

**DESAIN DAN ANALISIS KERJA *BANDPASS FILTER*
PADA *ULTRA WIDEBAND* BERBASIS
METAMATERIAL SEL UNIT *COMPOSITE*
RIGHT/LEFT HANDED TRANSMISSION-LINE
DENGAN *NOTCH BAND* PADA FREKUENSI
5.2 GHz – 5.8 GHz**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



**Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 197210012003121002**



**Prasetyono Hari Mukti, ST., MT., MSc.
NIP. 198409132012121002**



Design and Analysis of Ultra Wideband Bandpassfilter based on Composite Right/Left Handed Transmission-Line Metamaterial Unit Cells with Notch Band at 5.2 GHz – 5.8 GHz Frequency

Wahyu Waskito
2210100055

Supervisor I : Eko Setijadi S.T., M.T., Ph.D.
Supervisor II : Prasetyono Hari Mukti S.T., M.T., M.Sc.

Abstract

An Ultra-wideband bandpass filter (UWB-BPF) which has frequency range of 3.1-10.6 GHz with notched-band in 5.2-5.8 GHz is designed. The notched-band in this BPF is used to provide an immunity of such filter from another signal working at 5.2-5.8 GHz, such as WLAN IEEE 802.11a.

This filter is designed using CRLH Transmission Line (CRLH-TL) structure which provides metamaterial characteristic. The UWB-BPF is implemented on Roger substrate ($\epsilon_r = 2.2$) with dimension of 35×16 mm.

By numerical analysis, the designed filter has -3dB cut-off of 3.4259 GHz and 10.45 GHz for lower and higher cut-off frequency, respectively. The notched-band implemented in this filter can reject the interference signal in the range of 5.0579-5.7807 GHz with center frequency around 5.5 GHz and rejection level at -27 dB, approximately.

Furthermore, the fabricated UWB-BPF is examined through experimental analysis. The experimental analysis shows that the fabricated UWB-BPF has cut-off of 4.0246 GHz and 9.424 GHz for lower and higher cut-off frequency with notched-band frequency between 5.2-5.8 GHz and notched-band rejection level of -32dB, approximately.

Keywords: *Filter, ultra wideband, composite right left handed, notchband, bandpass filter*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Desain dan Analisis Kerja *Bandpassfilter* pada *Ultra Wideband* berbasis *Metamaterial Sel Unit Composite Right/Left Handed Transmission-Line* dengan *Notch Band* pada frekuensi 5.2 GHz – 5.8 GHz

Wahyu Waskito
2210100055

Dosen Pembimbing I : Eko Setijadi S.T., M.T., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Prasetyono Hari Mukti S.T., M.T., M.Sc.

Abstrak

Desain *Ultra-wideband (UWB) bandpass filter* yang bekerja pada frekuensi 3.1–10.6 GHz dengan filter *notchband*. *Notched-band* pada BPF ini memberikan *immunity* terhadap gangguan/ interferensi sinyal radio lain seperti *WLAN IEEE 802.11a* yang bekerja pada rentang 5.2-5.8 GHz.

Filter yang dirancang berdasarkan struktur *CRLH Transmission line (CRLH-TL)* sehingga didapat sifat metamaterial. UWB-BPF di implementasikan pada substrate Roger ($\epsilon_r = 2.2$) dengan dimensi 35×16 mm.

Dalam analisis perhitungan, filter yang dirancang memiliki nilai *cut-off* pada -3 dB yaitu 3.4259 GHz dan 10.45 GHz untuk *lower* dan *higher cut-off frequency*. Implementasi *notched-band* pada filter dapat meredam sinyal interferensi pada rentang 5.0579-5,7807 GHz dengan *center frequency* pada 5.5 GHz dan rejection level pada -27 dB.

Selanjutnya pada filter fabrikasi dilakukan analisis. Analisis menunjukkan bahwa UWB-BPF yang difabrikasi memiliki nilai *cut-off* yaitu 4.0246 GHz dan 9.424 GHz untuk *lower* dan *higher cut-off frequency* dengan *notched-band frequency* pada rentang 5.2-5.8 GHz dan *notched-band rejection level* pada -32dB.

Kata Kunci : *Filter, ultra wideband, composite right left handed, notchband, bandpass filter*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U.Ahmed, Kafil, “*Ultra Wideband BANDpass Filter Based on Composite Right/Left Handed Transmission Line Unit Cells*”. IEEE. London, 2012.
- [2] J.R.Fernandes, D. Wetzloff ,” *Recent Advances in IR-UWB Tranceivers:An Overview*”. IEEE .Edinburg, 2010.
- [3] Hao, Zhang Cheng,”*Ultrawideband Filter Technologies*”. IEEE .Edinburg, 2010.
- [4] Parekh, Shyam,”*IEEE 802.11 Wireless LANs*”,University of California. Berkeley.
- [5] FCC ,”*FCC Regulation Update*”. CISCO, 2007.
- [6] Triprijoetomo, “*Filter Wideband dengan Metamaterial memakai sisipan Filter Bandstop pada Frekuensi 5,2 GHz-5,8 GHz*”. Universitas Indonesia .Jakarta , 2012.
- [7] Caloz, Cristophe, “*Electromagnetic Metamaterials : Transmission Line Theory And Microwave Applicatons*”. Wiley Interscience. New Jersey, 2006.
- [8] Nader Engheta, Richard W.Zilkowski, “*Metamaterials Physics and Engineering Explorations*”. Wiley Interscience. Canada, 2006.
- [9] T.Ulaby,Fawwaz, “*Fundamental of Apliied Electromagnetic*”. Prentice Hall . Michigan, 1994.
- [10] Rogers Corporation, “*RT/duroid 5870/5880 High Frequency Laminates*”. Rogers Corporation. Chandler, 2013.
- [11] Carace-Mranda,Fransisco P, “*Composite Right/Left Handed Transmission Line With Wire Bond Interdigital Capacitor*”. IEEE. Malaga, 2006.
- [12] Atmaja, Andik, “*Bandpass Filter Aplikasi Teknologi Ultra Wide Band Menggunakan Saluran Transmisi CRLH Satu Sel*”. Universitas Indonesia . Jakarta , 2011.
- [13] Mathei, leo-young, “*Design of Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, And Coupling Structures*”. Stanfor Research Institute . California , 1961.
- [14] Mandke, Ketan, “*The Evolution of UWB and IEEE 802.15.3a for Very High Data Rate WPAN*” .Universitas Of Texas. Austin, 2003.

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Wahyu Waskito, dilahirkan di kabupaten Banyuwangi, 23 Maret 1992, merupakan putra ketiga dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ahmadi Nardiyono dan Ibu Darmini. Penulis menempuh pendidikan formal di Jember yakni SDN Kepatihan 1 Jember, SLTPN 2 Jember dan SMAN 1 Jember. Setelah lulus dari SMA tahun 2010, Penulis mengikuti jalur PMDK tulis dan diterima menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS dan terdaftar secara administrasi dengan NRP. 2210 100 055. Semasa perkuliahan, penulis berorganisasi di BEM FTI ITS sebagai staff Departemen Keprofesian dan Kesejahteraan Mahasiswa BEM FTI ITS. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT Telekomunikasi Selular Tbk menganalisis Perencanaan *Small Cell* dan *BTS Hotel*. Penulis menutup kuliah di kampus dengan Tugas Akhir berjudul “**Desain dan Analisis Kerja Bandpassfilter pada Ultra Wideband berbasis Metamaterial Sel Unit Composite Right/Left Handed Transmission-Line dengan Notch Band pada frekuensi 5.2 GHz – 5.8 GHz**”.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ultra Wideband (UWB) adalah teknologi jaringan yang dapat digunakan dalam aplikasi jaringan wireless dengan kecepatan transfer data sangat tinggi yang digolongkan pada Short Range Wireless. Teknologi ini merupakan pilihan lain dari teknologi koneksi berbasis nirkabel seperti *Bluetooth* dan *WIFI*. Sebagaimana kita ketahui perkembangan *device/gadget* yang memerlukan konektivitas nirkabel berkembang sangat pesat seiring dengan perubahan gaya hidup. Tuntutan akan perkembangan teknologi nirkabel tidak hanya pada segi ketersediannya pada suatu *device/gadget* tetapi juga harus ditunjang dengan kecepatan dan ketersediaan *bandwidth* yang tinggi atau *multiple high bandwidth*. Kelebihan ini sangat dibutuhkan dalam berbagai macam aplikasinya sebagai contohnya adalah *sharing video*, aplikasi pada game nirkabel dan *projector* nirkabel yang sangat memerlukan *multiple high bandwidth*. Teknologi yang dapat mengakomodir hal tersebut adalah teknologi *Ultra Wideband*. *Ultra wideband* merupakan teknologi yang sangat diminati para peneliti semenjak dipublikasikan pada tanggal 14 Februari 2002 oleh *U.S Federal Communication Commission (FCC)* yang disetujui termasuk *unlicensed frequency* pada rentang 3.1 – 10.6 GHz dan diperuntukkan bagi komunikasi komersial [1]. Teknologi ini mempunyai kecepatan data hingga 480 M bps, dengan *low EIRP level* sebesar (-41.3dBm/MHz) [2], konsumsi daya yang rendah yaitu hanya 100 mW dan dengan *bandwidth* sebesar 7.5 GHz [3]. Akan tetapi UWB yang bekerja pada frekuensi 3.1 Ghz-10.6 Ghz terdapat frekuensi teknologi frekuensi lainnya yaitu *WLAN 802.11a* dengan frekuensi kerja 5 Ghz [4, 5]. Dengan demikian menyebabkan potensi adanya interferensi pada kedua teknologi. Agar teknologi *UWB* tidak terganggu/terinterferensi oleh frekuensi radio yang berada pada rentang UWB maka pada perancangan filter perlu ditambahkan *notch band* atau *bandstop filter* [3].

Pada perancangan filter *UWB*, *frequency cut off* atas maupun *frequency cut off* bawah dapat dilakukan dengan pendekatan *Composite Right/Left Handed Transmission-Line*, sifat metamaterial didapat dari *Left handed (LH)* [6], yang merupakan struktur metamaterial elektromagnetik buatan yang *effectively homogeneous* yaitu pada material

double negative memiliki μ negatif dan ϵ negatif. Sifat metamaterial membuat dimensi komponen menurun secara signifikan dan peningkatan kinerja komponen [7, 8].

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

- 1) Bagaimana desain dan kinerja dari filter Ultra Wideband
- 2) Bagaimana kinerja notch band pada filter Ultra Wideband
- 3) Bagaimana melakukan pengukuran filter Ultra Wideband

1.3. Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa batasan mengenai permasalahan yang akan dibahas:

- 1) Rentang kinerja filter *Ultra Wideband* pada frekuensi 3.1 GHz – 10.6 GHz
- 2) Rentang kinerja filter *Notch Band* pada frekuensi 5.2 GHz – 5.8 GHz
- 3) Substrate dielektrik yang digunakan adalah *RT/duroid 5880* yang memiliki $\epsilon_r=2.2$ dengan ketebalan substrat 1.6 mm.
- 4) Parameter yang diukur dalam simulasi dan alat adalah S11 dan S21.

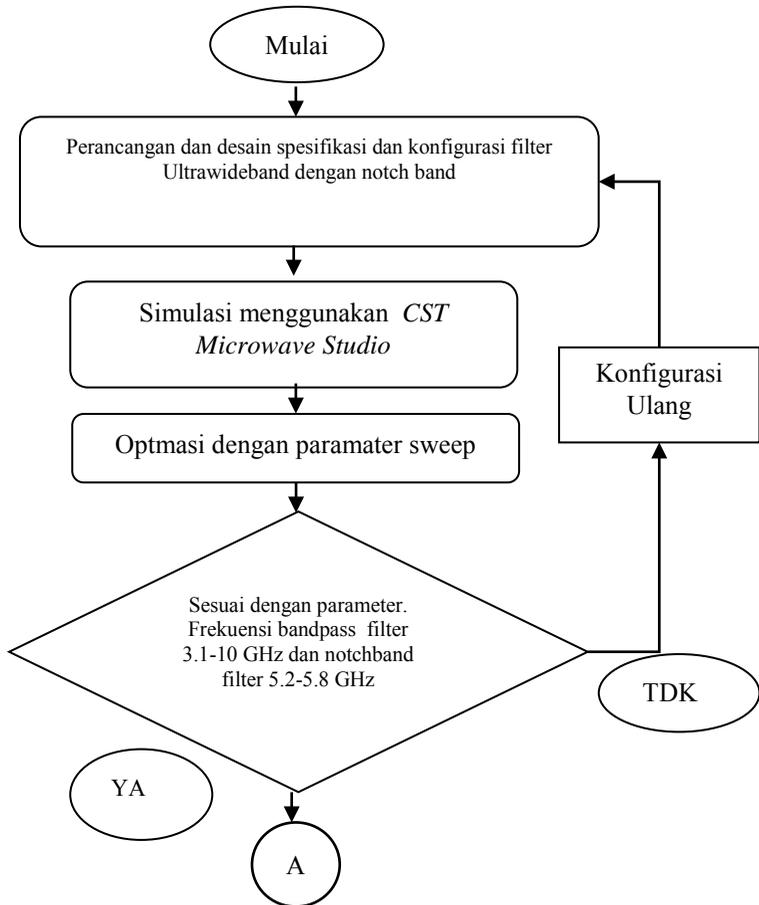
1.4. Tujuan

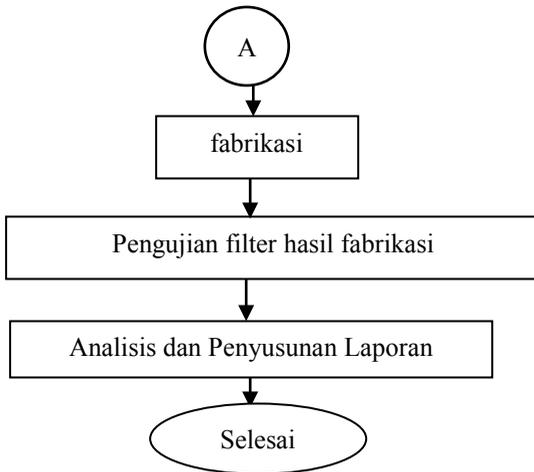
Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah merancang teknologi Ultra Wideband (UWB) dengan bandpass filter yang memiliki frekuensi kerja 3.1 GHz sampai dengan 10.6 GHz dengan pendekatan metode CRLH-TL. Dan perancangan notch band yang bekerja pada frekuensi 5.2 GHz sampai 5.8 GHz. untuk menghindari interferensi WLAN 802.11a pada frekuensi 5 GHz.

1.5. Metodologi

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini adalah pendekatan saluran transmisi CRLH *bandpass filter*. Ada beberapa tahapan dalam perancangan filter ini, di antaranya adalah penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan parameter saluran transmisi CRLH, penentuan parameter interdigital kapasitor dan penentuan *ground stub*.

Setelah menentukan perancangan tersebut akan disimulasikan dengan menggunakan software *CST MicrowaveStudio*. Setelah dilakukan simulasi maka filter akan difabrikasi dan kemudian dilakukan pengukuran. Diagram alur perancangan filter UWB ditunjukkan pada gambar 1.1.





