

Prototipe Lowpass Filter Stepped Impedance Pada UMTS Untuk Sistem Rectenna

Dian Widi Astuti¹

Abstract: Rectenna is a passive element which generally consists of an antenna, an RF filter and rectifier. Rectenna serves as receiver of wireless transmission and then converted from RF wave energy into DC power without the addition of other sources. So the filter are integrated as a rectenna is required to select the frequency before entering the rectifier. The filter is needed here in the form lowpass filters that suppress the high-order harmonic value that can be caused by non linearity of the rectifier diodes. Lowpass filter is an inductor-capacitor element which passes frequencies below the cut-off frequency. The lowpass filter designed here is a form of passive filter is applied to the microstrip transmission line. The design of the lowpass filter used in UMTS applications, which operates at a frequency of 2.11 – 2.17 GHz. Thus the frequency cut-off of 3.3 GHz, and the shape in the form of stepped-impedance resonator. Stepped-impedance resonator itself is the modeling of inductors and capacitors. In designing the values obtained its insertion loss of -0.75045 dB at a frequency of 2.11 GHz at a frequency of 2.17 GHz while the obtained value -1.11672 dB. As for the parameters of return loss obtained a value of -9.08349 dB at a frequency of 2.11 GHz, while the frequency of 2.17 GHz at -7.02394 dB. The lowpass filter prototype uses two-layer printed circuit board type of Rogers 5870. In the upper layers of the printed circuit board will be dissolved while the bottom layer is used as a grounding. Five order Chebyshev filter is being used. In this design aided by calculation using Matlab, then simulated with Sonnet EM..

Keywords: Lowpass filter, microstrip line, stepped-impedance, Chebyshev, UMTS

Abstrak: Rectenna merupakan sebuah elemen pasif yang secara umum terdiri dari antena, RF filter dan penyearah. Rectenna berfungsi sebagai penerima dari transmisi wireless untuk kemudian dikonversikan dari energi gelombang RF menjadi listrik DC tanpa adanya penambahan sumber lainnya. Sehingga filter yang terintegrasi sebagai rectenna diperlukan untuk menseleksi frekuensi sebelum masuk ke penyearah. Adapun filter yang diperlukan disini berupa lowpass filter yang berfungsi menekan nilai harmonik orde tinggi yang dapat ditimbulkan oleh ketidak linearan dioda penyearah. Lowpass filter merupakan sebuah elemen induktor-kapasitor yang meloloskan frekuensi dibawah frekuensi cut-off. Adapun lowpass filter yang dirancang disini adalah berupa filter pasif yang diaplikasikan pada saluran transmisi mikrostrip. Rancangan lowpass filter tersebut digunakan pada aplikasi UMTS, yang bekerja pada frekuensi 2,11 – 2,17 GHz. Dengan demikian frekuensi cut-off-nya sebesar 3,3 GHz, dan bentuk resonatornya berupa stepped-impedance. Stepped-impedance resonator sendiri merupakan pemodelan dari induktor dan kapasitor. Pada perancangan diperoleh nilai insertion loss-nya sebesar -0,75045 dB pada frekuensi 2,11 GHz sedangkan pada frekuensi 2,17 GHz diperoleh nilai -1,11672 dB. Sedangkan untuk parameter return loss diperoleh nilai sebesar -9,08349 dB pada frekuensi 2,11 GHz sedangkan pada frekuensi 2,17 GHz sebesar -7,02394 dB. Prototipe lowpass filter ini mempergunakan printed circuit board dua lapis tipe Rogers 5870. Pada lapis yang atas dari printed circuit board tersebut akan dilarutkan sedangkan lapisan bawah dipergunakan sebagai pentanahan. Jumlah orde yang dipergunakan adalah lima dengan menggunakan metode Chebyshev. Pada perancangan ini dibantu dengan perhitungan menggunakan Matlab, kemudian disimulasikan dengan EM Sonnet.

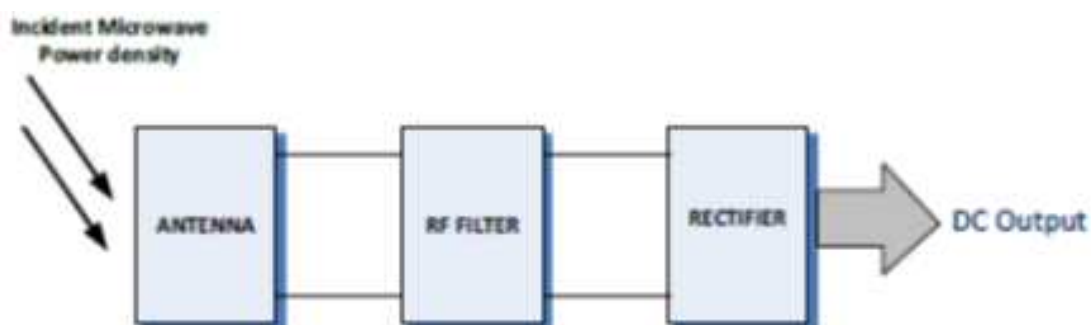
Kata kunci: Lowpass filter, saluran mikrostrip, stepped-impedance, Chebyshev, UMTS

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi dari waktu ke waktu semakin meningkat pesat dan cepat, ini ditandai dengan semakin banyaknya peralatan atau aplikasi-aplikasi baru di dunia telekomunikasi yang memberikan kemudahan dan menawarkan fitur-fitur yang menarik bagi para pengguna layanan telekomunikasi. Sejak diperkenalkannya teknologi yang memanfaatkan gelombang mikro sebagai media perambatannya atau biasa dikenal dengan teknologi *wireless*, maka teknologi ini semakin menarik untuk terus dikembangkan.

Teknologi *wireless* memiliki perkembangan sangat cepat bila dibandingkan dengan teknologi lain, karena teknologi tersebut memberikan kemudahan bagi para pengguna karena tidak menggunakan lagi media kabel sebagai media penyaluran informasi, serta pembangun sebuah jaringan *wireless* diperlukan waktu yang cepat dan biaya yang murah jika dibandingkan dengan media transmisi fisik. Disatu sisi dengan semakin banyaknya penggunaan teknologi *wireless* maka diiringi dengan regulasi dari pemerintah mengenai penggunaan pita frekuensi yang boleh dipergunakan untuk teknologi *wireless power transfer*.

Teknologi *wireless power transfer* adalah teknologi pentransferan energi tanpa kabel yang pada saat ini menjadi tren topik penelitian. Salah satu teknologinya yang dapat memberikan pengaruh besar bagi perubahan dunia dalam beberapa tahun ke depan dalam hal energi terbarukan yaitu *rectenna*.



■ Gambar 1. Konfigurasi rectenna.

¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Mercu Buana Jakarta

Rectenna (*Rectifying Antenna*) merupakan sebuah elemen pasif yang secara umum terdiri dari antena, filter dan penyearah seperti Gambar 1. *Rectenna* berfungsi sebagai penerima dari transmisi *wireless* untuk kemudian dikonversikan dari energi gelombang RF menjadi listrik DC tanpa adanya penambahan sumber lainnya.

