $W = S = 0.254\text{mm}$. pada perhitungan interdigital akan digunakan juga bantuan dari *CST Microwave studio 2010*. Dengan menggunakan persamaan

$$C = (\varepsilon_r + 1)l[(N - 3)A_1 + A_2] \quad (5)$$

$$A_1 = 4.409 \tanh \left[0.55 \left(\frac{h}{W} \right)^{0.45} \right] \times 10^{-6} \quad (6)$$

$$A_2 = 9.92 \tanh \left[0.52 \left(\frac{h}{W} \right)^{0.5} \right] \times 10^{-6} \quad (7)$$

$$R = \frac{4}{3} \frac{l}{WN} R_s \quad (8)$$

$$C_s = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\varepsilon_{re}}}{Z_0 c} l \quad (9)$$

$$L = \frac{Z_0 \sqrt{\varepsilon_{re}}}{c} l \quad (10)$$

Sehingga didapatkan panjang finger interdigital kapasitor adalah 8.432mm dengan jumlah finger sebanyak 6 buah.

3.2 Perancangan Ground Stub

Dalam perancangan *ground stub* perhitungan Z_0 dan ε_{re} menggunakan subprogram *Impedance Calculation* yang terdapat didalam *CST Microwave Studio 2010*, dengan $C_i=0.1022$ pF dan rumus persamaan dibawah sehingga didapatkan panjang l .

$$L(nH) = 2 \times 10^{-4} l \left[\ln \left(\frac{l}{W+t} \right) + 1.193 + \frac{W+t}{3l} \right] K_g \quad (11)$$

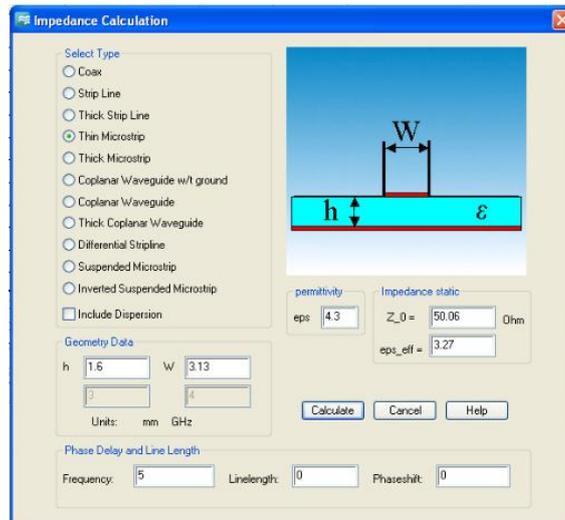
$$R_s(\Omega) = \frac{KR_{sh}l}{2(W+t)} \quad (12)$$

$$C_i(pF) = 16.67 \times \frac{10^{-4} l \sqrt{\varepsilon_{re}}}{Z_0} \quad (13)$$

maka panjang l adalah 12.517mm

3.3 Perancangan Pencatu Pada Filter

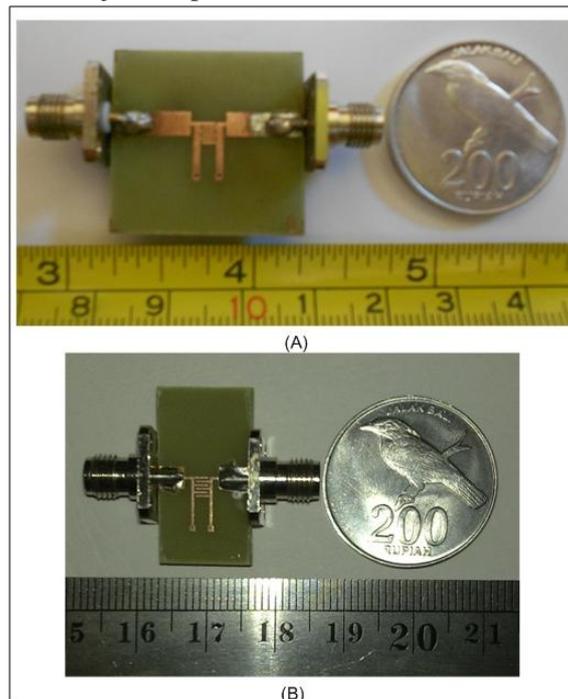
Pada saat pengukuran, pencatu pada filter akan dihubungkan dengan konektor SMA 50 Ω . Dengan demikian dalam perancangan pencatu filter mikrostrip perlu impedansi masukan (Z_{in}) 50 Ω . Untuk mendapatkan nilai impedansi saluran pencatu 50 Ω , dapat dilakukan dengan mencari lebar saluran pencatu. Dengan menggunakan subprogram *Impedance Calculation* yang terdapat didalam *CST Microwave Studio 2010* dan memasukkan beberapa parameter yang dibutuhkan, maka secara otomatis akan diketahui nilai lebar impedansi 50 Ω . Pada Gambar 7 merupakan tampilan hasil dari perhitungan lebar pencatu.