Gambar 1.1 Diagram Alir Perancangan Filter. (a) Tahap Awal Desain dan Optimasi, (b) Tahap Fabrikasi, analisis, dan Penyusunan Laporan

a. Perancangan dan desain spesifikasi dan konfigurasi filter Ultrawideband dengan notch band

Membahas desain awal filter dari jurnal ilmiah dan buku literatur yang telah ditinjau sebelumnya. Perancangan filter Ultra wideband menggunakan rectangular resonator ,perancangan notch Band dan juga pembahasan komponen dalam pembuatan filter seperti substarte dan dimensi filter.

b. Simulasi menggunakan *CST Microwave Studio 2011*

Melakukan simulasi desain filter *Ultra Wideband* yang telah melalui tahapan modifikasi sehingga diperoleh parameter S11 dan S21 yang diinginkan. Dan selanjutnya tahap Optimasi dengan parameter sweep.

c. Fabrikasi filter

Dilakukan fabrikasi filter UWB hasil simulasi menggunakan substrat RT 5880 dengan $\epsilon_r=2.2$.

d. Pengujian filter hasil fabrikasi

Pengujian hasil filter fabrikasi menggunakan *network analyzer* untuk memperoleh *return loss* dan *parameter loss*.

e. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran

Selanjutnya filter hasil fabrikasi dianalisa dan dibandingkan dengan filter hasil simulasi.

1.6. Sitematika Pembahasan

Pembahasan Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi

Bab II Tinjauan Pustaka

Membahas teori mengenai *Ultra Widenband*, Teknologi WLAN802.11 filter, bandpassfilter, *S-parameter*, *dual mode resonator*, dan metamaterial.

Bab III Perancangan dan Desain *Ultra Wideband* dengan *NotchBand*

Pada bab ini membahas mengenai perancangan filter *Ultra wideband* menggunakan *rectangular resonator*, perancangan *notch Band* dan juga pembahasan komponen dalam pembuatan filter seperti *substarte* dan dimensi filter.

Bab IV Analisis dan Pembahasan Hasil Simulasi dan Fabrikasi

Membahas dan menganalisis hasil simulasi, Hasil Fabrikasi, dan Pengukuran filter *Ultra Wideband* dengan *NotchBand*.

Bab V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

1.7. Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat berikut:

a. Bagi bidang ilmu pengetahuan

Dengan adanya tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa informasi mengenai *bandpassfilter* pada *ultra wideband* berbasis metamaterial sel unit *composite right/left handed transmission-line* dengan *notch band* pada frekuensi $5.2\text{ GHz} - 5.8\text{ GHz}$ yang dapat dipakai acuan untuk penelitian selanjutnya.

b. Bagi perusahaan telekomunikasi

Memberikan rekomendasi pilihan lain teknologi koneksi nirkabel selain bluetooth dan WIFI demi meningkatkan kecepatan dan ketersediaan bandwidth.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. UltraWideband

Sesuai dengan Komite Federal Communications (FCC) pada Februari 2002 [1], mengumumkan penggunaan ultrawideband (UWB) *unlicensed* dengan spektrum dari 3,1 GHz sampai 10.6 GHz[3].

Dalam perkembangannya penelitian mengenai teknik UWB semakin pesat yang dilakukan oleh para akademisi maupun industri [3].

Sistem UWB memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki bandwidth yang cukup lebar (7,5 GHz), dapat mendukung data rate transmisi yang tinggi (hingga 500 Mb/s), dan memiliki energi transmisi yang sangat rendah (kurang dari 1,0 mW) dimana hal ini menguntungkan untuk sistem *portable device*. Aplikasi dari teknik UWB telah digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti *positioning*, *rescue radar system* untuk menyelamatkan korban terkubur di bawah reruntuhan bangunan, pencitraan, sistem komunikasi -data-rate tinggi jarak pendek, *Wireless Personal Area Networks (WPANs)* untuk komputer pribadi dan perangkat elektronik [3].

1.2. Frekuensi Radio dalam rentang *notchband filter*

2.2.1 Teknologi WLAN 802.11

IEEE802.11 adalah serangkaian spesifikasi kendali akses medium dan lapisan fisik untuk mengimplementasikan komunikasi komputer *wireless local area network* di frekuensi 2,4, 3,6, 5, dan 60 GHz. Dioperasikan oleh Institute of Electrical and Electronics Engineers. Versi dasar dirilis tahun 1997 dan telah melalui serangkaian pembaruan dan menyediakan dasar bagi produk jaringan nirkabel Wi-Fi [4].

Berikut adalah beberapa standarisasi dari Teknologi *WLAN 802.11*:

a. Standarisasi IEEE 802.11a

Standard IEEE 802.11a bekerja pada frekuensi 5GHz mengikuti standard dari *Unlicensed National Information Infrastructure (UNII)*. Teknologi IEEE 802.11a tidak menggunakan teknologi spread-spectrum

melainkan menggunakan standar frequency division multiplexing (FDM). Mampu mentransfer data hingga 54 Mbps.

b. Standarisasi IEEE 802.11b

Standar 802.11b saat ini yang paling banyak digunakan satu. Menawarkan throughput maksimum dari 11 M bps (6 Mbps dalam praktek) dan jangkauan hingga 300 meter di lingkungan terbuka. Ia menggunakan rentang frekuensi 2.4 GHz, dengan 3 saluran radio yang tersedia. Transmisi data 5.4 hingga 11 Mbps.

c. Standarisasi IEEE 802.11c

Standar 802.11c (disebut WiFi), yang menjembatani standar 802.11c tidak menarik bagi masyarakat umum. Hanya merupakan versi diubah 802.11d standar yang memungkinkan 802.11d jembatan dengan 802.11-perangkat yang kompatibel (pada tingkat data link).

d. Standarisasi IEEE 802.11d

Standar 802.11d adalah suplemen untuk standar 802.11 yang dimaksudkan untuk memungkinkan penggunaan internasional 802,11 lokal jaringan. Ini memungkinkan perangkat yang berbeda informasi perdagangan pada rentang frekuensi tergantung pada apa yang diperbolehkan di negara di mana perangkat dari.

e. Standarisasi IEEE 802.11e

Standar 802.11e yang dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas layanan pada tingkat data link layer. Tujuan standar ini adalah untuk menentukan persyaratan paket yang berbeda dalam hal bandwidth dan keterlambatan transmisi sehingga memungkinkan transmisi yang lebih baik suara dan video.

f. Standarisasi IEEE 802.11f

Standar 802.11f adalah rekomendasi untuk jalur akses vendor produk yang memungkinkan untuk menjadi lebih kompatibel. Ia menggunakan Inter-Access Point Protocol Roaming, yang memungkinkan pengguna

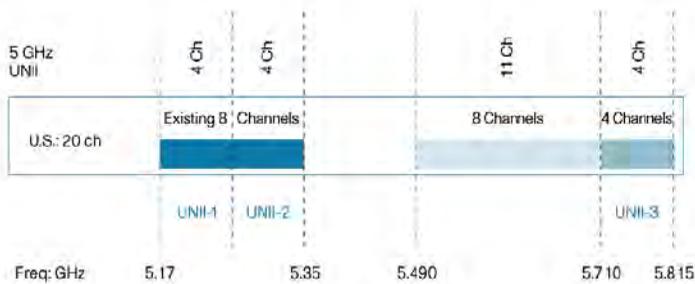
roaming transparan akses beralih dari satu titik ke titik lain sambil bergerak, tidak peduli apa merek jalur akses yang digunakan pada infrastruktur jaringan. Kemampuan ini juga hanya disebut roaming.

g. Standarisasi IEEE 802.11g

Standar 802.11g menawarkan bandwidth yang tinggi (54 Mbps throughput maksimum, 30 Mbps dalam praktek) pada rentang frekuensi 2,4 GHz. Standar 802.11g kompatibel dengan standar 802.11b, yang berarti bahwa perangkat yang mendukung standar 802.11g juga dapat bekerja dengan 802.11b.

Dari penjelasan standarisasi dari Teknologi WLAN 802.11, terdapat interferensi dengan teknologi *UWB* pada standarisasi 802.11a yang bekerja pada frekuensi 5 GHz. WLAN 802.11a termasuk dalam *Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII)* dimana secara detail diatur dalam *FCC regulation* [5]:

- 1) U-NII Low (U-NII-1): 5.17-5.25 GHz. Digunakan didalam ruangan. Dibutuhkan integrasi ke antenna. Batas daya 50 mW.
- 2) U-NII Mid (U-NII-2): 5.25-5.35 GHz. Dapat digunakan di dalam maupun di luar ruangan. Pengaplikasian pada Dynamic Frequency Selection (DFS, atau radar avoidance). Batas daya 250 mW.
- 3) U-NII Worldwide (U-NII-2e): 5.49-5.710 GHz. Dapat digunakan di dalam maupun di luar ruangan. Pengaplikasian pada Dynamic Frequency Selection (DFS, atau radar avoidance). Batas daya 250 mW.
- 4) U-NII Upper (U-NII-3): 5.710 to 5.815 GHz. Regulasi diintegrasikan dengan user-installable antenna. Regulations allow for a user-installable antenna. Batas daya 1W.



Gambar 2.1 5 GHz WLAN Band

2.2.2 Wireless broadband 5.8 GHz

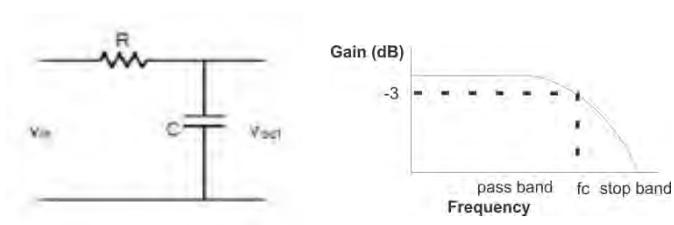
Pita frekuensi radio 5.8 GHz pada rentang radio 5725-5825 MHz ditetapkan untuk keperluan layanan pita lebar nirkabel dengan moda TDD. *Wireless broadband 5.8 GHz* merupakan layanan yang memerlukan lisensi dimana diatur dalam peraturan menteri komunikasi 27/PER/M.KOMINFO/06/2009.

Filter

Filter adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewati sinyal dengan rentang frekuensi tertentu dan menghilangkan atau memperlemah sinyal dengan frekuensi diluar frekuensi tersebut. Jadi filter berfungsi sebagai pemilih frekuensi yang diinginkan.

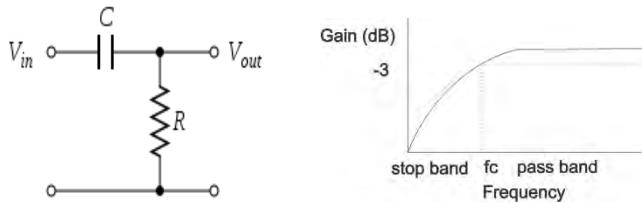
Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, filter dapat dibedakan menjadi empat yaitu :

Low Pass Filter adalah filter yang hanya melewatkan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off* (f_c). Diatas frekuensi tersebut sinyal akan diredam. Rangkaian *RC Low Pass Filter* dan tanggapan frekuensinya ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 2.2 Rangkaian *Low Pass Filter* dan tanggapan frekuensinya

High Pass filter adalah filter yang hanya melewatkan frekuensi diatas *frekuensi cut-off* (f_c). Diatas frekuensi tersebut sinyal akan diredam. Rangkaian *RC High Pass Filter* dan tanggapan frekuensi ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.3 Rangkaian *High Pass Filter* dan tanggapan frekuensinya

Band Pass filter adalah filter yang dapat melewatkan rentang frekuensi tertentu diantara frekuensi *cut-off* pertama dan frekuensi *cut-off* kedua. Diluar frekuensi tersebut sinyal akan diredam. *Band Pass Filter* merupakan penggabungan dari *lowpass filter* dan *high pass filter*. Daerah passband dibatasi oleh dua frekuensi tepi. Frekuensi tepi rendah menunjukkan batas frekuensi rendah dari suatu *high pass filter* dan frekuensi tepi yang sangat tinggi menunjukkan batas frekuensi tinggi dari suatu *low pass filter*. *Band Pass filter* juga dibedakan berdasar faktor kualitas (Q), Bila $Q < 10$, maka digolongkan sebagai band pass filter (BPF) bidang lebar. Bila $Q > 10$, maka digolongkan sebagai band pass filter (BPF) bidang sempit.

$$Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{\sqrt{BW}}{f_H - f_L} \quad (1)$$

Band Stop Filter (BSF) atau *Band Reject Filter* (BRF) merupakan kebalikan dari *bandpass filter* yaitu filter yang menghilangkan frekuensi yang terletak diantara frekuensi *cut-off* (f_c).

1.2.1. Magnitude Response

Beberapa parameter yang dilakukan dalam pengukuran adalah sebagai berikut :

a. VSWR

Standing wave ratio disingkat SWR kadang-kadang disingkat dengan nama *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Bila impedansi saluran transmisi tidak sesuai dengan transceiver maka akan timbul daya refleksi (*reflected power*) pada saluran yang berinterferensi dengan daya maju (*forward power*). Interferensi ini menghasilkan gelombang berdiri

(*standing wave*) yang besarnya tergantung pada besarnya daya refleksi. Jadi VSWR adalah sebagai perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri(*standing wave*) maksimum dengan minimum. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan dan tegangan yang direfleksikan. Perbandingan antar tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut koefisien refleksi tegangan.

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2)$$

Dimana Z_L adalah impedansi beban (load) dan Z_0 adalah impedansi saluran lossless

b. Insertion Loss

Rugi-rugi sisipan adalah kehilangan daya akibat penyisipan perangkat diantara sumber dan beban. Rugi-rugi ini diberikan dalam bentuk perbandingan daya rugi-rugi terhadap daya yang datang (Power Loss Ratio/PLR). Perbandingan dalam dB berikut persamaannya :

$$Insertion\ loss\ (dB) = 10 \log_{10} \frac{|V_1|^2}{|V_2|^2} = 20 \log_{10} \frac{|V_1|}{|V_2|} \quad (3)$$

Dimana V_1 adalah level sinyal sebelum instalasi filter dan V_2 level sinyal setelah instalasi filter.

c. Return Loss

Return Loss atau kehilangan refleksi adalah kehilangan kekuatan sinyal karena adanya refleksi balik yang disebabkan adanya diskontinuitas dalam suatu saluran transmisi telekomunikasi. Diskontinuitas ini dapat terjadi karena adanya ketidakcocokan dengan kondisi beban atau dengan perangkat peralatan pada pengguna. Keadaan ini biasanya dinyatakan sebagai rasio dalam desibel (dB) yaitu

perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan.

Nilai *return loss* yang sering digunakan adalah di bawah -9,54 dB untuk menentukan lebar *bandwidth*, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah matching [9].

d. Parameter S

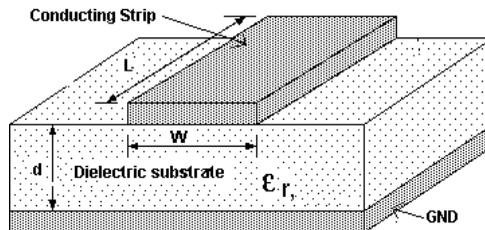
Scattering parameters adalah istilah yang umum untuk gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi. Sebenarnya scattering parameter dapat diterapkan pada frekuensi berapapun tetapi yang lebih umum adalah pada frekuensi RF dan gelombang mikro. Parameter S menggambarkan perilaku listrik pada linear *electrical network*. Parameter S dapat digunakan untuk menyatakan VSWR, gain, return loss, transmission coefficient, reflection coefficient.

1.3. Saluran mikrostrip

Berikut merupakan pembahasan mengenai saluran mikrostrip.

1.3.1. Struktur saluran mikrostrip

Struktur mikrostrip secara umum seperti gambar. Sebuah konduktor strip dengan lebar W dan ketebalan t di atas substrat dielektrik yang memiliki konstanta dielektrik relatif ϵ_r dan ketebalan d , dan bagian bawah substrat adalah ground plane.