Secara prinsip kerja, antena akan menangkap gelombang energi RF yang kemudian diteruskan sebagai masukan pada RF filter dan *rectifier*. RF filter akan mengijinkan frekuensi tertentu yang diinginkan untuk dapat diproses oleh *rectifier*. RF filter akan diletakkan diantara antena dan *rectifier* yang fungsinya untuk menekan nilai harmonik orde tinggi yang dapat ditimbulkan oleh sifat ketidak linieran dioda penyearah, yang mana nilai harmonik tersebut akan dapat menjadi aliran balik ke antena sehingga berdampak dalam menurunnya efisiensi *rectenna*. Setelah itu, daya RF yang telah terfilter akan disalurkan ke *rectifier* untuk memperoleh daya DC. Perancangan RF Filter dengan jenis filter *low pass* berbasis mikrostrip dengan tipe *stepped impedance*, hal ini ditujukan agar dapat menghilangkan jumlah penggunaan komponen sehingga berdampak pada *low cost manufacturing*. Selain itu, pemilihan *stepped impedance* juga memiliki konstruksi yang lebih sederhana, *compact* dan dapat mengkonversi nilai akurat komponen lumped dalam bentuk fix mikrostrip, sehingga jenis filter ini cocok diterapkan dalam aplikasi *rectenna*. Dengan mempergunakan pendekatan Butterworth dimana memiliki selektifitas yang kurang baik jika dibandingkan dengan Chebyshev ataupun Elliptic.

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mengaplikasikan teori rangkaian untuk merancang rangkaian filter yang akan dibuat.
2. Bagaimana merealisasikan struktur dasar *stepped impedance* dengan dibantu *software* Sonnet dan Matlab.
3. Bagaimana membuat prototipe filter dengan teknologi *microstrip*.
4. Bagaimana validasi pengukuran dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA).

Tujuan penelitian ini adalah memberikan *prototype* dari *Lowpass filter* jenis *Chebyshev* dengan *stepped impedance* pada aplikasi UMTS untuk sistem *rectenna* dan melakukan validasinya dengan alat ukur.

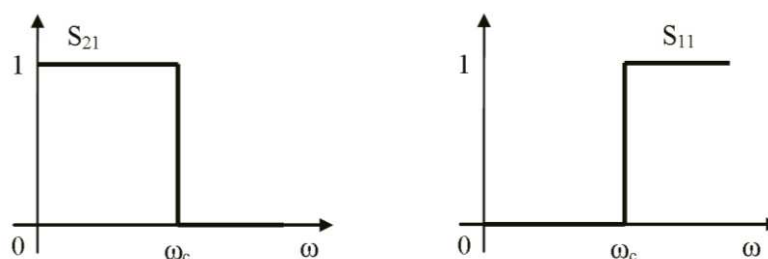
Adapun batasan dari penelitian adalah:

1. Rancangan *Low Pass Filter* dan direalisasikan dengan metode *squared open loop resonator* untuk aplikasi UMTS yang bekerja pada frekuensi 2170 MHz.
2. Tidak membahas teknologi UMTS secara mendalam.

TEORI DASAR FILTER

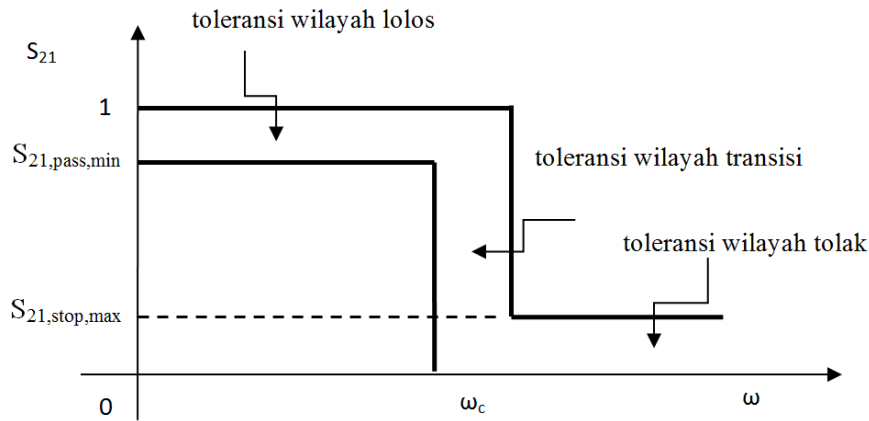
Filter Ideal

Karakteristik *lowpass filter* yang ideal memiliki sifat yang ekstrim. Pada wilayah lolos, yaitu di dalam interval frekuensi 0 sampai suatu frekuensi batas tertentu yang biasa disebut dengan frekuensi *cut-off*, ω_c seluruh sinyal yang masuk akan diteruskan, sedangkan mulai frekuensi *cut-off* sampai tak terhingga maka seluruh sinyal yang masuk akan ditolak. Seluruh sinyal diteruskan, artinya faktor refleksi dari sinyal di frekuensi ini bernilai $S_{11} = 0$ atau $S_{11,dB} = -\infty$ dB sedangkan faktor transmisinya $S_{21} = 1$ atau $S_{21,dB} = 0$ dB. Pada saat sinyal ditolak secara sempurna (di wilayah tolak/stop band) berlaku kebalikannya, yaitu $S_{11} = 1$ atau $S_{11,dB} = 0$ dB dan $S_{21} = 0$ atau $S_{21,dB} = -\infty$ dB. Gambar 2 menunjukkan karakteristik dari *lowpass filter* yang ideal.



■ **Gambar 2.** Kiri: karakteristik refleksi ideal dari filter lolos bawah, kanan: karakteristik transmisi ideal dari filter lolos bawah.

Filter ideal yang dibahas di atas secara praktis tidak mungkin untuk direalisasikan. Untuk tetap bisa membuat filter yang secara teknis bekerja dengan relatif baik, digunakan pendekatan-pendekatan. Pendekatan ini dilakukan dengan memodifikasi spesifikasi ideal di atas menjadi spesifikasi realistik. Spesifikasi yang realistik adalah dengan memberikan toleransi-toleransi dari karakteristik ideal tersebut. Gambar 3 menunjukkan tiga toleransi. Yang pertama adalah toleransi pada wilayah lolos, diperbolehkannya ada sebagian energi sinyal yang tidak diloloskan, sehingga menghasilkan S_{21} yang sedikit di bawah nilai 1, atau sedikit di bawah nilai 0 dB. Toleransi kedua diberikan pada interval tolak, bahwa tidak seluruh energi sinyal harus ditolak, ada sebagian yang diteruskan, sehingga S_{21} sedikit di atas nilai 0, atau $S_{21,dB} > -\infty$ dB. Toleransi ketiga diberikan pada transisi antar wilayah lolos dan tolak, bahwa perubahan tidak secara drastis terjadi.



■ **Gambar 3.** Karakteristik filter riil untuk faktor transmisi filter lolos bawah.