Gambar 7. saluran pencatu 50 Ω

3.4 Hasil Fabrikasi, Simulasi dan Pengukuran.

Setelah rancangan bandpass filter menggunakan CRLH satu sel disimulasi menggunakan CST microwave Studio 2010, kemudian dilakukan fabrikasi dan pengukuran pada bandpass filter, Hasil fabrikasi filter ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. CRLH Filter (a)hasil perancangan dengan frekuensi kerja 3,4-4,8GHz

(b)filter refrensi dengan frekuensi kerja 3,1-10.6GHz

Dimensi hasil fabrikasi dengan panjang finger interdigital 8.432mm, lebar finger 0.451mm jarak antar finger 0.533mm, panjang ground stub 12.517 mm dan lebar ground stub 0.489 mm. maka luas keseluruhan untuk rangkaian filter kurang lebih adalah $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm} = 6,25\text{cm}^2$.

3.5 Hasil Pengukuran S21 (Insertion Loss)

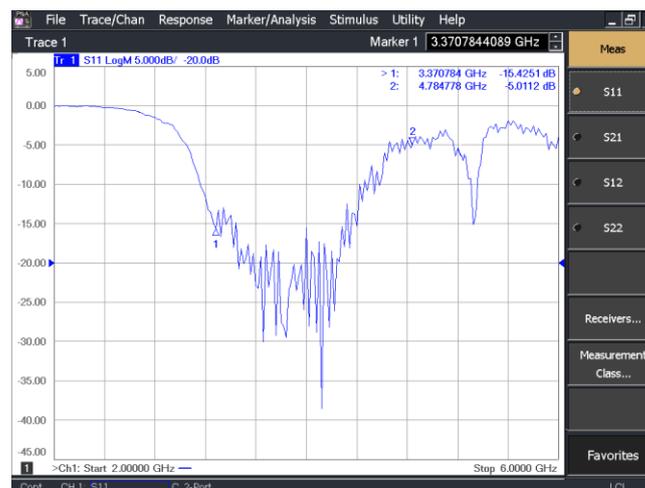
Pada hasil pengukuran dilakukan perbandingan dengan hasil yang telah disimulasikan sebelumnya. Dari perbandingan, hasil simulasi dan hasil pengukuran menghasilkan grafik S21 yang serupa. Pada hasil simulasi sebelumnya menunjukkan frekuensi cutoff pada -10dB terletak pada frekuensi 3.016 GHz pada highpass filter dan 5.359GHz pada lowpass filternya. Sedangkan frekuensi 3.4 GHz terletak pada -4.8415 dB sedangkan frekuensi 4.8 GHz terletak pada -4.753 dB, sedangkan pada hasil pengukuran pada Gambar 9 menunjukkan frekuensi cutoff highpass filter pada saat frekuensi 3.37 GHz berada pada -4.3251dB, sedangkan frekuensi cutoff lowpass filter pada saat frekuensi 4.78 berada pada frekuensi -9.57dB.



Gambar 9. Grafik S21 hasil pengukuran

3.6 Hasil Pengukuran S11 (Return Loss)

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa bandpass filter dengan menggunakan CRLH satu sel menunjukkan hasil yang serupa dengan hasil simulasi. Pada grafik menunjukkan, bahwa hasil pengukuran S11 frekuensi 3.37 GHz pada kisaran dibawah -15.4251 dB sedangkan untuk frekuensi 4.78 GHz berada pada -5.0112 dB. Grafik hasil pengukuran bandpass filter ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik S11 dari hasil pengukuran

Pada hasil grafik VSWR menunjukkan grafik yang berada dibawah daerah -2 dB berada didaerah yang cukup sempit yaitu diantara 3.2 GHz hingga didaerah 4.4GHz. pada saat frekuensi rendah VSWR berada dibawah batas minimum dari perancangan filter yaitu kurang dari 2, pada saat frekuensi tinggi diatas 4.4 Ghz VSWR berada diatas 2 (dua) ini menunjukkan matching filter kurang baik pada saat frekuensi tingginya. Hasil pengukuran dari VSWR dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. grafik VSWR