Gambar 2.4 Struktur mikrostrip

1.3.2. Rugi-rugi Mikrostrip

Komponen kerugian dari saluran mikrostrip tunggal diantaranya kerugian konduktor, kerugian dielektrik dan kerugian radiasi, sementara kerugian magnetik berpengaruh pada magnetik substrat. Konstanta propagasi pada saluran transmisi lossy adalah kompleks, dimana bagian real dalam neper per satuan panjang adalah konstanta redaman, yang merupakan jumlah dari konstanta redaman yang timbul dari masing-masing pengaruh.

1.4. Pemilihan Substrat

Konstanta dielektrik relatif ϵ_r , sebagian besar akan mempengaruhi bandwidth, toleransi fabrikasi, impedansi transformasi dan saluran transmisi. Ukuran setiap jalur/strip juga dipengaruhi oleh konstanta dielektrik. Untuk alur/strip yang beroperasi pada frekuensi (f), ketebalan (h).

Substrat yang digunakan dalam perancangan filter UWB ini adalah *RT/duroid® 5880 high frequency*[10].

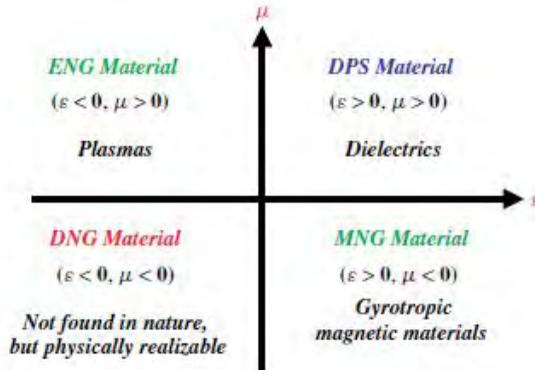
RT/duroid 5880 adalah komposit PTFE yang diselubungi mikrofiber kaca. Penggunaan mikrofiber ini bertujuan untuk memaksimalkan manfaat dari serat yang merupakan sesuatu yang paling berharga bagi pengaplikasian sirkuit/ PCB[10].

Beberapa keunggulan penggunaan *RT/duroid® 5880 high frequency* yaitu, konstanta dielektrik dari substrat ini adalah yang paling terendah dari semua produk yang ada, kerugian dielektrik yang rendah sangat sesuai bagi aplikasi filter atau antena dengan frekuensi tinggi atau aplikasi pada pita lebar, dimana faktor dispersi dan *losses* perlu diminimalkan[10].

1.5. Metamaterial

Pengertian metamaterial secara luas adalah sebagai struktur bahan buatan yang *effectively homogeneous* dengan sifat yang tidak khusus dan tidak tersedia di alam. Struktur *effectively homogeneous* adalah struktur dimana rata-rata strukturnya lebih kecil dari guided wavelength λ_g . Metamaterial pada umumnya dikenal dengan *left-handed* (LH) metamaterial. Metamaterial memiliki beberapa karakteristik yaitu indeks

bias negatif dan nilai ϵ , μ negatif [7,11]. Berikut merupakan pengklasifikasian yang ditunjukkan gambar



Gambar 2.5. Klasifikasi material

Metamaterial dengan permitifitas dan permeabilitas kurang dari nol atau yang disebut “*double negative*”(DNG), dimana material tersebut terbentuk tidak secara alami tetapi dikonstruksi secara buatan.

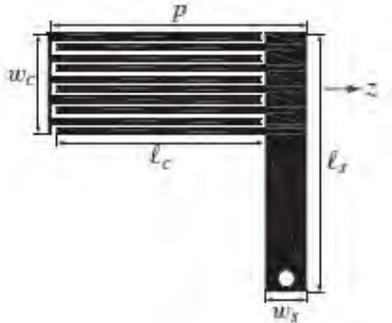
Mode Pendekatan dalam perancangan metamaterial yaitu pendekatan resonant dan pendekatan saluran transmisi. Dalam desain bandpass filter ini menggunakan mode pendekatan saluran transmisi yaitu *Composite Right-Left Handed Transmission Line (CRLH-TL)*.

2.6.1. Composite Right-Left Handed Transmission Line (CRLH-TL)

Pendekatan mode saluran transmisi metamaterial salah satunya adalah Composite Right-Left Handed Transmission Line (CRLH-TL). Metamaterial adalah struktur yang *effectively homogeneous* maka pada dapat dimodelkan oleh satu dimensi (1D) jalur transmisi, dimana arah propagasinya mewakili setiap arah dalam metamaterial [7]. Rangkaian *CRLH-TL* dimodelkan dalam satu unit sel sebagai rangkaian seri (C_L), induktor seri (L_R) dan induktansi shunt (L_L) serta kapasitor shunt(C_R). CRLH-TL memiliki propagasi positif, negatif, dan nol sesuai dengan karakteristik dari permitivitas efektif dan permeabilitas [11]. Berikut merupakan model rangkaian equivalen dari saluran transmisi CRLH.

2.6.2. Unit sel CRLH

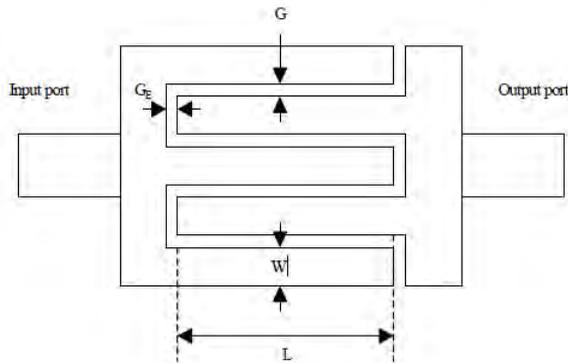
Unit sel CRLH merupakan gabungan dari *interdigital capacitor* dan *shorted stub indicator* seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6 [7]. *Short section* telah ditambahkan pada akhir dari saluran transmisi.



Gambar 2.6. Sel unit dari saluran transmisi mikrostrip CRLH

2.6.3. Interdigital Capacitor

Interdigital capacitor adalah elemen yang menghasilkan kapasitor dengan karakteristik *high pass* dengan saluran mikrostrip. Bentuk dari konduktor didefinisikan oleh parameter pada gambar dibawah. Perhatikan bahwa *finger* menyediakan *coupling* antara port masukan dan keluaran. Biasanya *gap* (G) antara *finger* dan pada ujung dari *finger* (GE) sama. Panjang (L) dan lebar (W) dari *finger*. Penggunaan substrate pada konduktor juga mempengaruhi dari performansi dari *interdigital capacitor*, dimana yang faktor terpenting yaitu tinggi dari substrate dan konstanta dielektrik (ϵ_r). Sebagai tambahan, tebal dari konduktor dan resistivity (ρ) juga berdampak pada karakteristik elektrik[12].



Gambar 2.7. Interdigital Capacitor

Karakterisasi dan metode analisis dalam *interdigital capacitor* antara lain *J-interver equivalent representation*, *full-wave methods*, dan *measurement-based models*.

Pattenpaul, E., dkk, dalam jurnalnya yang berjudul “CAD Models of Lumped Elements on GaAs Up to 18 Ghz” untuk mendapatkan beberapa bagian yang maka interdigital kapasitor dibagi menjadi beberapa bagian yang merupakan basic mikrostrip. Model diatas menunjukkan akurasi yang baik tetapi metode ini masih merupakan metode pendekatan yang mengasumsikan pengelompokan dalam tiap subsection tanpa mengikutsertakan efek interaksi antara tiap s ubsection tanpa mengikutsertakan efek interaksi antara tiap-tiap basic microstrip yang telah dijelaskan. *Lumped Element EC* model untuk menjelaskan karakteristik dari interdigital kapasitor [12].

2.6.4. Stub

Di gelombang mikro dan teknik radio frekuensi *Stub* adalah panjang dari saluran transmisi atau *waveguide* yang menghubungkan antara ujung dengan ujung lainnya. Ujung bebas dari stub salah satunya adalah *left open circuited*. Mengabaikan rugi-rugi dari saluran transmisi maka *impedance* masukan akan bersifat reaktif. Baik kapasitif maupun induktif bergantung pada panjang dari *stub*. *Stub* memungkinkan memepertimbangkan ketergantungan frekuensi kapasitor dan ketergantungan frekuensi induktor [13]

Dikarenakan *stub* bersifat reaktif di panjang elektrik, *stub* biasanya diaplikasikan pada UHF atau sirkuit gelombang mikro dimana panjang saluran sangat berperan. *Stub* pada umumnya digunakan pada sirkuit *matching impedance* di antena filer frekuensi selektif [13].

2.7. Rectangular Resonator

Pada dasarnya Microstripe Resonator digunakan untuk mengukur dispersi pada saluran mikrostrip. Dengan sifatnya yang sederhana dan ringkas, pemanfaatan lain yaitu digunakan sebagai resonator di bandpass filter RF. Macam bentuk resonator adalah persegi panjang, persegi, lingkaran berliku-liku serta berbagai jenis kopling.

2.8. Substrat RT 5880

Substrat yang digunakan adalah RT 5880 dengan nilai $\epsilon_r = 2$ dan nilai $\mu = 1$. Dimensi dari duroit tersebut adalah 35 mm X 16 mm dengan ketebalan 1.6 mm.

2.9. Notch Band

Pada *signal processing*, *band stop filter* atau *band rejection filter* adalah filter yang melewatkan sebagian besar frekuensi dan meredam range frekuensi spesifik ke level yang rendah. Kebalikan dari *band stop filter* adalah *band pass filter*. *Notch band filter* adalah *band stop filter* dengan *bandwidth* yang sempit.

2.10. Alat Ukur

Setelah tahapan fabrikasi, untuk mengetahui performansi dari filter perlu dilakukan pengukuran. Berikut merupakan instrumen pengukuran yang digunakan dalam pengukuran filter hasil fabrikasi :

2.10.1. Kabel jumper RG 8 sma male to n male

Penggunaan kabel jumper RG 8 sma male to n male adalah sebagai jumper dalam menghubungkan port 2 pcb ke NA. Berikut pada gambar 2.8. tampilan fisik.



Gambar 2.8. kabel jumper RG 8 sma male to n male

2.10.2. Sma Female pcb connector

Penggunaan *Sma Female pcb connector* adalah sebagai *connector* pcb atau port filter hasil fabrikasi dengan *sma male connector*. Gambar 2.9. menunjukkan tampilan fisik dari *Sma Female pcb connector*.



Gambar 2.9. Sma Female pcb connector

2.10.3. SMA male to N male connector

SMA male to N male connector digunakan sebagai penghubung antara NA dengan *SMA male to N male connector* yang berada pada filter hasil fabrikasi. Gambar 2.10. menunjukkan *SMA male to N male connector*.



Gambar 2.10. SMA male to N male connector.

2.10.4. Network Analyzer

Network Analyzer adalah alat yang digunakan untuk mengukur parameter j aringan pada suatu antenna atau fiter. S esuai dengan referensi parameter yang diukur dalam *Network Analyzer* adalah parameter S11 (*return loss*), parameter s21 (*insertion loss*), parameter S22, dan parameter S12. Tipe *Network Analyzer* yang digunakan adalah Advantest R3770 20GHz RF Vector Network Analyzer dengan rentang pengukuran 300 KHz sampai 20 GHz



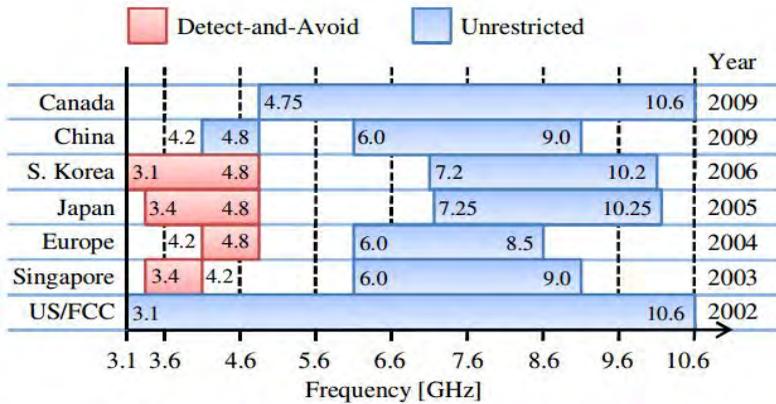
Gambar 2.11. Advantest R3770 20GHz RF Vector Network Analyzer

2.11. Standar dan Regulasi

Berikut merupakan standar dan regulasi dari UWB sebagai dasar dalam pengaplikasian dalam dunia nyata.

2.11.1. Regulasi

Pada tahun 2002 regulasi UWB dipublikasikan oleh FCC US, yang merupakan *unlicensed frequency* dengan rentang band 3.1 GHz-10. GHz, EIRP -41.3 dBn/MHz dan minimum bandwidth 500 M Hz. Pengaplikasian UWB pada negara selain US terdapat perbedaan pada rentang frekuensi tertentu seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.12 [2].



Gambar 2.12 Rentang UWB pada wilayah yang berbeda-beda

Rentang UWB pada Gambar 1 menunjukkan bahwa terdapat bagian *detect-and-avoid* yang merupakan kebijakan dari negara bersangkutan [2].

2.11.2. Standar

Standar dari UWB dapat dilihat pada IEEE 802.15.4a yang telah dipublikasikan pada tahun 2007. Pada standar tersebut menjelaskan band frekuensi dengan *low band* rentang 3.1 GHz- 5 GHz dan *upper band* rentang 6 GHz-10.6 GHz [2].

IEEE 802.15.3a, standar yang menjelaskan physical Layer dengan data rate tinggi dengan rentang 110 - 480 Mbps dan jarak range kurang dari 10 m [14].