Dengan toleransi di Gambar 3, terdapat beberapa respon pendekatan yang telah dilakukan, misalnya dengan respon datar maksimal (*maximally flat characteristics*) atau aproksimasi Butterworth. Pendekatan ini cukup mudah, tetapi tidak memanfaatkan toleransi pertama di atas dengan optimal. Pendekatan lainnya, misalnya Chebyshev dan Elips, dengan effort yang sama, memberikan hasil yang lebih baik.

Filter dengan Pendekatan Chebyshev

Pendekatan filter Chebyshev memungkinkan adanya *ripple* pada wilayah lolos (*passband*), dan sedatar mungkin pada wilayah tolak seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Kuadrat amplitudo fungsi transfer yang mendeskripsikan pada tipe respon ini diberikan dengan persamaan

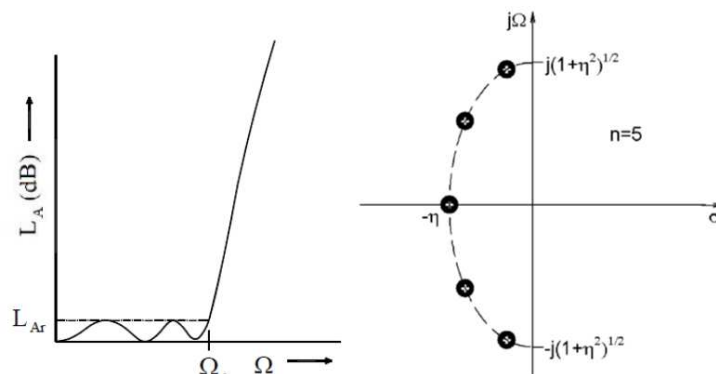
$$|S_{21}(j\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_n^2(\Omega)} \quad (1)$$

dimana konstanta *ripple* ε berhubungan dengan *ripple passband* L_{Ar} , dalam satuan dB, yang diberikan

$$\varepsilon = \sqrt{10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1} \quad (2)$$

$T_n(\Omega)$ adalah fungsi Chebyshev tipe pertama dengan ordo n , yang didefinisikan sebagai

$$T_n(\Omega) = \begin{cases} \cos(n \cos^{-1} \Omega) & \text{untuk } |\Omega| \leq 1 \\ \cosh(n \cosh^{-1} \Omega) & \text{untuk } |\Omega| \geq 1 \end{cases} \quad (3)$$



■ **Gambar 4.** Respons *lowpass* filter dan distribusi *pole* untuk pendekatan Chebyshev.

Pada prototipe *lowpass* filter dengan pendekatan Chebyshev memiliki fungsi transfer yang diberikan pada persamaan (1) dengan *ripple passband* L_{Ar} dB dan frekuensi *cut-off* $\Omega_c = 1$, nilai elemen untuk dua kutub jaringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$g_0 = 1 \quad (4)$$

$$g_1 = \frac{2}{\gamma} \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right) \quad (5)$$

$$g_i = \frac{1}{g_{i-1}} \frac{4 \sin \left[\frac{(2i-1)\pi}{2n} \right] \cdot \sin \left[\frac{(2i-3)\pi}{2n} \right]}{\gamma^2 + \sin^2 \left[\frac{(i-1)\pi}{n} \right]} \text{ untuk } i = 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

$$g_{n+1} = \begin{cases} 1 & \text{untuk } n \text{ ganjil} \\ \coth^2 \left(\frac{\beta}{4} \right) & \text{untuk } n \text{ genap} \end{cases} \quad (7)$$

dimana

$$\beta = \ln \left[\coth \left(\frac{L_{Ar}}{17.37} \right) \right] \quad (8)$$

$$\gamma = \sinh \left(\frac{\beta}{2n} \right) \quad (9)$$

Tabel 1 memperlihatkan beberapa tipe nilai elemen untuk variasi *ripple passband* L_{Ar} dan ordo filter dari $n = 1$ sampai 9.

Untuk mendapatkan ordo yang tepat dengan spesifikasi yang diberikan, yaitu ripple di wilayah lolos sebesar L_{Ar} dB, redaman minimum di wilayah tolak L_{As} dB pada $\Omega = \Omega_s$, maka prototipe *lowpass* dengan pendekatan Chebyshev didapat hubungan

$$n \geq \frac{\cosh^{-1} \sqrt{\frac{10^{0,1L_{A,s}} - 1}{10^{0,1L_{A,r}} - 1}}}{\cosh^{-1} \Omega_s} \quad (10)$$

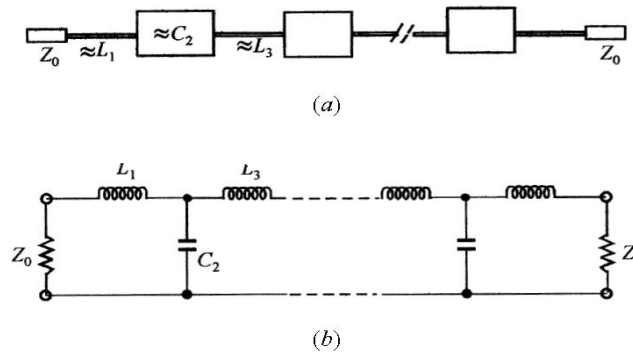
■ **Tabel 1.** Nilai komponen untuk Filter Chebyshev

For passband ripple $L_{Ar} = 0.1$ dB

n	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}
1	0.3052	1.0								
2	0.8431	0.6220	1.3554							
3	1.0316	1.1474	1.0316	1.0						
4	1.1088	1.3062	1.7704	0.8181	1.3554					
5	1.1468	1.3712	1.9750	1.3712	1.1468	1.0				
6	1.1681	1.4040	2.0562	1.5171	1.9029	0.8618	1.3554			
7	1.1812	1.4228	2.0967	1.5734	2.0967	1.4228	1.1812	1.0		
8	1.1898	1.4346	2.1199	1.6010	2.1700	1.5641	1.9445	0.8778	1.3554	
9	1.1957	1.4426	2.1346	1.6167	2.2054	1.6167	2.1346	1.4426	1.1957	1.0

Filter Lolos Bawah Stepped-Impedance

Di sini dibahas perancangan filter *lowpass* dengan menggunakan perubahan impedansi dari saluran transmisi mikrostrip. Hal ini mudah dilakukan dengan cara mengubah lebar dari strip saluran transmisi ini dengan suatu panjang tertentu dan menggabungkannya secara berbaris seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.



■ **Gambar 5.** Struktur filter *lowpass* dengan perubahan lebar strip dan rangkaian penggantinya.

Karena panjang setiap strip diandaikan jauh lebih pendek dari panjang gelombang saluran transmisi di sana, potongan saluran transmisi ini memberikan efek seperti elemen terkonsentrasi. Saluran transmisi yang

memiliki impedansi gelombang tinggi (potongan dengan lebar strip kecil) berperan sebagai induktansi yang serial dan potongan saluran transmisi dengan impedansi gelombang rendah (dengan lebar strip yang besar) berperan seperti kapasitansi yang menyilang ke *ground*. Sehingga struktur mikrostrip di Gambar 18a bisa digantikan dengan rangkaian yang mengandung *LC* seperti tampak di Gambar 18b.