Pergesaran pada insertion loss dan return loss dapat disebabkan oleh beberapa faktor, pertama disebabkan nilai epsilon relatif pada substrat FR4 yang tidak sama pada tiap frekuensi sedangkan pada simulasi konstanta dielektrik dianggap ideal yaitu 4.3.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dirancang bandpass filter menggunakan saluran transmisi *Composite Right Left Handed* satu sel untuk aplikasi Ultra Wide Band teknologi. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. CRLH filter 1-cell tidak harus dalam kondisi balance dimana dalam kondisi balance $\omega_{se} = \omega_{sh}$.
2. Response frekuensi pada CRLH filter 1-cell memiliki slope yang relative curam.
3. frekuensi cutoff highpass filter pada saat frekuensi 3.37 Ghz berada pada -4.3251dB, sedangkan frekuensi cutoff lowpass filter pada saat frekuensi 4.78 berada pada frekuensi -9.57dB .
4. hasil pengukuran S11 frekuensi 3.37 GHz pada kisaran dibawah -15.4251 dB sedangkan untuk frekuensi 4.78 GHz berada pada -5.0112 dB
5. Matching filter kurang baik pada saat frekuensi tingginya, ini ditunjukkan pada saat frekuensi tinggi diatas 4.4 Ghz VSWR berada diatas 2 (dua).

Daftar Pustaka

- [1] Mike Tanahashi “*Simulation Design Technologies of RF devices for UWB*” Ansoft 2005 High Performance Applications Workshop. 27 Oktober 2005
- [2] John Schell “*Ultra Wide Band: A Brief Description of the Wave of the Future*” University Of Maryland University College. 15 March 2002.
- [3] J. Zhang, S.W. Cheung dan T.I. Yuk, “*A Compact and UWB Time-delay Line Inspired by CRLH TL Unit Cell*”. TENCON 2010.

- [4] C. Caloz dan T. Itoh, “*Electromagnetic Metamaterials : Transmission Line Theory and Microwave Applications*”, WILEY-INTERSCIENCE, John-Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ 2006.
- [5] N. Engheta dan R. W. Ziolkowski, “*Electromagnetic Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*”, Wiley and IEEE Press, 2006.
- [6] R. Marqués, F. Martín, dan M. Sorolla, “*Metamaterials With Negative Parameters: Theory, Design and Microwave Applications*”.New York: Wiley, 2008.
- [7] A. Lai, C. Caloz, dan T. Itoh, “*Composite right/left-handed transmission line metamaterials*“, IEEE Microwave Magazine, vol. 5, No. 3, pp. 34-50, September 2004.
- [8] Bo Li, Jin Ping Yang, dan Wen Wu, “*A Planar Microstrip Implementation of Dual-Composite Right/Left handed Transmission Line*”. in IEEE-ICMMT 2008
- [9] S. Kahng, dan J. Ju, “*Design of the UWB bandPass filter based on the 1 cell of microstrip CRLH-TL,*” in IEEE-ICMMT April 2008 pp. 69-72.
- [10]Shau-Gang Mao, Yu-Zhi Chueh, dan Min-Sou Wu, “*Asymmetric Dual-Passband Coplanar Waveguide Filters Using Periodic Composite Right/Left-Handed and Quarter-Wavelength Stubs*”. IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, VOL. 17, NO. 6, JUNE 2007
- [11]M. Dhieb, M. Ketata, M. Lahiani dan, H. Ghariani, “*Microstrip Bandpass Filters for Ultra Wide Band (UWB) [3.1-5.1 GHz]*”, International Journal of Information Systems and Telecommunication Engineering (Vol.1-2010/Iss.2).
- [12]Atsushi Sanada, Koichi Murakami, Shuji Aso, Hiroshi Kubo, dan kuo Awai, “*A Via-Free Microstrip Left-Handed Transmission Line*”, IEEE MTI-S Digest 2004
- [13]D. M. Pozar, “*Microwave Engineering*”, New York: J. Wiley & Sons, 1998.
- [14]I. Bahl. “*Lumped Elements for RF and Microwave Circuits*”, Artech House, Boston, 2003.
- [15]<http://forum.elektro-unsyiah.net/index.php?topic=455.0>]Permittivitas Relatif