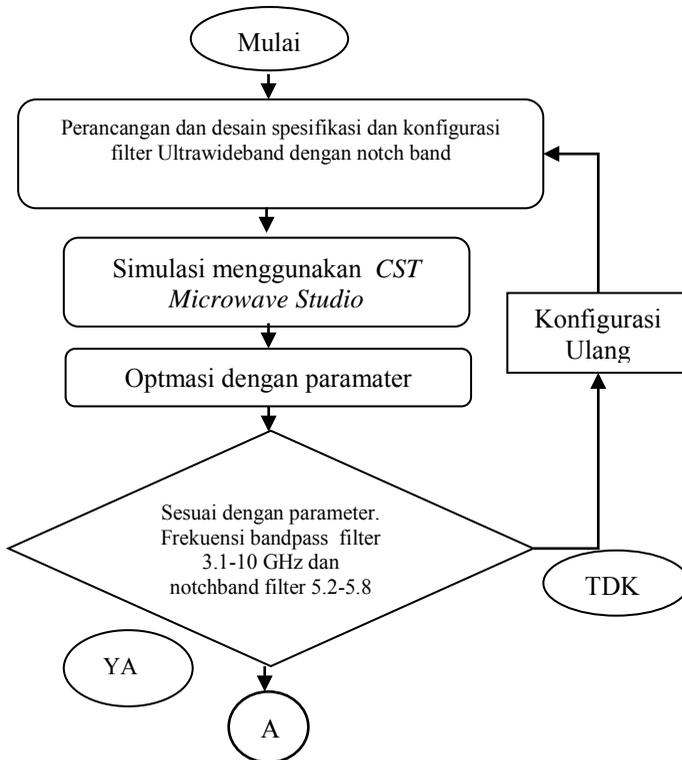
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

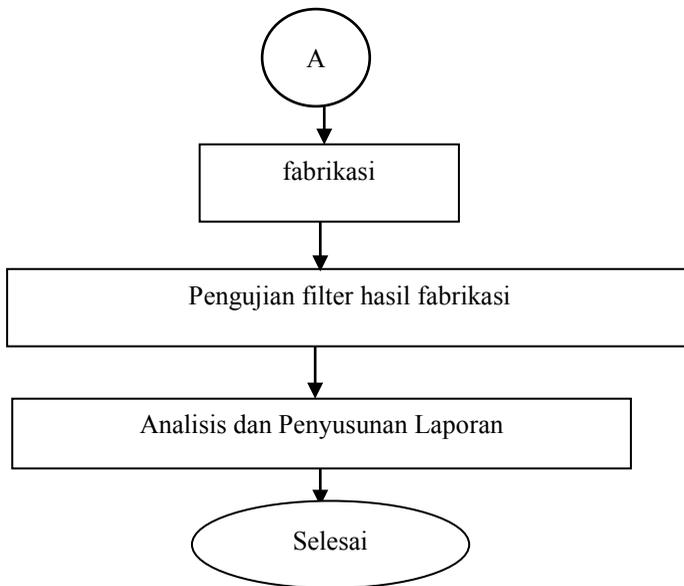
PERANCANGAN DAN DESAIN ULTRA WIDEBAND DENGAN NOTCHBAND

3.1 Tahapan Perancangan Filter

Ada beberapa tahapan dalam perancangan filter ini, diantaranya adalah penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan parameter *CRLH*, penentuan parameter interdigital kapasitor dan penentuan *Ground stub*. Setelah menentukan perancangan tersebut akan disimulasikan dan difabrikasi dan kemudian dilakukan pengukuran. Berikut diagram alir gambar perancangan filter :



(a)



(b)

Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Filter. (a) Tahap Awal Desain dan Optimasi, (b) Tahap Fabrikasi, analisis, dan Penyusunan Laporan

a. Perancangan dan desain spesifikasi dan konfigurasi filter Ultrawideband dengan notch band

Membahas desain awal filter dari jurnal ilmiah dan buku literatur yang telah ditinjau sebelumnya. Perancangan filter Ultra wideband menggunakan rectangular resonator ,perancangan notch Band dan juga pembahasan komponen dalam pembuatan filter seperti substarte dan dimensi filter.

b. Simulasi menggunakan CST Microwave Studio 2011

Melakukan simulasi desain filter *Ultra Wideband* yang telah melalui tahapan modifikasi sehingga diperoleh parameter S11, S21, dan distribusi arus yang diinginkan. Dan selanjutnya tahap Optimasi dengan parameter sweep.

c. Fabrikasi filter

Dilakukan fabrikasi filter UWB hasil simulasi menggunakan substrat RT 5880 dengan $\epsilon_r=2.2$.

d. Pengujian filter hasil fabrikasi

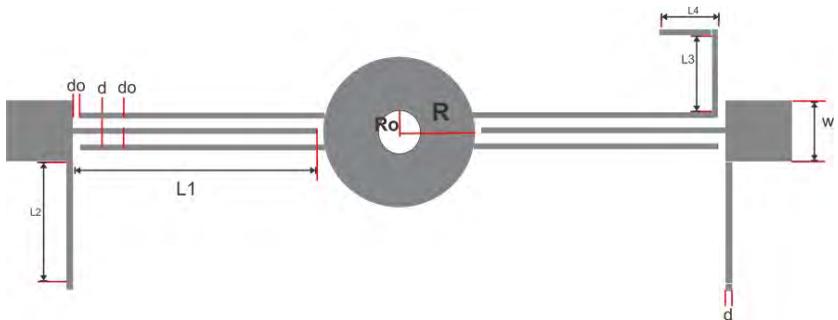
Pengujian hasil filter fabrikasi menggunakan *network analyzer* untuk memperoleh *return loss* dan *parameter loss*.

e. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran

Selanjutnya filter hasil fabrikasi dianalisa dan dibandingkan dengan filter hasil simulasi.

3.2 Konfigurasi Filter acuan

Berikut merupakan konfigurasi filter UltraWideband acuan [4]:



Gambar 3.2 Desain Filter UWB[4]

Pada gambar 3.2 dimensi dari filter acuan yaitu lebar *finger* $d=0.25\text{mm}$, jarak antar *finger* $do=0.25\text{mm}$, panjang *finger* $L1=7.6\text{mm}$, panjang ground stub $L2=4\text{mm}$, jarak anantara *finger* dan *loading stub* $L3=2.5\text{mm}$, panjang *loading stub* $L4=2\text{mm}$, lebar port $W=2\text{mm}$, jari-jari lingkaran luar $R=2.5\text{mm}$, jari-jari lingkaran dalam $Ro=0.7\text{mm}$.

Pada filter diatas terdapat beberapa komponen yaitu ring, interdigital kapasitor ganda, loading stub, ground stub dan via. Sebagai

resonator dalam filter *UWB* ini ialah dual mode resonator yang terdiri dari ring dan dua buah saluran yang disebut dengan interdigital capasitor.

Pada parameter S_{11} , saat pass band -10 dB *range* frekuensi rendah dari 3.36 GHz-4.86 GHz dan range frekuensi tinggi adalah 7.46 GHz-8.35 GHz sehingga total passband -10 dB adalah 2.39 GHz. Sedangkan pada parameter S_{21} saat -3dB *passband* dari -3,1227 GHz-9,9909 GHz dan range *notchband* dari 5,2367 GHz – 6,6339 GHz [4].

Perancangan filter menggunakan teknik *print circuit board* (PCB) double layer dan di fabrikasi pada substrat *Taconic-TLY 5* dengan konstanta dielektrik relatif 2.2 dengan ketebalan 1.6 mm dan menggunakan konektor SMA.

3.3 Perancangan Filter *Ultra WideBand*

Desain rancangan filter Ultra WideBand yang diajukan seperti gambar 3.4. Perbedaan yang dilakukan dalam perancangan yaitu pada layer substrate, pada filter referensi substrate menggunakan *double layer* sedangkan pada filter rancangan menggunakan *single layer*, ground stub dan interdigital capasitor tetap digunakan dengan perubahan yang diperlukan. Ring resonator pada filter referensi diganti perannya dengan rectangular resonator. Selain itu pada perancangan tidak terdapat via.

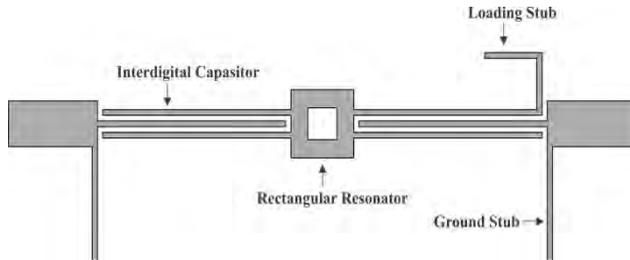
Perancangan filter *UWB* dengan notchband menggunakan *software CST Microwave Studio*, karakteristik yang ingin didapat adalah parameter S_{11} dan S_{21} . Sehingga mendapat rentang kinerja filter *Ultra Wideband* pada frekuensi 3.1 GHz – 10.6 GHz dan rentang kinerja filter *Notch Band* pada frekuensi 5.2 GHz – 5.8 GHz.

Pada tahapan berikutnya adalah implementasi simulasi pada material RT 5880, substrate atau material tersebut disesuaikan dengan komponen yang ada pada simulasi. Penyesuaian meliputi panjang dan lebar saluran transmisi, port, loading stub, ground stub, luas resonator dan ketebalan substrat. Jenis konektor yang digunakan pada filter adalah feed model *SMA connector PCB mount*.

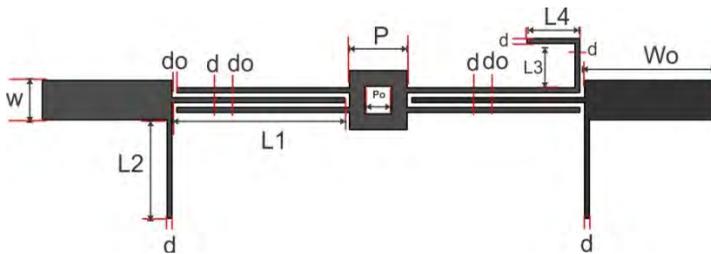
3.3.1 Spesifikasi perancangan Filter

Seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya bandpass filter sangat dipengaruhi oleh panjang finger/interdigital capasitor dan untuk

notchband sebagai *narrow bandpass Filter* pada filter ditambahkan *loading stub* atau *open Stub* dihubungkan dengan salah satu finger. Pada hasil simulasi *loading stub* sangat berpengaruh terhadap pembentukan frekuensi tengah dari filter.



Gambar 3.3. Desain Filter



Gambar 3.4 Dmensi Filter UWB rancangan

Pada gambar 3.2 dimensi dari filter acuan yaitu lebar *finger* $d=0.25\text{mm}$, jarak antar *finger* $d_o=0.25\text{mm}$, panjang *finger* $L_1=9\text{ mm}$, panjang ground stub $L_2=6\text{ mm}$, jarak antara *finger* dan *loading stub* $L_3=2.5\text{mm}$, panjang *loading stub* $L_4=2\text{mm}$, lebar port $W=2\text{mm}$, panjang persegi luar $P=3\text{ mm}$, panjang persegi dalam $P_o=1.4\text{ mm}$.

3.4 Parameter Sweep, Hasil rancangan, dan Simulasi filter *Ultra Wideband bandpass filter* dengan *notchband*

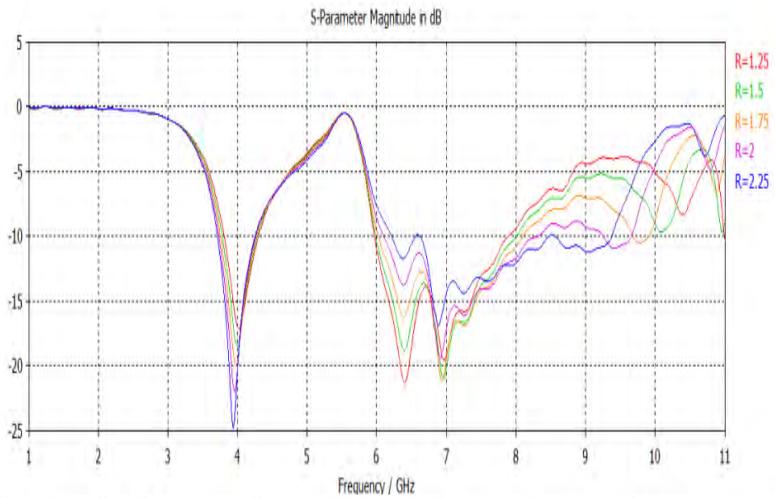
Desain dan Perancangan menggunakan perangkat lunak *CST Microwave Studio 2011*, tahapan selanjutnya adalah penentuan parameter pengukuran dalam parameter sweep. Parameter pengukuran

meliputi parameter S_{11} (*return loss*) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai dari daya sinyal yang hilang karena adanya [refleksi](#) balik yang disebabkan adanya diskontinuitas sehingga mengetahui daya yang ditransmisikan oleh filter secara optimal. Nilai titik acuan magnitude untuk frekuensi yang ditransmisikan adalah dibawah atau kurang dari -10 dB. Parameter yang kedua adalah Parameter S_{21} (*insertion loss*), untuk mengetahui nilai dari rugi-rugi sisipan, kehilangan daya akibat penyisipan perangkat diantara sumber dan beban atau dari port satu ke port dua. Rugi-rugi ini diberikan dalam bentuk perbandingan daya rugi-rugi terhadap daya yang datang (Power Loss Ratio/PLR). Sehingga bila daya datang lebih besar dibanding dengan daya rugi-rugi berarti filter bekerja secara optimal. Nilai titik acuan magnitude untuk frekuensi yang ditransmisikan adalah diatas atau lebih dari -3 dB. Parameter ke tiga adalah bandwidth yang diharapkan sesuai dengan bandwidth *bandpass filter ultra wideband* dan *notchband*. Parameter yang ke empat adalah distribusi arus (*surface current*) menunjukkan penyebaran arus sehingga dapat menganalisis impedansi pada kinerja filter.

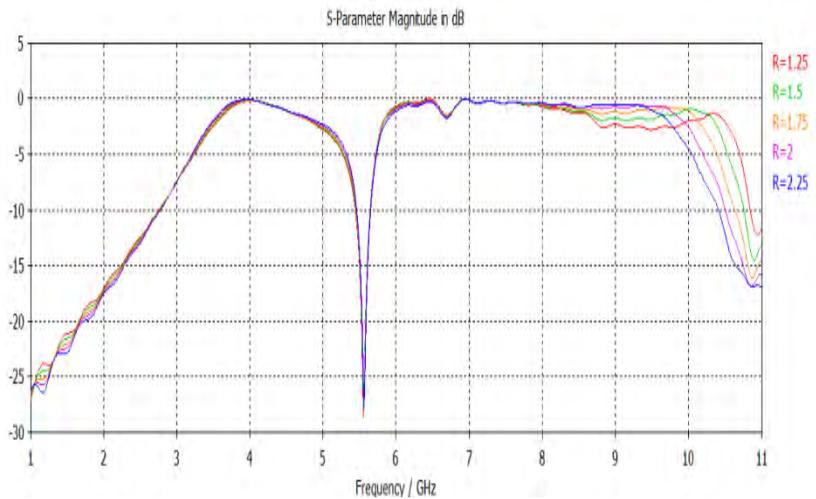
Untuk menganalisis parameter satu sampai tiga dapat ditunjukkan dengan *software CST microwave studio* parameter sweep. Berikut merupakan parameter sweep dari filetr hasil rancangan :

a. Parameter Sweep Panjang *Rectangular*

Perlakuan Parameter *Sweep* yang dilakukan adalah dengan merubah nilai dari panjang *Rectangular* (2R) pada resonator. Parameter sweep dilakukan empat kali yaitu dari 2,5 mm sampai 4,5 mm. Grafik dari Parameter Sweep Panjang *Rectangular* (2R) dapat ditunjukkan seperti Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Parameter Sweep S11 pada Panjang *Rectangular*



Gambar 3.6 Parameter Sweep S21 dengan Panjang *Rectangular*

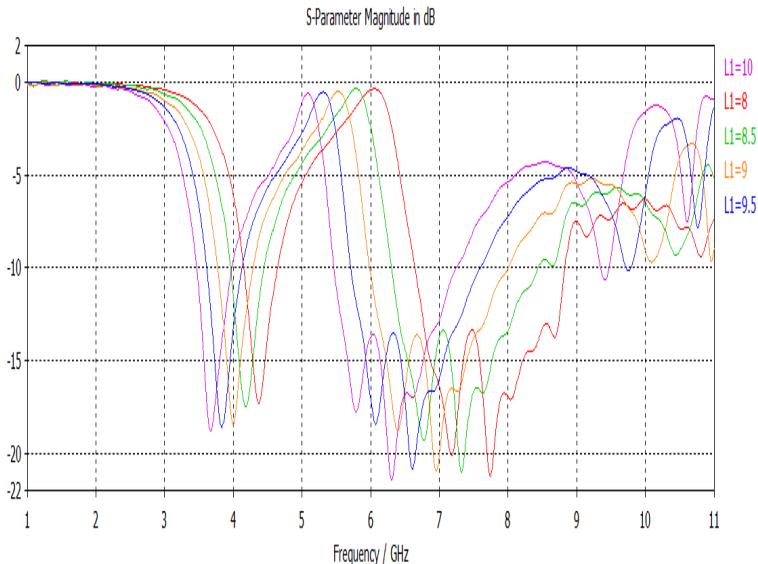
Pada gambar 3.5 menunjukkan bahwa panjang *rectangular* mempengaruhi band pertama maupun band kedua. Dari band pertama

terlihat lebar *bandwidth* mengalami perubahan tetapi kecil sekali sehingga dapat diabaikan, perubahan yaitu pada *slope* frekuensi band pertama dimana pada saat $2R=2.5$ mm sebesar -17.1 dB dan semakin turun mengikuti semakin besar dari nilai Panjang *Rectangular* ($2R$) yaitu pada $2R=4.5$ mm dimana sebesar -24.8 dB. Pada band kedua semakin besar nilai $2R$ maka band akan bergeser ke sebelah kanan.