Perancangan filter dilakukan dari dua arah. Arah pertama dengan metoda pendekatan seperti yang diterangkan di bagian sebelumnya, sehingga, jika spesifikasi filter diberikan, dihitung sampai pada nilai *L* dan *C*. Sekarang arah yang lain bertugas menentukan lebar strip dari mikrostrip ini sehingga rangkaian penggantinya memiliki nilai yang sama seperti *L* dan *C* ditemui di atas.

Nilai dari *L* dan *C* ditentukan oleh impedansi gelombang dan panjang potongan mikrostrip tersebut. Secara praktis kita akan mengambil suatu nilai impedansi gelombang tertentu dengan beberapa aturan:

- Nilai impedansi gelombang saluran transmisi mikrostrip penyambung ke konektor memiliki nilai 50 ohm. Impedansi gelombang potongan yang lebar (Z_{0C}) harus lebih kecil dari 50 ohm dan potongan yang sempit (Z_{0L}) harus lebih besar
- Nilai Z_{0C} jangan terlalu kecil, karena jika terlalu kecil, lebar saluran transmisi ini terlalu besar yang bisa berakibat pada terjadinya resonansi transversal
- Nilai Z_{0L} jangan terlalu besar, jika ya, akan menghasilkan strip yang terlalu tipis, yang secara teknologis lebih sulit untuk dibuat.

Setelah mendapatkan lebar dari masing-masing strip (*W*) dan juga permitivitas relatif efektif dari masing-masing potongan strip ini, bisa dihitung panjang gelombang efektif yang bekerja di sana, hal ini penting untuk menentukan panjang dari masing-masing strip (*l*).

Dengan pendekatan sederhana bahwa sebuah induktor bisa dibuat dari potongan mikrostrip, maka panjang dari saluran transmisi ini bisa dihitung dengan

$$\omega_c L = Z_{0L} \sin\left(\frac{2\pi l_L}{\lambda_{gL}}\right) \Rightarrow l_L = \frac{\lambda_{gL}}{2\pi} \sin^{-1}\left(\frac{\omega_c L}{Z_{0L}}\right) \quad (11)$$

Demikian halnya juga dengan perhitungan panjang mikrostrip untuk model kapasitor bisa dihitung dengan

$$\omega_c C = \frac{1}{Z_{0C}} \sin\left(\frac{2\pi l_C}{\lambda_{gC}}\right) \Rightarrow l_C = \frac{\lambda_{gC}}{2\pi} \sin^{-1}(\omega_c C Z_{0C}) \quad (12)$$

Seperti yang akan dilihat nanti, pendekatan ini tidak terlalu memberikan hasil yang tepat, karena adanya pengaruh komponen di sekitarnya (reaktansi serial dan parallel), sehingga panjang yang didapatkan di atas terlalu besar dibandingkan yang dibutuhkan, sehingga nilai *L* dan *C* yang didapatkan lebih besar dari seharusnya, yang mengakibatkan frekuensi *cut-off* akan bergeser ke nilai yang lebih kecil. Dengan memasukkan pengaruh impedansi serial dan admitansi parallel ke rumus di atas, maka dengan dua persamaan yang saling terkait berikut ini.

$$\omega_c L = Z_{0L} \sin\left(\frac{2\pi l_L}{\lambda_{gL}}\right) + Z_{0C} \tan\left(\frac{\pi l_C}{\lambda_{gC}}\right) \quad (13)$$

$$\omega_c C = \frac{1}{Z_{0C}} \sin\left(\frac{2\pi l_C}{\lambda_{gC}}\right) + \frac{2}{Z_{0L}} \tan\left(\frac{\pi l_L}{\lambda_{gL}}\right) \quad (14)$$

Persamaan di atas adalah sistim persamaan dengan dua variabel yang saling terkait secara non-linier. Metoda solusi persamaan tidak linier ini adalah metoda iterasi, yaitu memulai dengan suatu nilai tebakan tertentu misalnya dengan l_C yang didapatkan pada persamaan di atas, kemudian menghitung nilai l_L dengan persamaan di bawah ini

$$l_L = \frac{\lambda_{gL}}{2\pi} \sin^{-1}\left(\frac{\omega_c L - Z_{0C} \tan\left(\frac{\pi l_C}{\lambda_{gC}}\right)}{Z_{0L}}\right) \quad (15)$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai l_C yang telah diperbaiki dengan persamaan

$$l_C = \frac{\lambda_{gC}}{2\pi} \sin^{-1} \left(Z_{0C} \omega_C C - \frac{2Z_{0C}}{Z_{0L}} \tan \left(\frac{\pi l_L}{\lambda_{gL}} \right) \right) \quad (16)$$

Proses ini dilakukan secara iteratif, sampai nilai-nilai l_L dan l_C tidak berubah lagi secara signifikan, yang artinya proses telah berkonvergensi.

METODOLOGI PENELITIAN

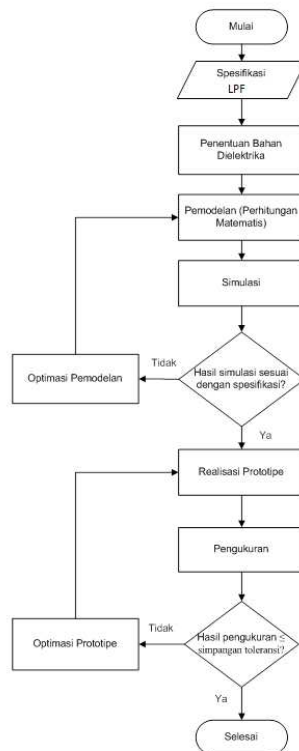
Pada bagian ini akan membahas mengenai metodologi yang dilakukan dalam perancangan sampai merealisasikan *Lowpass filter* dengan frekuensi *cut-off* 3,3 GHz yang diaplikasikan pada sistem telekomunikasi UMTS. Perancangan filter mikrostrip mempergunakan *stepped impedance*. Dalam proses perancangan filter, akan ada beberapa langkah penting yang dilakukan guna memperoleh sebuah filter yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan :

1. Penentuan spesifikasi filter serta pemilihan material PCB yang akan digunakan.
2. Penentuan tipe/bentuk resonator dan perancangan dimensi resonator secara manual dan dibantu dengan perangkat lunak *Matlab* dan *Sonnet*, sesuai dengan karakteristik yang diinginkan.
3. Simulasi desain yang telah dirancang dengan menggunakan *EM Sonnet* untuk mendapatkan parameter S_{11} (*return-loss*) dan S_{21} (*insertion-loss*).
4. Fabrikasi *Lowpass filter* dengan menggunakan material PCB.
5. Pengukuran *Lowpass filter* menggunakan *Vector Network Analyzer*.

Langkah-langkah tersebut akan dijelaskan lebih detail pada diagram alir perancangan.

Diagram Alir perancangan dan realisasi *Lowpass Filter*

Penelitian yang dilakukan melalui beberapa tahap, yang ditampilkan dalam bentuk diagram alir (*flow-chart*), seperti ditunjukkan dalam Gambar 6 di bawah.