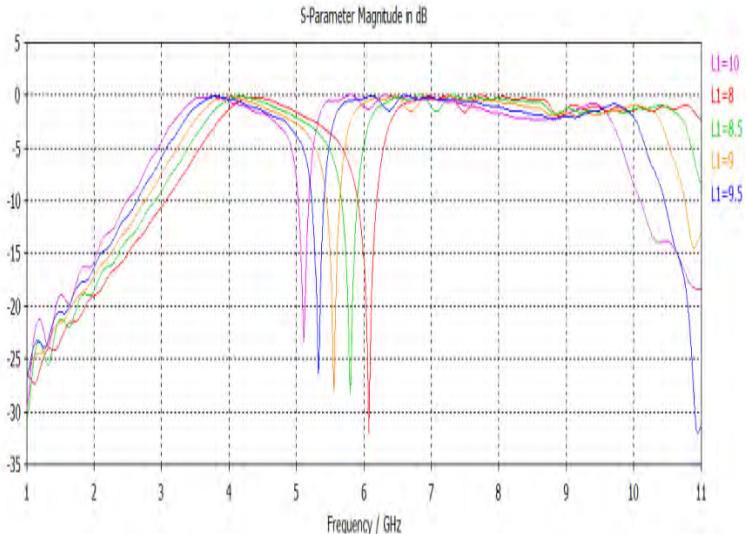
Pada gambar 3.6 yang menunjukkan grafik S_{21} dimana perubahan terhadap Panjang *Rectangular* ($2R$) menyebabkan terjadinya perubahan pada bandwidth frekuensi atas atau low pass filter dimana semakin kecil dari Panjang *Rectangular* ($2R$) maka bandwidth semakin lebar yaitu pada $2R=4.5$ mm nilai frekuensi 9.83 GHz dan terus naik yaitu pada $2R=2.5$ mm nilai frekuensi adalah 10.583 GHz.

b. Parameter Sweep panjang *finger*

Parameter sweep dilakukan dalam perubahan panjang *finger* pada interdigital kapasitor. Perubahan dalam lima kondisi secara bertahap, rentang dari $L1=8$ mm sampai $L1=10$ mm. Grafik Parameter Sweep panjang *finger* ditunjukkan gambar 3.7 dan gambar 3.8.



Gambar 3.7 Parameter Sweep S_{11} pada Panjang *finger*



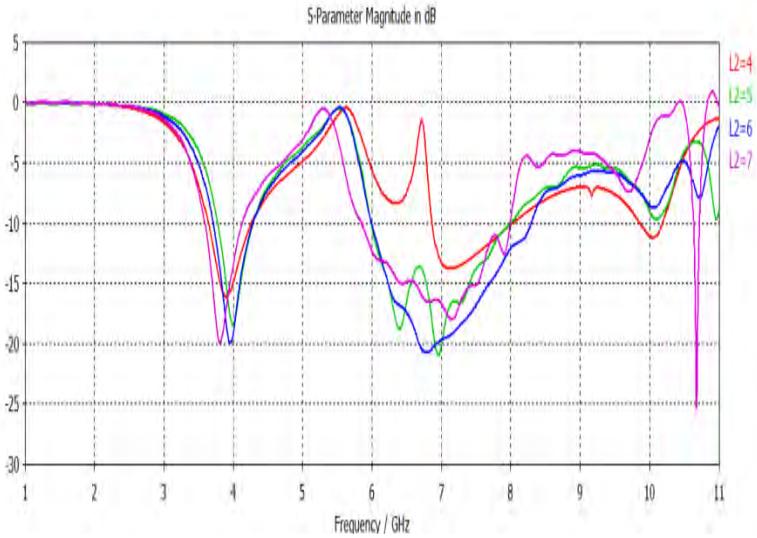
Gambar 3.8 Parameter Sweep S21 pada Panjang *finger*

Dari grafik gambar 3.7 (parameter Sweep S11) menunjukkan pengaruh terhadap pergeseran frekuensi kerja filter, semakin besar nilai dari Panjang *finger* maka frekuensi kerja akan bergeser ke kiri.

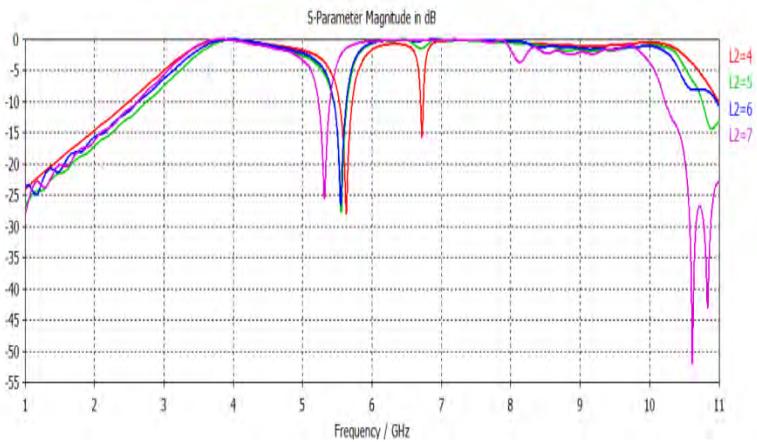
Dan pada gambar 3.8, grafik menunjukkan parameter sweep S21, Pengaruh dari perubahan panjang *finger* yaitu pada pergeseran frekuensi kerja filter dan slope frekuensi dari notch band. Nilai dari Panjang *finger* semakin kecil maka frekuensi kerja filter akan bergeser ke kanan, dan slope frekuensi akan semakin curam. Seperti data yang ditunjukkan grafik yaitu pada saat $L1=10$ mm nilai magnitude adalah -23.37 dB semakin curam dan pada saat $L1=8$ mm nilai magnitude adalah -32.03 dB.

c. Parameter Sweep panjang *Ground Stub*

Perubahan terhadap panjang *Ground Stub* dilakukan dalam empat tahapan yaitu pada *range* $L2=4$ mm sampai $L2=7$ mm. Berikut adalah grafik parameter sweep panjang *ground stub* yang ditunjukkan pada gambar 3.9 dan gambar 3.10.



Gambar 3.9 Parameter Sweep S11 pada Panjang *Ground Stub*

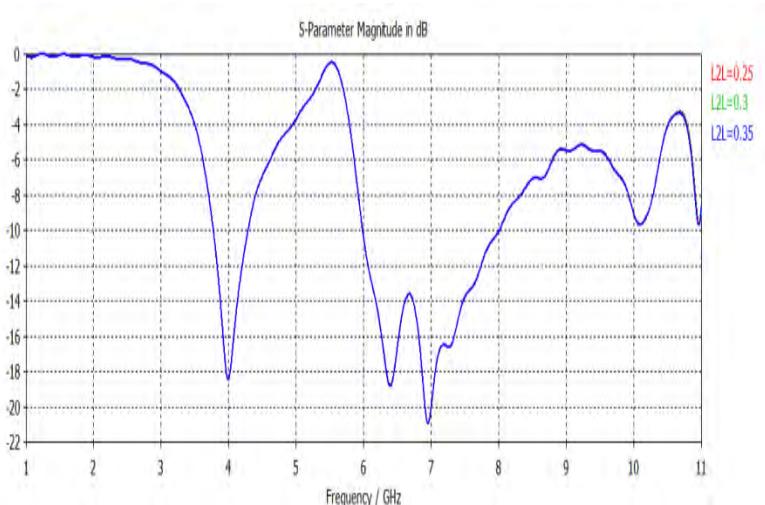


Gambar 3.10 Parameter Sweep S21 pada Panjang *Ground Stub*

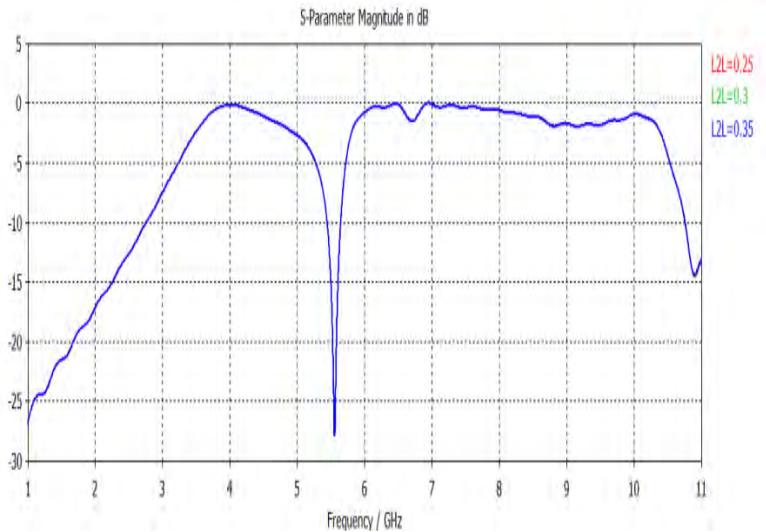
Grafik pada gambar 3.9 menunjukkan parameter sweep S11, dimana dari grafik terlihat semakin kecil nilai L2 maka grafik pada band ke dua semakin tidak setabil, dan lebar bandwidth band ke dua juga semakin sempit. Pada grafik gambar 3.10 (parameter sweep S21), perubahan mempengaruhi notch band dan band ke dua, disesuaikan dengan teori L2 yang sesuai yaitu pada rentang L2=5 mm sampai L2=6 mm.

d. Parameter Sweep Lebar Ground Stub

Pada simulasi lebar ground stub, parameter sweep dilakukan sebanyak tiga kali yaitu pada L2L=0.25 mm, L2L=0.3 mm, dan L2L=0.35 mm. Berikut merupakan grafik dari parameter sweep panjang ground stub yang dtunjukkan gambar 3.11 dan gambar 3.12.



Gambar 3.11 Parameter Sweep S11 pada Lebar Ground Stub

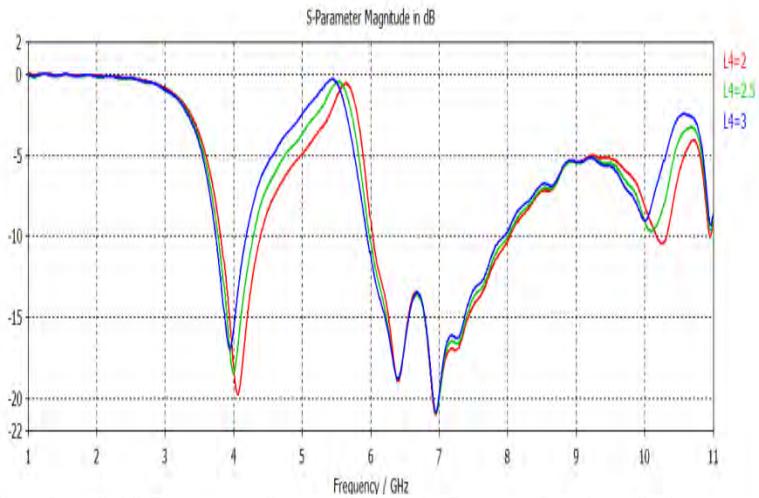


Gambar 3.12 Parameter Sweep S21 pada Lebar Ground Stub

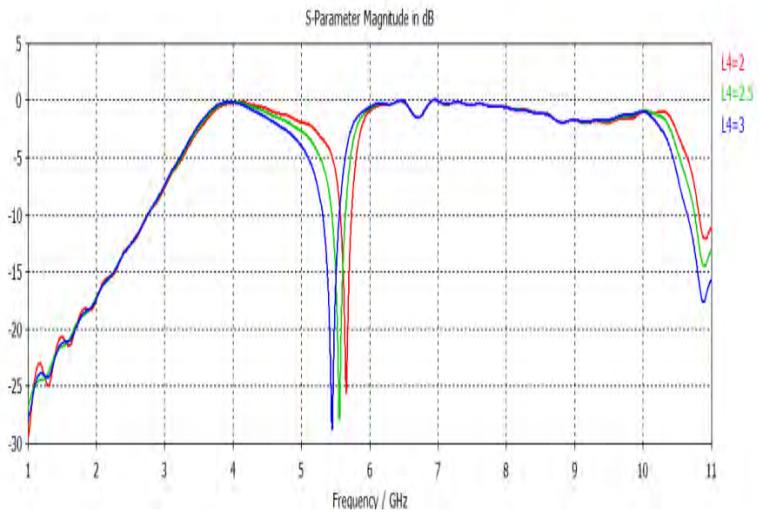
Dari grafik yang telah ditunjukkan baik parameter sweep S11 maupun parameter sweep S21 perubahan tidak berdampak pada frekuensi kerja filter.

e. Parameter Sweep Panjang *Loading Stub*

Parameter *sweep* yang dilakukan dengan merubah panjang dari loading stub dengan rentang $L4=2$ mm sampai $L4=3$ mm. Berikut merupakan parameter sweep panjang loading stub ditunjukkan gambar 3.13 dan gambar 3.14.



Gambar 3.13 Parameter Sweep S11 pada Panjang Loading Stub



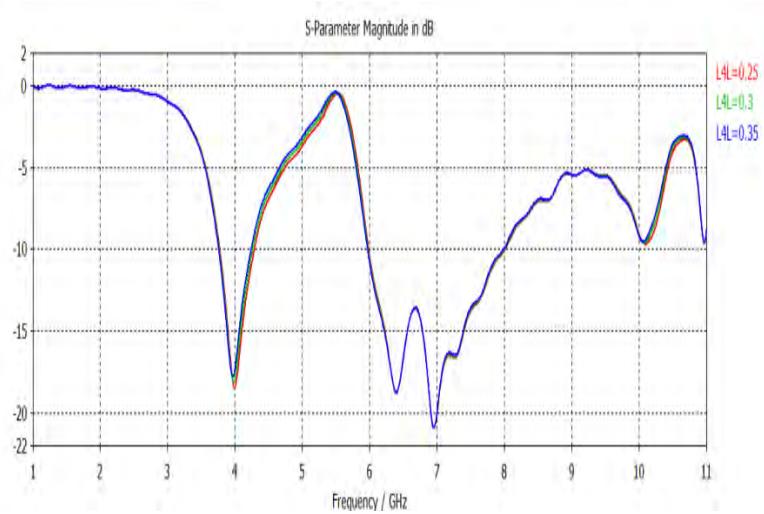
Gambar 3.14 Parameter Sweep S21 pada Panjang Loading Stub

Dari grafik gambar 3.13 dapat diamati bahwa pengaruh parameter sweep terhadap panjang *loading stub* yaitu pada band pertama dimana

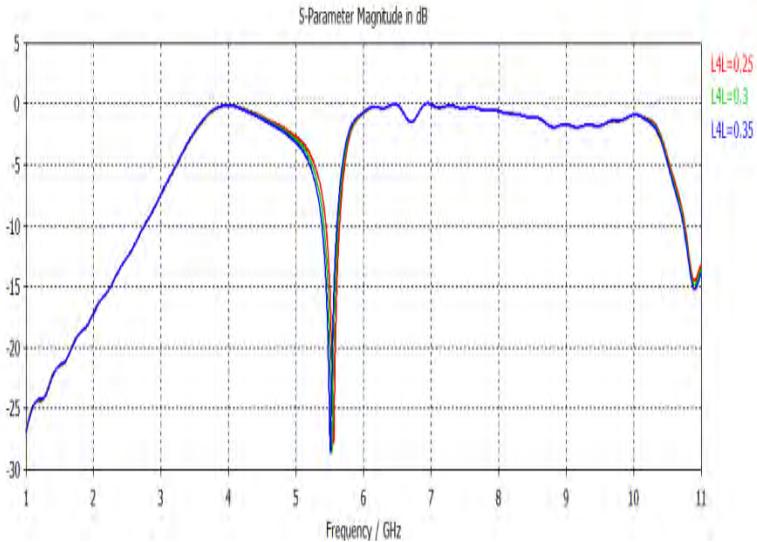
semakin kecil nilai L_2 maka bandwidth semakin lebar. Pada gambar 3.14, grafik menunjukkan terjadinya pengaruh pada notchband dan frekuensi tinggi atau pada *low pass filter*, semakin kecil nilai L_2 maka akan notchband dan frekuensi tinggi bergeser ke kanan.

f. Parameter Sweep Lebar Loading Stub

Parameter *sweep* pada perubahan *loading stub* dilakukan dalam tiga kondisi yaitu dari rentang $L_4L=0.25$ mm sampai $L_4L=0.35$ mm. Grafik berikut menunjukkan parameter *sweep lebar loading stub* (L_4L).



Gambar 3.15 Parameter Sweep S11 pada *Lebar Loading Stub*



Gambar 3. 16 Parameter Sweep S21 pada *Lebar Loading Stub*

Dari grafik yang telah ditunjukkan baik parameter sweep S11 maupun parameter sweep S21 perubahan tidak begitu berdampak pada frekuensi kerja filter.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

4.1. Analisis hasil simulasi

Setelah dilakukan parameter sweep *bandpass filter* dengan notchband yang disimulasi menggunakan *CST microwave Studio 2011*, kemudian dilakukan optimalisasi pada rancangan awal berdasar pada tahapan parameter sweep.

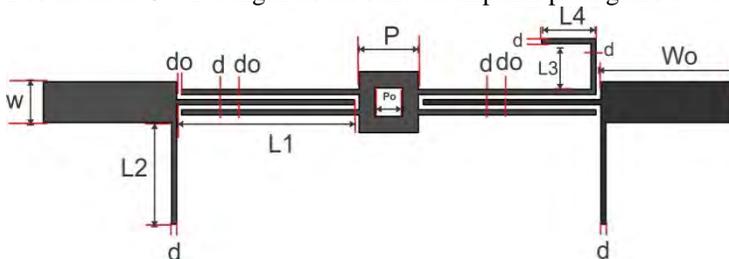
4.1.1 Optimasi Rancangan Filter UWB

Tahapan berikutnya setelah simulasi parameter sweep pada masing-masing bagian, yaitu optimasi. Perancangan desain dimensi terbaik mendekati teori adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Ukuran komponen-komponen pada Filter *UWB*

No.	Komponen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Banyak	Luas (mm ²)
1	Port	6.75	2	2	27
2	Ground Stub	5	0.25	2	2.5
3	Finger	9	0.25	6	13.25
4	Loading Stub	5	0.25	1	1.25
5	Panjang Rectangular Luar ; Dalam	3 ; 1,4	3 ; 1,4	1	1.76

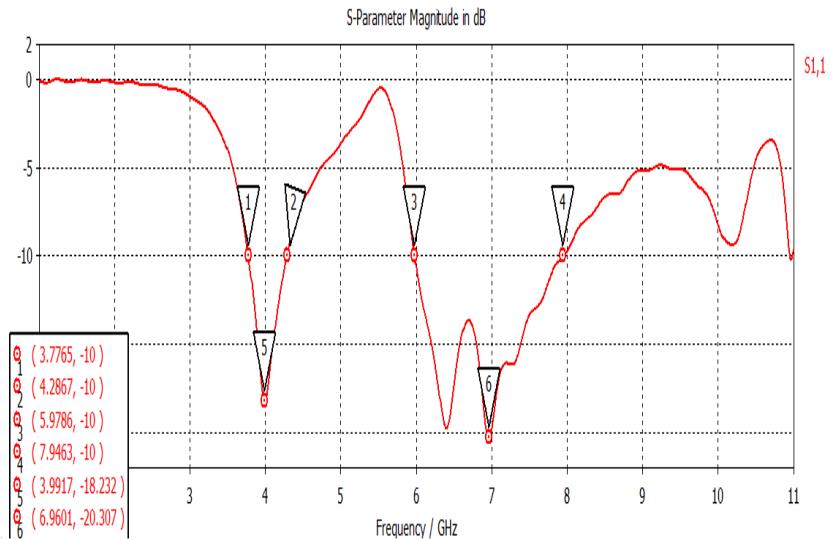
Desain filter UWB dengan notch band ditampilkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Rancangan akhir filter UWB dengan *notch band*

Pada filter gambar 4.1 mempunyai dimensi sebagai berikut lebar interdigital capacitor $d=0.25$ mm, lebar antar interdigital capacitor $d_o=0.25$ mm, panjang interdigital capsitor $L_1=9$ mm, panjang ground stub $L_2=6$ mm, Panjang antara interdigital capacitor dengan loading stub $L_3=2.5$ mm, Panjang loading stub $L_4=2.5$ mm, lebar port $W=2$ mm, panjang port $W_o=5$ mm, panjang rectangular resonator $P=3$ mm, panjang rectangular resonator dalam $P_o=1.4$ mm.

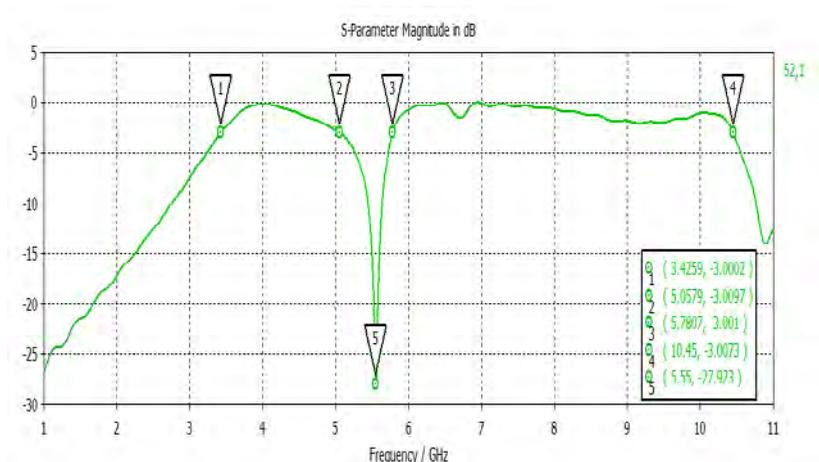
Dari tabel 4.1 didapat parameter S_{11} dan S_{21} . Scattering response frekuensi ditunjukkan pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.



Gambar 4.2 Hasil akhir simulasi parameter S_{11} pada filter yang dirancang

Pada gambar 4.2, dimana menunjukkan S -Parameter S_{11} yaitu return loss yang terjadi selama proses transmisi pada filter, standar performansi filter yang baik dinyatakan dalam magnitudo yaitu dengan nilai -10 dB, saat -10 dB pada frekuensi rendah yaitu 3.7765 GHz dan frekuensi tinggi pada frekuensi 7.9463 GHz. Dengan uraian yaitu pada band pertama rentang dari 3.7765 GHz sampai 4.2867 GHz dan band

kedua rentang dari 5.9786 GHz sampai 7.9463 GHz. Daerah passband I yaitu sebesar 0.5102 GHz dan pada daerah passband II sebesar 1.9677 dB, sehingga keseluruhan daerah passband adalah 2.4779 GHz.



Gambar 4.3 Hasil akhir simulasi parameter S21 pada filter yang dirancang

Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan *S-Parameter* S21 yang menunjukkan *insertionloss* pada saat proses transmisi sinyal terjadi pada port 1 dan port 2, respon filter bekerja dengan baik ketika magnitude pada *S-Parameter* S21 menunjukkan nilai 0 db dengan toleransi pada nilai titik acuan yaitu -3 dB, disebabkan nilai dibawah -3 dB berarti lebih dari setengah sinyal yang dikirim telah terjadi *losses*. Saat frekuensi *cut off* pada -3dB, *highpass filter* pada frekuensi 3.4259 GHz, *notchband* pada rentang frekuensi 5.0579 GHz-5.7807 GHz, dan *lowpass filter* pada frekuensi 10,45 GHz. Daerah passband I sebesar 1.632 GHz dan daerah passband II adalah 4.6693 GHz, sehingga keseluruhan daerah passband adalah 6.3013 GHz.

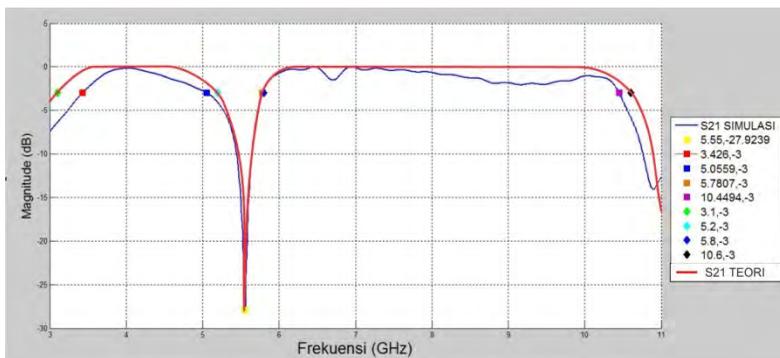
Bila dibandingkan dengan teori, frekuensi *cutt off* bawah pada teori adalah 3,1 GHz dan pada filter yang dirancang sebesar 3.4259 GHz sehingga selisihnya yaitu sebesar +325.9 MHz sedangkan pada frekuensi *notchband* pada teori (sesuai dengan standar *Unlicensed National Information Infrastructure* yang dikeluarkan oleh FCC) yaitu dengan rentang 5.15 GHz – 5.825 GHz dan pada filter yang dirancang

rentang frekuensi 5.0579 GHz-5.7807 GHz. Berikutnya pada frekuensi cutt off atas pada teori adalah 10,6 GHz dan pada filter yang dirancang sebesar 10.45GHz sehingga selisihnya yaitu sebesar -150 MHz. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada tabel 4.2 dan gambar 4.4.

Tabel 4.2 Perbandingan Parameter S21filter yang dirancang dengan teori

No.	Frekuensi	Fc bawah (GHz)	NotchBand (GHz)	Fc atas (GHz)
1	Frekuensi Teori (GHz)	3.1	5.15-5.825	10.6
2	Frekuensi filter yang dirancang (GHz)	3.4259	5.0579-5.7807	10.45
	Selisih/pergeseran (MHZ)	+325.9	-0.0921 dan -0.0443	-150

Untuk perbandingan daerah passband, pada filter teori passband I 5.15 GHz -3.1 GHz= 2.05 GHz dan daerah passband II 10.6 GHz – 5.85 GHz = 4.75 GHz, sehingga keseluruhan daerah passband 6.8 GHz. Dan pada filter hasil rancangan daerah passband sebesar 6.3013 GHz.



Gambar 4.4 Parameter S21 teori dan filter yang dirancang

Pada bagian substrat perbandingan meliputi bahan substrat referensi dengan bahan substrat rancangan, dimana pada desain filter referensi

menggunakan substart Taconic TLY 5 dan pada filter rancangan menggunakan RT 5880.

Perhitungan Faktor kualitas *bandpass filter UWB* filter yang dirancang :

$$Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{\sqrt{BW}}{f_H - f_L}$$

$$Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{\sqrt{10.45 - 3.4259}}{10.45 - 3.4259} = 3.73$$

Dari perhitungan didapat nilai Q=10 yaitu Q=3.73, sehingga filter UWB termasuk dalam *bandpassfilter* pita lebar.

4.1.2 Perbandingan Paramater S filter referensi dengan filter yang dirancang

Tabel 4.3 Perbandingan Parameter S filter referensi dengan filter yang dirancang

No.	Parameter	Filter Referensi	Filter Hasil Perancangan
1.	Band-I S11	3.3551 GHz- 4.8643 GHz	3.7765 GHz- 4.2867 GHz
2.	Band-I S21	3.1227 GHz – 5.2267 GHz	3.4259 GHz- 5.0579 GHz
3.	Band-II S11	7.4619 GHz – 8.3531 GHz	5.9786 GHz- 7,9463 GHz
4.	Band-II S21	6.6359 GHz- 9.9909 GHz	5.7807 GHz- 10,45 GHz

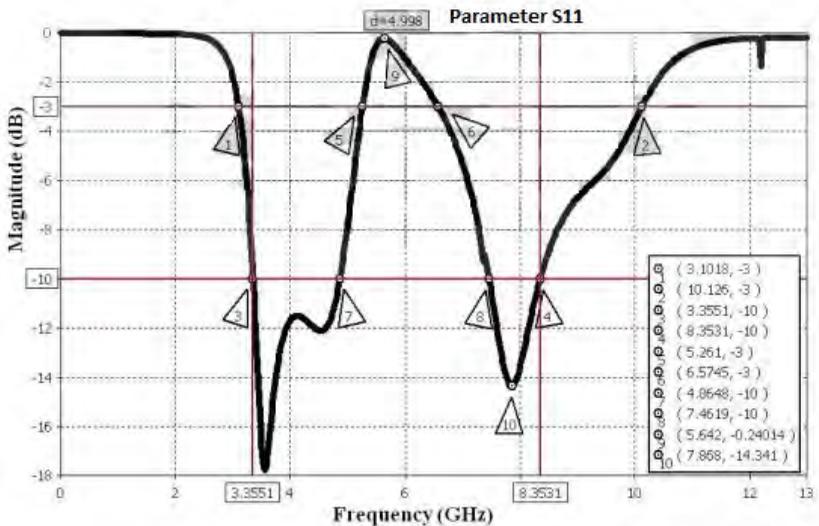
Pada tabel 4.3 terjadi peningkatan pada *bandwidth passband* parameter S11 pada Filter yang dirancang dengan hasil perhitungan adalah $((3.7765 \text{ GHz}-4.2867 \text{ GHz})+(5.9786 \text{ GHz}-7.9463 \text{ GHz}))-(3.3551 \text{ GHz}- 4.8643 \text{ GHz})+(7.4619 \text{ GHz} - 8.3531 \text{ GHz})) = 77.5 \text{ MHz}$.

Dan teterjadi peningkatan juga pada *bandwidth passband* parameter S21 pada Filter yang dirancang dengan hasil perhitungan adalah $((3.4259 \text{ GHz}-5.0579)+(5.7807 \text{ GHz}-10.45 \text{ GHz}))-(3.1227 \text{ GHz} - 5.2267 \text{ GHz})+(6.6359 \text{ GHz}- 9,9909 \text{ GHz})) = 842.3 \text{ MHz}$

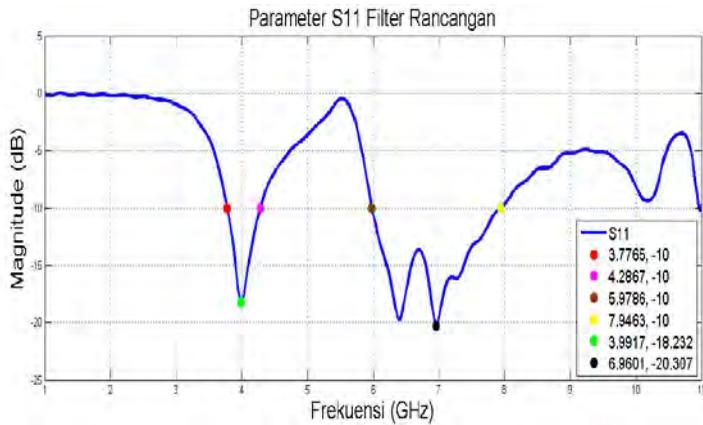
Dari tabel 4.3 didapat *passband* pada masing-masing filter, pada filter hasil referensi *bandwidth passband* S11 band I 1.5092 GHz dan band II 0.8912 GHz, sehingga keseluruhan *bandwidth passband* sebesar 2.4004 GHz. Pada filter yang dirancang terjadi peningkatan *bandwidth passband* parameter S11, dengan rincian band I 0.5102 GHz dan band II 1.9677 GHz, keseluruhan *bandwidth passband* adalah 2.4779 GHz.