■ **Gambar 6.** Diagram Alir perancangan dan realisasi *Lowpass stepped impedance*.

Perlengkapan yang digunakan dalam penelitian.

Peralatan yang digunakan dalam perancangan filter, terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat lunak digunakan untuk membantu dalam proses perhitungan matematis serta digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik filter yang dirancang. Sedangkan perangkat keras digunakan untuk alat pensimulasi, fabrikasi dan pengukuran.

Perangkat Lunak

- EM Sonnet V.11.54*, perangkat lunak ini digunakan untuk mendapatkan nilai perhitungan kopling antar resonator, serta dalam simulasi perancangan filter, digunakan sebagai pensimulasi, untuk mengetahui tanggapan respon frekuensi dari filter seperti *impedansi input*, *insertion loss*, dan *return loss*.
- Matlab V.7.4.0 (R2007a)*, perangkat lunak ini digunakan untuk menghitung nilai kopling matriks secara matematis dalam perancangan *Bandpass filter*.
- CorelDRAW V.X4*, perangkat lunak ini digunakan untuk membuat gambar desain filter, yang akan diperlukan pada saat pembuatan *film etching* PCB.
- Microsoft Excel 2010*, perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data hasil simulasi dan pengukuran.

Perangkat Keras

- Vector Network Analyzer* (90 kHz – 13.6 GHz), yang digunakan untuk mengukur karakteristik *bandwidth* dari filter, seperti *return loss*, *insertion loss*.
- Substrat* mikrostrip *Rogers 5870* dengan ketebalan 0,787 mm.
- Konektor SMA dengan *impedansi* karakteristik 50 Ohm.

Spesifikasi Rancangan Lowpass Filter

Perancangan *Lowpass filter* dimulai dengan menentukan spesifikasi perangkat yang diinginkan. Adapun spesifikasi *Lowpass Filter* untuk aplikasi UMTS yang akan dirancang diharapkan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Frekuensi kerja: UMTS (2,11 – 2,17 GHz)
- Frekuensi *cut-off* (f_c) : 3,3 GHz
- Insertion Loss Bandwidth* > -3 dB
- Return Loss Bandwidth* < -10 dB
- Respon frekuensi: Chebyshev

Pemilihan Bahan Dielektrika

Lowpass filter yang dirancang akan direalisasikan dengan menggunakan *substrat* keramik yaitu dari material PCB *Rogers 5870*. Pada proses pembuatan filter mikrostrip, material PCB akan diproses menggunakan *photo etching*, dengan menghilangkan sebagian permukaan plat konduktor pada bagian atas, sehingga tersisa bentuk plat konduktor sesuai dengan desain filter yang diinginkan. Kemudian plat konduktor bagian bawah, tetap tanpa dilakukan *etching*, karena akan digunakan sebagai jalur *ground*. Pada penelitian ini digunakan PCB *Rogers 5870* dengan spesifikasi yang diperlihatkan pada Tabel 4.

■ Tabel 2. Spesifikasi Material PCB *Rogers 5870*

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	2,33
2	<i>Losstan /Faktor disipasi</i>	0,0012
3	Tebal bahan <i>dielektrik</i>	0,787 mm
4	Tebal Plat konduktor	0,035 mm

PERANCANGAN DAN REALISASI FILTER.

Perancangan Stepped-Impedance

Dengan memperhatikan spesifikasi filter yang ingin yaitu dengan *return loss* sebesar -12 dB pada suhu ruang maka diperoleh peredaman maksimal di wilayah lolos (*passband ripple*) sebesar:

$$L_{Ar} = -10 \log(1 - 10^{0,1L_R}) \text{ dB}$$

$$= -10 \log(1 - 10^{0,1-12}) = 0,283 \text{ dB}$$

Dengan mempergunakan persamaan 2.20, dimana pada frekuensi 2025 – 2050 MHz $L_{As} = 31 \text{ dB}$ pada $\Omega_s = 2,0375 \text{ GHz}$ diperoleh jumlah ordo *lowpass* filternya adalah $n \geq 4,17$, maka dipilihlah $n = 5$. Agar mendapatkan spesifikasi *lowpass filter* yang melewati frekuensi di bawah 2,17 GHz maka diperoleh frekuensi *cut-off* sebesar 3,3 GHz. Impedansi beban dan sumber adalah 50 ohm.

Dengan mempergunakan iterasi persamaan 4 sampai 9 maka diperoleh nilai elemen untuk prototipe *lowpass filter* adalah sebagai berikut,

$$g_0 = g_6 = 1 \quad g_2 = g_4 = 1,2992$$

$$g_1 = g_5 = 1,4817 \quad g_3 = 2,3095$$

dengan *cut-off* ternormalisasi $\Omega_c = 3,3$. Dengan menggunakan transformasi yang telah dijelaskan sebelumnya pada persamaan 26,

$$L_1 = L_5 = \left(\frac{Z_0}{g_0} \right) \left(\frac{\Omega_c}{2\pi f_c} \right) g_1 = \left(\frac{50}{1} \right) \left(\frac{1}{2\pi \cdot 3,3 \cdot 10^9} \right) 1,4817 = 3,573 \times 10^{-9} \text{ H}$$

$$C_2 = C_4 = \left(\frac{g_0}{Z_0} \right) \left(\frac{\Omega_c}{2\pi f_c} \right) g_2 = \left(\frac{1}{50} \right) \left(\frac{1}{2\pi \cdot 3,3 \cdot 10^9} \right) 1,2992 = 1,2532 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$L_3 = \left(\frac{Z_0}{g_0} \right) \left(\frac{\Omega_c}{2\pi f_c} \right) g_3 = \left(\frac{50}{1} \right) \left(\frac{1}{2\pi \cdot 3,3 \cdot 10^9} \right) 2,3095 = 5,5692 \times 10^{-9} \text{ H}$$

Filter ini difabrikasikan pada substrat Rogers 5870 dengan konstanta permitivitas relatif $\epsilon_r = 2,33$ dan ketebalan substrat $h = 0,787$ mm. Untuk perancangan dipilih $Z_{0L} = 120$ ohm dan $Z_{0C} = 38$ ohm. Dengan menggunakan persamaan-persamaan tersebut, untuk mendapatkan $W_C, W_0, W_L, \lambda_{gC}, \lambda_{g0}$ dan λ_{gL} dengan hasil yang di tampilkan sebagai berikut.