Sedangkan pada parameter S21, pada filter hasil referensi *bandwidth passband* S21 band I 2,104 GHz dan band II 3.355 GHz, keseluruhan *bandwidth passband* sebesar 5.459 GHz. Pada filter yang dirancang, *bandwidth passband* meningkat cukup signifikan yaitu sebesar 0.8423 GHz, dengan rincian S21 band I 1.632 GHz dan band II 4.6693 GHz sehingga keseluruhan *bandwidth passband* sebesar 6.3013GHz.

Untuk kedalaman parameter S11 pada band I maupun band II filter referensi dan filter pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.



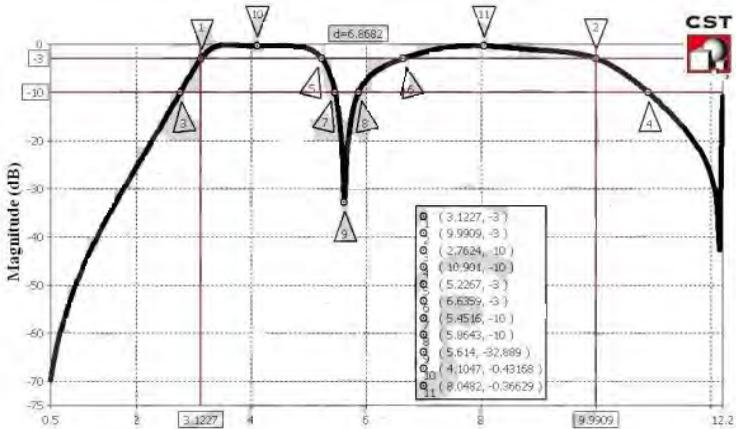
Gambar 4.5 Parameter S11 Filter Referensi



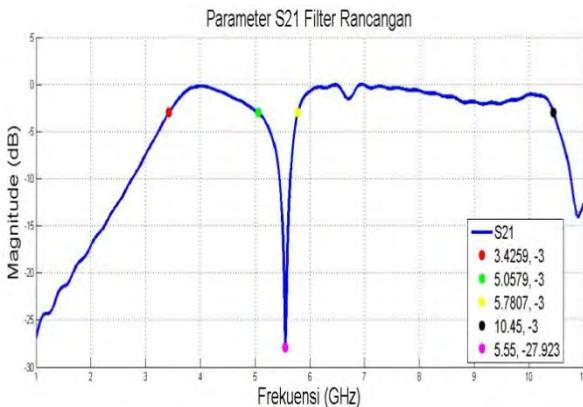
Gambar 4.6 Parameter S11 filter yang dirancang

Nilai *return loss* yang sering digunakan adalah di bawah $-9,54$ dB untuk menentukan lebar *bandwidth*, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah matching[5].

Dari grafik gambar 4.5 dan gambar 4.6, pada filter referensi kedalaman band I yaitu -18 dB dan kedalaman band II -14.341 dB, sedangkan pada filter yang dirancang kedalaman band I -18.232 dan kedalaman band II -20.307 dB. Dari kedua perbandingan tersebut menunjukkan level dari gelombang yang dikirim pada filter yang dirancang lebih besar dibanding gelombang yang dipantulkan pada filter referensi, dengan selisih pada band I 0.447 dB dan selisih pada band II sebesar 2.075 dB.



Gambar 4.7 Parameter S21 Filter Referensi



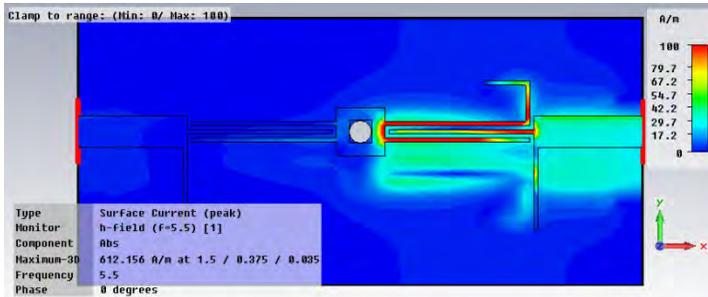
Gambar 4.8 Parameter S21 Filter yang dirancang

Analisis berikutnya adalah parameter S21 yang menunjukkan *rejection level* dari *notchbandfilter* hasil referensi dan filter yang dirancang (simulasi), gambar 4.7 parameter S21 pada filter hasil referensi menunjukkan *rejection level* sampai -32.889 dB dengan *center frequency* di 5.614 GHz. Pada gambar 4.8 pada filter yang

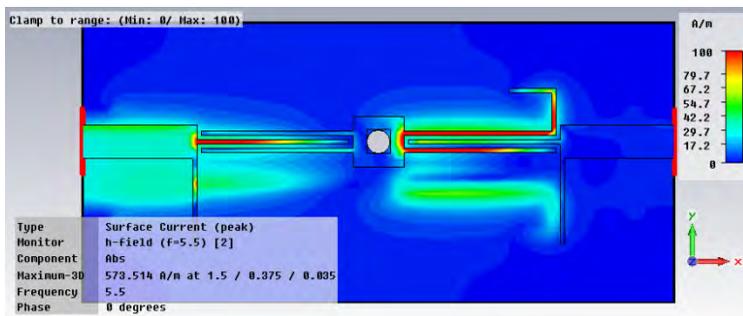
dirancang *rejection level* mencapai -27.923 dB dengan *center frequency* di 5.5 GHz.

4.1.3 Analisis *Surface Current* pada filter yang dirancang

Surface current yang terjadi selama proses transmisi pada filter hasil perancangan gambar 4.9.



(a)



(b)

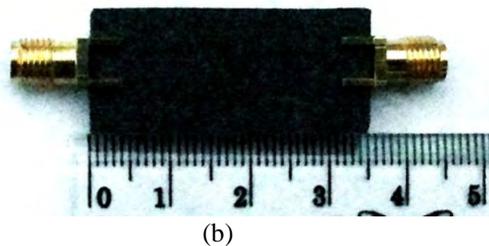
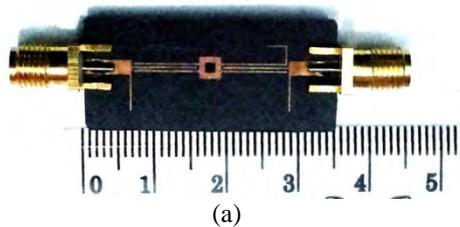
Gambar 4.9 *Surface Current* pada filter yang dirancang, (a) monitor port 1, (b) monitor port 2.

Surface current atau distribusi arus terlihat dalam gambar 4.9. Warna pada gambar menunjukkan besar nilai A/m, dimana rentang A/m dari nilai 0 A/m dengan warna biru sampai nilai tertinggi adalah 100 A/m dengan warna merah. Pada gambar 4.9.a menunjukkan nilai distribusi arus ditunjukkan paling besar pada bagian *interdigital capacitor* bagian

kanan dan bagian loading stub, hal ini berarti bagian tersebut memiliki nilai impedansi lebih rendah daripada bagian lain dan nilai impedansi paling besar yaitu pada port 2, *interdigital capacitor* bagian kiri yang ditunjukkan warna biru. . Selanjutnya pada gambar 4.9.b menunjukkan nilai distribusi arus ditunjukkan paling besar pada bagian *interdigital capacitor* secara keseluruhan dan bagian loading stub yang menunjukkan impedansi paling rendah dibanding bagian yang lain, nilai impedansi paling besar yaitu pada port 1 yang ditunjukkan warna biru.

4.2 Analisis Hasil Pengukuran

Pada tugas akhir ini didesain filter UWB dengan *notchband* pada frekuensi 5.2 GHz-5.8 GHz, Pada tahap selanjutnya setelah simulasi menggunakan perangkat lunak CST *Microwave Studio* adalah melakukan fabrikasi dan pengukuran. Pengukuran menggunakan Network Analyzer dua port. Pada gambar 4.10 menunjukkan filter Ultra Wideband dengan notchband hasil fabrikasi.



Gambar 4.10 Ukuran filter UWB hasil fabrikasi. (a)Tampak depan, (b)Tampak belakang

4.2.1 Prosedur Pengukuran

Pada tahap pengukuran terdapat beberapa tahap prosedur pengukuran. Untuk alat pengukur menggunakan Network Analyzer dua port. Didalam pengukuran hasil yang diharapkan yaitu nilai dari *return loss*(S11) dan *insertion loss* (S21).

Prosedur pengukuran Filter UWB hasil fabrikasi adalah sebagai berikut:

1. Pasang probe 50 ohm pada input NA lalu pilih kalibrasi pada NA pengukuran kalibrasi port dilakukan pada port 1 dan port 2 network analyzer. Kalibrasi dilakukan untuk validitas pengukuran, dengan cara membuat kondisi alat ukur sesuai standar.
2. Setelah kalibrasi selesai, hubungkan filter yang akan diukur pada probe konektor input 50 ohm yang terpasang di NA.
3. Network Analyzer ini dapat menampilkan frekuensi 300 KHz sampai 20 GHz
4. Tampilkan parameter-parameter yang akan dilihat hasil pengukuran dengan menekan tombol measurement yang terdapat pada NA. Lalu pilih parameter satu persatu, S11, S21.
5. Menyimpan file gambar dan data.

4.2.2 Pengukuran dimensi Filter hasil fabrikasi

Pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 menunjukkan perhitungan dimensi filter referensi dan dimensi filter fabrikasi.

Tabel 4.4 Perhitungan dimensi filter referensi

No.	Komponen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Banyak	Luas (mm)
1	Port	5	2.9	2	29
2	Groundstub	6	0.25	2	3
3	Via	0.45	0.45	2	0.4
4	Finger	7.5	0.25	6	11.25
5	Loading Stub	5	0.28	1	1.4
6	Ring	2.5	0.7	1	18.1
		3.14	3.14		
Luas Total(mm ²)					63.15

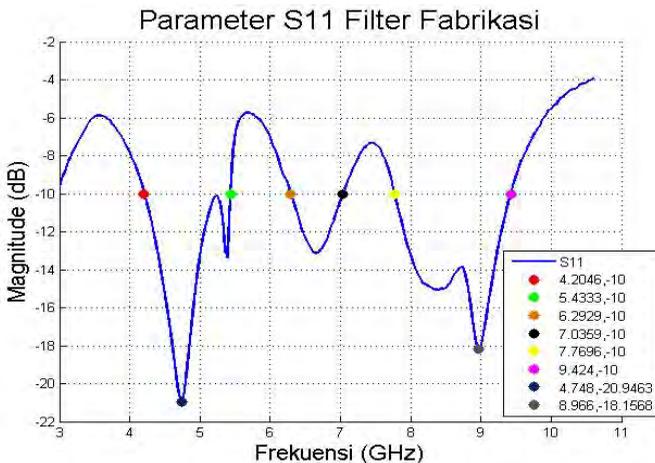
Tabel 4.5 Perhitungan dimensi filter fabrikasi

No.	Komponen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Banyak	Luas
1	Port	6.75	2	2	27
2	Ground Stub	5	0.25	2	2,5
3	Finger	9	0.25	6	13.25
4	Loading Stub	5	0.25	1	1.25
5	Panjang Rectangular Luar ; Dalam	3 ; 1,4	3 ; 1,4	1	7.04
Luas Total (mm²)					51.04

Perbandingan pada tabel 5.1 dan tabel 5.2 dimensi mengalami penurunan, dari hasil perhitungan ukuran filter maka besar miniaturisasi adalah $((63,15-51,04)/51,04) \times 100 \% = 23.72 \%$

4.2.3 Hasil pengukuran Parameter S11(Return Loss) pada filter fabrikasi (rentang network analyzer 300 KHz - 20 GHz, Advantest R3770)

Pada gambar 4.11 menampilkan parameter S11 filter hasil fabrikasi

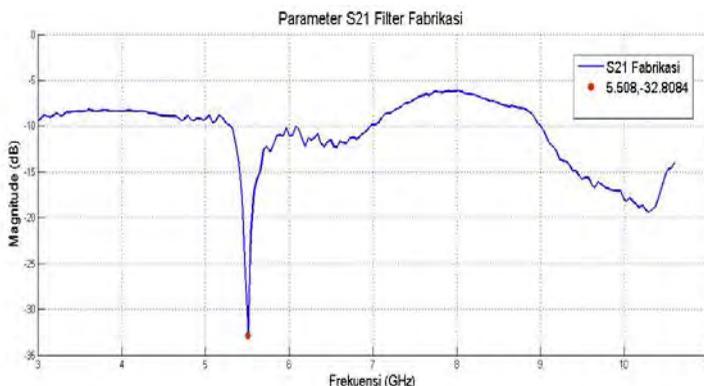


Gambar 4.11 Parameter S11 Fiter Fabrikasi

Pengukuran parameter S11 pada filter hasil fabrikasi menunjukkan adanya tiga band frekuensi, pada band pertama dengan rentang 4.204 GHz-5.43 GHz, band kedua dengan rentang 6.29 GHz-7.0359 GHz, dan band ketiga dengan rentang 7.7696 GHz-9.424 GHz. Keseluruhan *bandwidth passband* filter hasil fabrikasi adalah 3.6261 GHz.

4.2.4 Hasil pengukuran Parameter S21(Insertion Loss) pada filter fabrikasi (rentang network analyzer 300 Khz - 20 GHz, Advantest R3770)

Pada Subbab ini akan menganalisis mengenai hasil dari filter fabrikasi dengan pengukuran parameter S21. Gambar 4.12 menunjukkan respon frekuensi dari parameter S21.

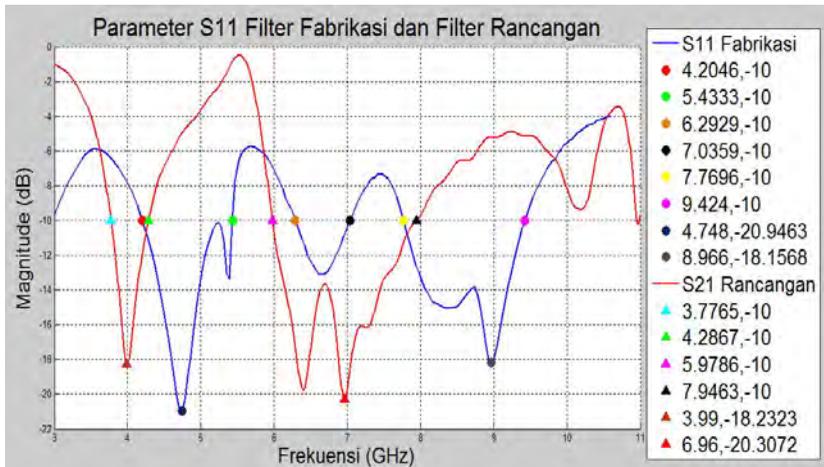


Gambar 4.12 Grafik parameter S21 Filter Fabrikasi

Pada parameter S21 filter hasil fabrikasi dengan acuan *insertion loss* titik -3 dB keatas merupakan sinyal yang dapat dikirim, maka dari hasil pengukuran filter fabrikasi tidak ada sinyal yang dikirim atau semuanya mengalami *losses* sehingga data pengukuran untuk nilai frekuensi dari *highpass filter*, *lowpass filter* dan *notchband* tidak dapat diambil, Tidak terbacanya hasil pengukuran dapat disebabkan karena kerusakan pada konektor yang dihubungkan dengan *network analyzer* sehingga hasil yang didapat tidak sesuai dengan teori. Pada gambar 4.12 dengan rentang 3- 10.6 GHz grafik S11 berada dibawah / kurang dari -3 dB, sehingga *bandwidth passband* tidak dapat ditentukan. Sedangkan untuk *rejection level* sebesar -32.8084 dB dengan *center frequency* 5.508 GHz

4.2.5 Perbandingan *Paramater S11* pada filter yang dirancang dengan pengukuran pada filter hasil fabrikasi (rentang network analyzer 300 Khz - 20 GHz, Advantest R3770)

Perbandingan antara filter hasil fabrikasi dan filter yang dirancang yaitu terdapat perbedaan pada frekuensi *cut off* dan *bandwidth passband* seperti yang terlihat pada gambar 4.13. Dari hasil *bandwidth passband*, parameter *S11* pada filter fabrikasi memiliki *bandwidth passband* 3.6261 GHz lebih lebar 1.1482 GHz dibanding dengan *bandwidth passband* pada filter yang dirancang 2.4779 GHz sehingga daya sinyal yang dikirim pada filter fabrikasi lebih besar daripada filter yang dirancang. Sedangkan pada frekuensi *cut off* nya, frekuensi filter mengalami pergeseran sesuai gambar 4.13 namun masih didalam rentang frekuensi kerjanya. Beberapa faktor yang bisa menyebabkan bergesernya frekuensi ini, diantaranya rugi-rugi koaksial, konektor dan juga dalam hal penyolderan.