■ Tabel 3. Data perancangan mikrostrip untuk *lowpass filter*

Impedansi gelombang (ohm)	$Z_{0C} = 38$	$Z_0 = 50$	$Z_{0L} = 120$
Lebar mikrostrip (mm)	$W_C = 3,4636$	$W_0 = 2,3375$	$W_L = 0,4307$
Panjang gelombang saltrans (mm)	$\lambda_{gC} = 63,9429$	$\lambda_{g0} = 64,7499$	$\lambda_{gL} = 67,5103$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai panjang mikrostrip tersebut dapat mempergunakan persamaan 15 dan 16 yang akan didapat,

$$l_1 = l_5 = \frac{\lambda_{gL}}{2\pi} \sin^{-1} \left(\frac{\omega_C L}{Z_{0L}} \right)$$

$$= \frac{67,5103}{2\pi} \sin^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 3,3 \cdot 10^9 \cdot 3,573 \cdot 10^{-9}}{120} \right) = 7,1494 \text{ mm}$$

dan

$$l_3 = \frac{\lambda_{gL}}{2\pi} \sin^{-1} \left(\frac{\omega_C L}{Z_{0L}} \right)$$

$$= \frac{67,5103}{2\pi} \sin^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 3,3 \cdot 10^9 \cdot 5,5692 \cdot 10^{-9}}{120} \right) = 13,9174 \text{ mm}$$

$$l_2 = l_4 = \frac{\lambda_{gC}}{2\pi} \sin^{-1} (\omega_C C Z_{0C})$$

$$= \frac{\lambda_{gC}}{2\pi} \sin^{-1} (2\pi \cdot 3,3 \cdot 10^9 \cdot 1,2532 \cdot 10^{-12} \cdot 38) = 14,3692 \text{ mm}$$

Sehingga hasilnya diperlihatkan pada Tabel 4.

■ Tabel 4. Data perancangan mikrostrip untuk *lowpass filter*

Impedansi gelombang (ohm)	$Z_{0C} = 38$	$Z_0 = 50$	$Z_{0L} = 120$
Lebar mikrostrip (mm)	$W_C = 3,4636$	$W_0 = 2,3375$	$W_L = 0,4307$
Panjang gelombang saltrans (mm)	$\lambda_{gC} = 63,9429$	$\lambda_{g0} = 64,7499$	$\lambda_{gL} = 67,5103$
Panjang Mikrostrip (mm)	$C_2 = C_4 = 10$	Secukupnya	$L_1 = L_5 = 8,2 \quad L_3 = 1$

Simulasi Lowpass Filter Stepped-Impedance

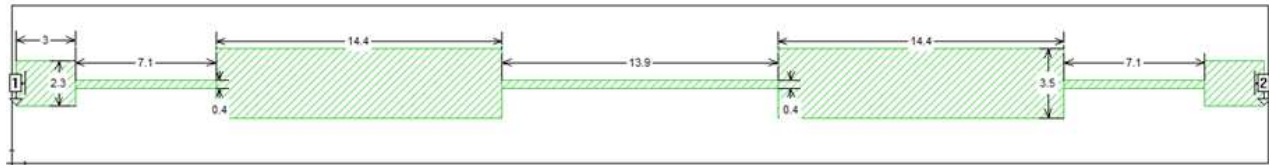
Sebelum dilakukan prototipe terhadap filter maka terlebih dahulu dilakukan simulasi dengan mempergunakan software *EM Sonnet V.11.54*. Dimana pada simulasi ini mempergunakan material substrat PCB yang akan dipergunakan dalam merealisasikan filter. Adapun substrat PCB yang dipergunakan adalah tipe RO 5870 dari perusahaan Rogers Corp (www.rogerscorp.com) dengan ketebalan 0,787 mm (0,031 inch). Substrate dengan tipe RO 5870 ini memiliki permitivitas relatif sebesar 2,33 dan *loss tangent* 0,0012. Supaya memiliki

impedansi gelombang sebesar 50 Ohm, mikrostrip yang dibuat di atas substrat dengan data tersebut, harus memiliki lebar 2,34 mm. Strip dengan lebar 2,34 mm ini akan digunakan sebagai saluran transmisi penghubung gerbang (*port*) dan filter yang dirancang.

Target dari penelitian ini adalah untuk merancang filter lolos bawah dengan teknik step-impedansi dengan pendekatan Chebychev. Dimana pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap peredaman maksimal di wilayah lolos sebesar 0,3, 0,1 dan 1 dB. Dengan harapan hanya meloloskan frekuensi di bawah 2,17 GHz maka ditetapkan frekuensi *cut-off* dari filter lolos bawah ini sebesar 3,3 GHz.

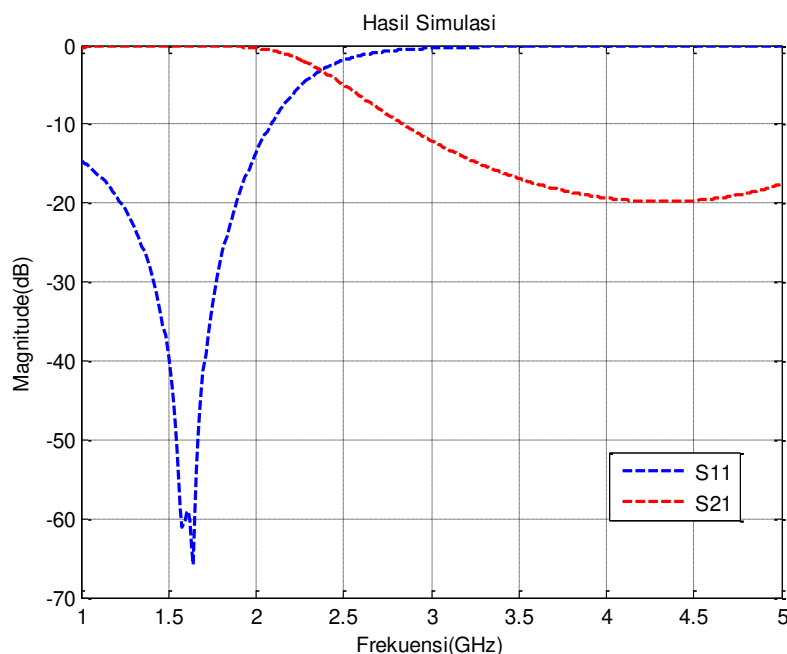
Pada perancangan awal digunakan aproksimasi Chebychev ordo $N=3$, serta menggunakan model L-C-L-C-L, filter yang terbentuk dari struktur impedansi tinggi-rendah-tinggi-tinggi-rendah. Untuk Z_{OL} digunakan nilai 120 ohm dan untuk Z_{OC} dipakai 38 ohm.

Sesuai dengan Tabel 4 maka bentuk rancangan prototipe *lowpass filter* dapat diperlihatkan seperti Gambar 7.



■ Gambar 7. Model pancangan *lowpass filter*.

Dengan mempergunakan aplikasi software *EM Sonnet V.11.54*, diperoleh hasil yang diperlihatkan pada Gambar 8.

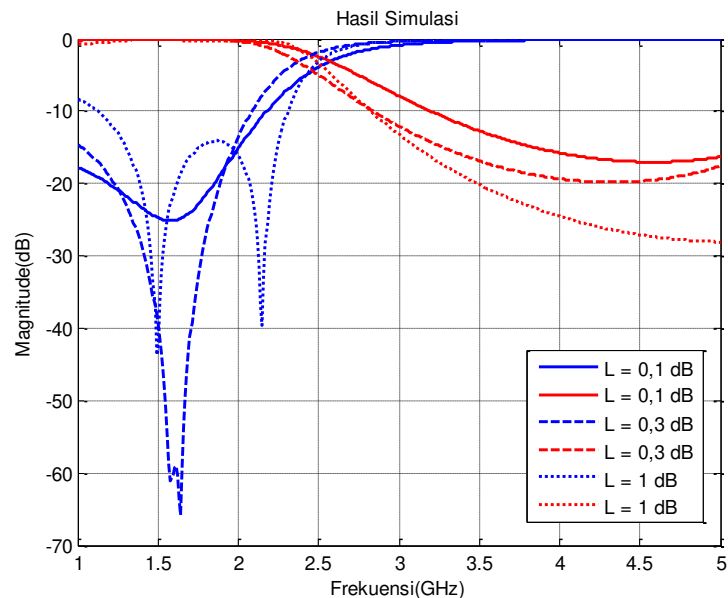


■ Gambar 8. Hasil simulasi.

Pada Gambar 8 terlihat bahwa dengan frekuensi *cut-off* sebesar 3,3 GHz maka didapatkan filter yang memiliki karakteristik dapat melewatkan frekuensi di bawah 2,171 GHz. Pada Gambar 8 terlihat bahwa faktor transmisi (S_{21}) pada frekuensi 2,11 GHz nilai *insertion loss*-nya sebesar -0,75045 dB sedangkan pada frekuensi 2,17 GHz diperoleh nilai -1,11672 dB. Dengan demikian pada frekuensi 2,11 – 2,17 GHz pada aplikasi UMTS, filter ini mampu memberikan kinerja yang baik dikarenakan nilai *insertion loss* yang mendekati nilai nol. *Insertion loss* merupakan parameter yang sangat penting dalam pengukuran filter, karena nilai *insertion loss* yang kecil atau mendekati nilai nol berarti filter tersebut mampu menangkap dengan baik daya dikirimkan oleh S_{11} .

Selain parameter *insertion loss*, ada parameter lain yang perlu diperhatikan dalam menganalisa suatu filter, parameter tersebut adalah *return loss*. *Return loss* merupakan bentuk lain dari faktor refleksi, *Return loss* dinyatakan dalam bentuk negatif logaritma (desiBell/dB) dari harga mutlak faktor refleksi. Jika harga mutlak dari faktor refleksi bernilai dari 0 sampai 1, maka *return loss* akan memiliki nilai minimal 0 dB sampai maksimal tak terhingga. Semakin besar nilai *return loss* maka semakin kecil faktor refleksinya begitu juga sebaliknya.

Pada Gambar 8 terlihat bahwa pada frekuensi 2,11 GHz diperoleh nilai *return loss* sebesar -9,08349 dB sedangkan pada frekuensi 2,17 GHz memiliki *return loss* sebesar -7,02394 dB. Karena di hasilkan *return loss* yang masih cukup besar (> -10 dB) maka dilakukan perbaikan dengan memperbaiki *ripple* pada transmisi atau pun dengan penambahan jumlah orde. Kemudian dilakukan berbagai percobaan dengan faktor transmisi dan refleksi dengan beberapa *ripple* yang berbeda, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.



■ **Gambar 9.** Hasil simulasi dengan *ripple* yang berbeda.

Pada Gambar 9 terlihat bahwa dengan menggunakan *ripple* yang besar maka akan diperoleh selektifitas *lowpass filter* yang lebih baik.

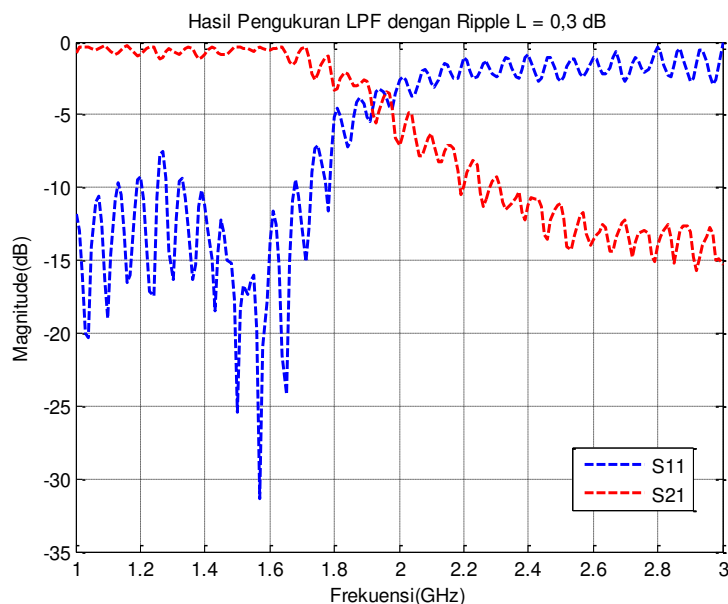
Fabrikasi dan Pengukuran Filter

Dilakukan fabrikasi filter dengan menggunakan substrat PCB RO 5870 dengan *ripple* $L = 0,3$ dB diperlihatkan pada Gambar 10.



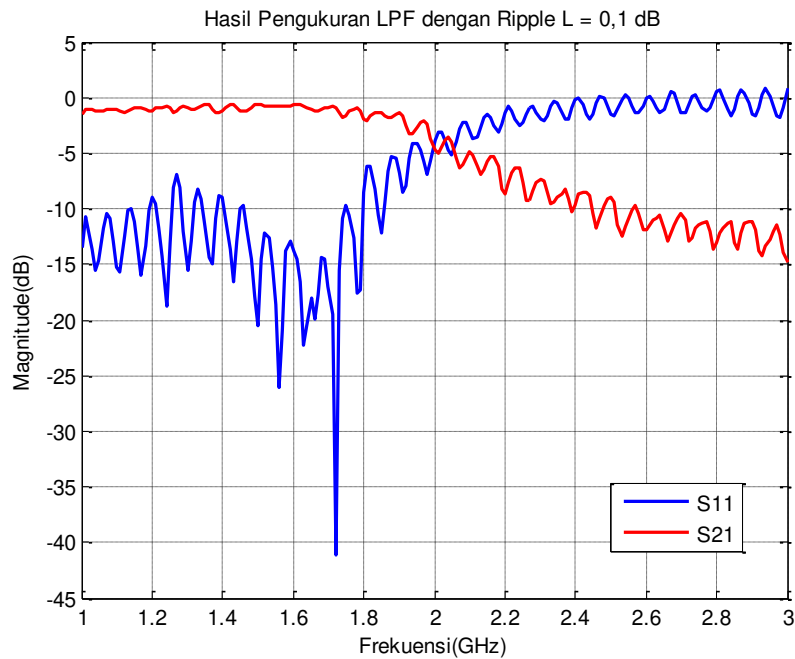
■ **Gambar 10.** Prototipe dari LPF dengan $L = 0,3$ dB

Sedangkan dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (90 kHz – 13.6 GHz), dilakukan pengukuran terhadap karakteristik filter, seperti *return loss*, *insertion loss*. Adapun hasil pengukuran LPF dengan *ripple* $L = 0,3$ dB diperlihatkan pada Gambar 11.



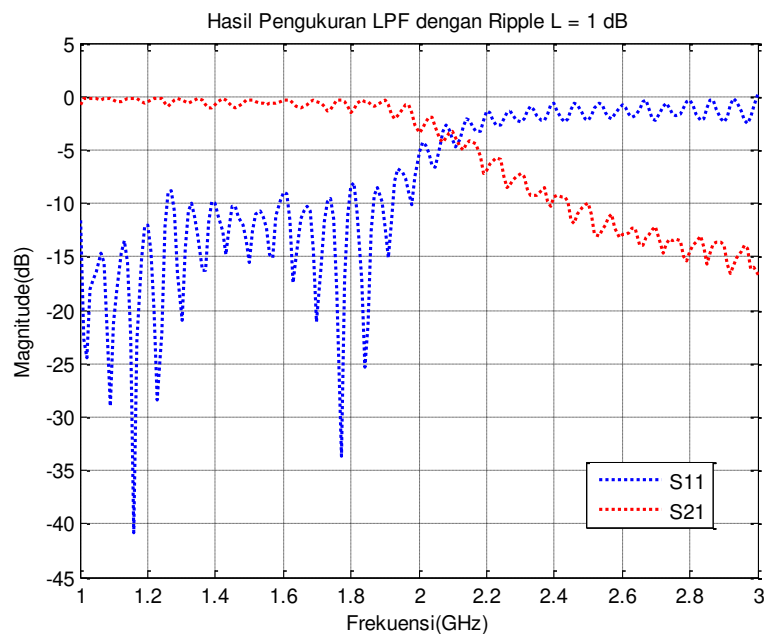
■ **Gambar 11.** Hasil pengukuran LPF dengan *ripple* $L = 0,3$ dB.

Pada Gambar 11 terlihat *ripple* yang sangat rapat kemungkinan karena jarak pengukuran yang terlalu rapat.



■ **Gambar 12.** Hasil pengukuran LPF dengan *ripple* $L = 0,1$ dB.

Sedangkan hasil pengukuran dari hasil prototipe LPF dengan *ripple* $L = 0,1$ dB diperlihatkan pada Gambar 12. Begitu juga dengan hasil prototipe untuk LPF dengan *ripple* $L = 1$ dB yang diperlihatkan pada Gambar 13.



■ **Gambar 13.** Hasil pengukuran LPF dengan *ripple* $L = 1$ dB.

Pada gambar ketiga di atas (Gambar 11, 12 dan 13) terlihat bahwa ketiga gambar tersebut terjadi *ripple* dengan kerapatan yang sangat dekat, kemungkinan hal ini disebabkan oleh pengaturan jarak saat pengukuran. Hasil prototipe LPF dengan *ripple* $L = 1$ dB diperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan dengan Gambar 11 dan Gambar 12 dimana ketiga prototipe tersebut mempergunakan frekuensi *cut-off* yang sama yaitu 3,3 GHz. Walau mempergunakan frekuensi *cut-off* yang sama terjadi perbedaan dalam memberikan nilai Z_{oL} yang semakin besar. Hal ini mengakibatkan lebar strip (w) yang terlalu tipis yaitu sebesar 0,2015 mm walaupun masih dapat difabrikasi dengan foto etching.

Terjadi pergeseran batas bawah frekuensi yang dilewatkan oleh *lowpass filter* yaitu jika pada perancangan diharapkan batas frekuensi bawahnya adalah 2,17 GHz sedangkan pada hasil prototipe dengan *ripple* $L = 1$ dB dihasilkan sebesar 1,9 GHz, seperti yang terlihat pada Gambar 13. Dengan membandingkan *ripple* dengan selektifitas filter dari ketiga Gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar *ripple* maka semakin baik

selektifitas filter yang dihasilkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian perancangan dan realisasi *Low Pass Filter* dengan *Stepped-Impedance* dapat kami tarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Diperoleh *ripple* pada setiap prototipe filter yang kemungkinan disebabkan oleh pengaturan antar titik pengamatan pada saat pengukuran.
2. Dari hasil simulasi dan pengukuran LPF dengan perbedaan *ripple* terlihat bahwa semakin besar *ripple* maka akan semakin selektif filter tersebut, hanya saja yang perlu menjadi perhatian adalah akan semakin besar nilai Z_{oL} yang mengakibatkan semakin tipis ketebalan filter yang dipergunakan.
3. Terjadi pergeseran frekuensi batasan bawah dari *lowpass filter* yang dihasilkan berkisar 0,27 – 0,47 GHz
4. Pada perancangan dengan mempergunakan orde $n = 5$ dengan pendekatan Chebyshev ternyata masih belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, hal ini terjadi kemungkinan karena jumlah penggunaan orde yang kecil.

Saran

Setelah kami melakukan penelitian ini, saran yang kami berikan untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Perlu dilakukannya penelitian untuk pembuatan prototipe suatu filter dengan mempergunakan permitivitas yang besar tetapi memiliki ketebalan material yang tipis agar dihasilkan selektifitas yang lebih baik dan hemat tempat.
2. Dalam pembuatan sebuah filter sebaiknya menggunakan material yang memiliki faktor disipasi yang kecil, semakin kecil faktor disipasi akan didapatkan karakteristik filter yang lebih baik.
3. Dalam perancangan dan perhitungan dimensi resonator filter sebaiknya dipastikan bahwa nilai permitifitas, ketebalan bahan, dielektrik *loss tan* (δ) dan parameter-parameter lainnya sudah sesuai antara material dengan angka diperhitungan dan simulasi, sehingga tidak akan didapat pergeseran frekuensi antara spesifikasi awal dengan hasil pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Vinoth Kumar, Pragati Patel, Ashol Mittal and Sok De, “Design Analysis and Fabrication of Rectenna for Wireless Power Transmission – Virtual Battery”, IEEE Conference Publications, pp 1 – 4, February 2012.
- [2] S.Sheikh Mohammed, K.Ramasamy, T.Shanmuganatham, “Wireless Power Transmission – A Next Generation Power Transmission System”, International Journal of Computer Applications 90975-8887, Volume 1. No.13, 2010.
- [3] Shailendra Singh, P.K.Singhal, Anshul Agarawal, Akhilesh Gupta, “Patch Antenna with Lowpass Filter Design to Design”, International Journal of Electronics and Computer Science Engineering, ISSN-2277-1956, 2012.
- [4] David m. Pozar, “Microwave Engineering”, John Willey and Sons, 2010.
- [5] Hong, J.S, Lancaster, M.J. (2011). *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. Wiley, New York.
- [6] Yorashaki Matha Leza dan Fitri Yuli Zulkifli, “Desain *Low Pass Filter Stepped Impedance* pada Frekuensi WLAN untuk Sistem *Rectenna*” SMAP 2014, vol. 3 p4, Oktober 2014.
- [7] www.sonetsoftware.com (2012).
- [8] NN (2009). Matlab, www.matlabwork.com