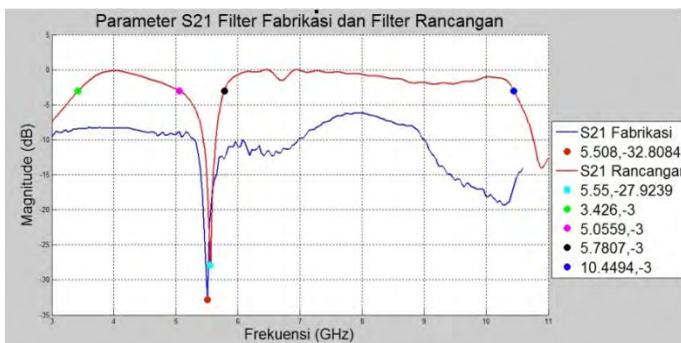
Gambar 4.13 Parameter S11 Filter Fabrikasi dan Filter yang dirancang

Tabel 4.6 Perbandingan *Paramater S* pada filter yang dirancang dengan pengukuran hasil fabrikasi

No.	Parameter	Filter Fabrikasi	Filter yang dirancang
1.	Band-I S11	4.2046 GHz- 5.4333 GHz	3.7765 GHz- 4.2867 GHz
2.	Band-I S21	-	3.4259 GHz- 5.0579 GHz
3.	Band-II S11	7.7696 GHz – 9.424 GHz	5.9786 GHz- 7,9463 GHz
4.	Band-II S21	-	5.7807 GHz- 10,45 GHz

4.2.6 Perbandingan *Paramater S21* pada filter yang durancang dengan pengukuran hasil fabrikasi (rentang network analyzer 300 Khz - 20 GHz, Advantest R3770)

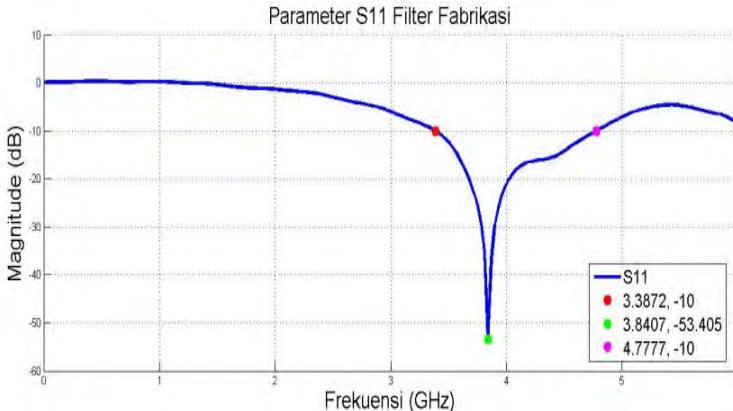
Pada gambar 4.14 menunjukkan perbandingan parameter S21. Pada filter hasil fabrikasi grafik S21 dibawah titik acuan -3dB dan *notchband*, untuk *rejection level* sebesar -32.8084 dB dengan *center frequency* 5.508 GHz. Pada filter yang dirancang rentang *bandpassfilter* 3.4259-10.4494 GHz dan rentang *notchband* 5.0579 GHz - 5.7807 GHz, dan *rejection level* sebesar -27.923 dB dengan *center frequency* 5.55 GHz. Perbedaan hasil ini bisa disebabkan beberapa faktor diantaranya lama dan tingkat temperatur pada saat proses penyolderan, rugi-rugi dari kabel koaksial, dan konektor.



Gambar 4.14 Parameter S21 filter fabrikasi dan filter yang dirancang

4.2.7 Hasil pengukuran Parameter S11(Return Loss) pada filter fabrikasi(rentang network analyzer 2 Mhz - 6 GHz, Agilent N9923A)

Pada gambar 4.15 menampilkan parameter S11filter hasil fabrikasi

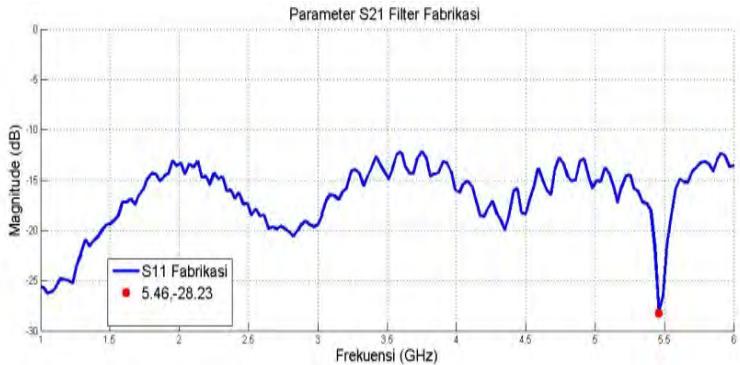


Gambar 4.15. Parameter S11 Fiter Fabrikasi

Pengukuran parameter S11 pada network analyzer diuji dari rentang 0 GHz sampai 6 GHz, dimana rentang tersebut merupakan rentang maksimal dari alat uji network analyzer. Sehingga analisis terbatas pada band I. Nilai frekuensi pada *bandpassfilter* band I dengan titik acuan magnitude -10 dB yaitu sebesar 3.3872 - 4,7777 GHz, didapat *bandwidth passband* sebesar 1,3905 GHz. Kedalaman band I cukup bagus yaitu mencapai level -53.405 dB.

4.2.8 Hasil pengukuran Parameter S21(Insertion Loss) pada filter fabrikasi (rentang network analyzer 2 Mhz - 6 GHz, Agilent N9923A)

Pada Subbab ini akan menganalisis mengenai hasil dari filter fabrikasi dengan pengukuran parameter S21. Gambar 4.16 menunjukkan respon frekuensi dari prameter S21.

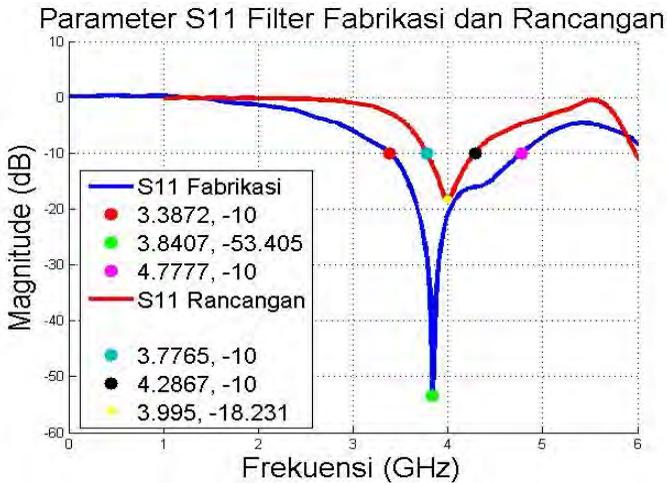


Gambar 4.16. Grafik parameter S21 Filter Fabrikasi

Pada parameter S21 filter hasil fabrikasi dengan acuan *insertion loss* titik -3 dB keatas merupakan sinyal yang dapat dikirim, maka dari hasil pengukuran filter fabrikasi tidak ada sinyal yang dikirim atau semuanya mengalami *losses*. Tidak terbacanya hasil pengukuran dapat disebabkan karena kerusakan pada konektor dan saluran transmisi yang dihubungkan dengan *network analyzer* sehingga hasil yang didapat tidak sesuai dengan teori. Pada gambar 4.16 dengan rentang 0- 6 GHz grafik S11 berada dibawah / kurang dari -3 dB, sehingga *bandwidth passband* tidak dapat ditentukan.

4.2.9 Perbandingan *Paramater S11* pada filter yang dirancang dengan pengukuran filter hasil fabrikasi (rentang *network analyzer* 2 Mhz - 6 GHz, *Agilent N9923A*)

Pada gambar 4.17 parameter S11 pada filter yang dirancang dengan titik acuan -10 dB *bandpass filter* pada 3.7765 - 4.2867 GHz sehingga *bandwidth passband* sebesar 0.5102 GHz, kedalaman magnitude filter rancangan band I sebesar -18.231 dB. Sedangkan pada parameter S11 pada filter hasil fabrikasi dengan titik acuan -10 dB *bandpass filter* pada 3.3872 - 4.7777 GHz sehingga *bandwidth passband* sebesar 1.3905 GHz, dengan kedalaman magnitude pada band I sebesar -53.405 dB.



Gambar 4.17 Parameter S11 Filter Fabrikasi dan Filter Rancangan

Dari hasil *bandwidth passband*, parameter S11 pada filter fabrikasi memiliki *bandwidth passband* lebih lebar yaitu sebesar 1.3905 GHz dibanding dengan *bandwidth passband* pada filter yang dirancang yaitu sebesar 0.5102 GHz sehingga daya sinyal yang dikirim pada filter fabrikasi lebih besar daripada filter yang dirancang. Dan perbandingan yang kedua adalah hasil dari kedalaman magnitudo masing-masing filter, pada filter yang dirancang pada band I memiliki kedalaman magnitudo sebesar -18.231 dB dan meningkat cukup signifikan pada band I filter hasil fabrikasi yaitu dengan kedalaman magnitudo sebesar -53.405 dB.

Tabel 4.7 Perbandingan *Paramater S11* pada filter yang dirancang dengan pengukuran hasil fabrikasi

No.	Parameter S11	<i>Highpass Filter</i> (GHz)	<i>Lowpass Filter</i> (GHz)	<i>Bandwidth Passband</i> (GHz)
1.	Filter yang di ancap	3.7765	4.2867	0.5102
2.	Filter Fabrikasi	3.3872	4.7777	1.3905
	Selisih/pergeseran Hasil	-0.3893	-0.491	-0.8803

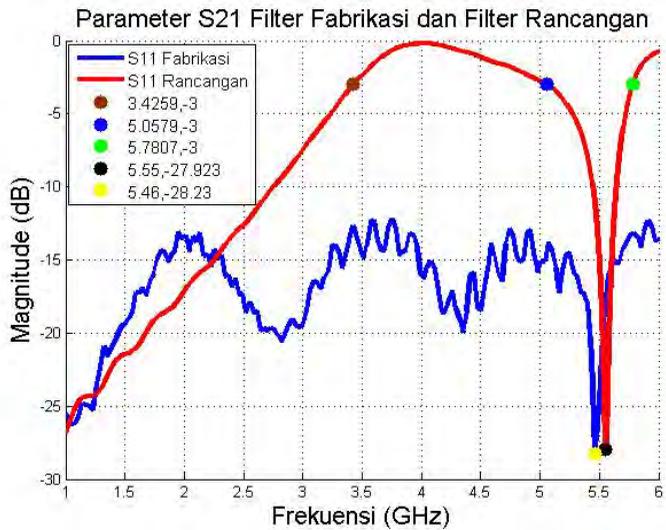
Dari tabel 4.7, dengan pergeseran *frekuensi cut off* bawah sebesar 0.3893 GHz, pergeseran *frekuensi cut off* atas sebesar 0.491 GHz, dan selisih *bandwidth passband* sebesar 0.8803 GHz dapat disimpulkan hasil pengukuran filter fabrikasi maupun filter yang dirancang tidak jauh berbeda.

4.2.10 Perbandingan *Paramater S21* pada filter yang dirancang dengan pengukuran filter hasil fabrikasi (rentang network analyzer 2 Mhz - 6 GHz, Agilent N9923A)

Pada gambar 4.18 menunjukkan perbandingan parameter S21, pada filter hasil fabrikasi grafik S21 dibawah titik acuan -3dB, untuk *rejection level* sebesar -28.23 dB dengan *center frequency* 5.46 GHz. Pada filter hasil perancangan *bandpass filter* frekuensi *cut off* bawah dengan titik acuan sebesar -3 dB adalah 3.4259 GHz, dan rentang *notchband* 5.0579 GHz - 5.7807 GHz, dan *rejection level* sebesar -27.923 dB dengan *center frequency* 5.55 GHz. Untuk *rejection level* pada kedua hasil filter memiliki nilai magnitude dan frekuensi tidak jauh berbeda seperti terlihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Perbandingan *Parameter S21* hasil simulasi perancangan dengan pengukuran hasil fabrikasi

No.	Parameter S21	High pass Filter (GHz)	Notch Band (GHz)	center frequency of Notch Band (GHz)	Notch Band (Rejection level up)
1.	Filter yang di rancang	3.4259	5.0579-5.0579	5.55	-27.923 dB
2.	Filter Fabrikasi	-	-	5.46	-28.23 dB
	Pergeseran			0.09	



Gambar 4.18 Parameter S21 Filter Fabrikasi dan Filter Rancangan

BAB V

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Tugas akhir ini merancang *Bandpassfilter* pada *Ultra Wideband* berbasis saluran transmisi metamaterial Sel Unit *Composite Right/Left Handed* dengan *Notch Band* pada frekuensi 5.2 – 5.8 GHz menggunakan substrat RT/duroid 5880. Dari hasil perancangan dapat didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada filter yang dirancang rentang *bandpass filter* 3.4259-10.45 GHz dan rentang *notchband* 5.0579- 5.7807 GHz dengan *Rejection level notchband* -27.923 dB dan center frequency pada 5.5 GHz.
2. Pada filter yang dirancang didapat miniaturisasi dimensi filter sebesar 23.72% dibanding dengan filter referensi.
3. *Rejection level notchband* pada filter yang difabrikasi sebesar - 32.8084 dB dan center frequency pada 5.508 GHz.
4. Sifat metamaterial dibangkitkan dari komponen *interdigital capacitor* dan *stub*.

6.2 Saran

Untuk penelitian berikutnya, beberapa pengembangan filter yang sebaiknya dilakukan yaitu :

1. Pemilihan substrat yang digunakan disesuaikan dengan spesifikasi pengaplikasian dari filter.
2. Penyesuaian bandwidth dari *bandpass filter* dan *notchband filter* pada filter yang dirancang agar sesuai dengan teori.

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TE 091399

**DESIGN AND ANALYSIS OF ULTRA WIDEBAND
BANDPASS FILTER BASED ON COMPOSITE RIGHT/LEFT
HANDED TRANSMISSION-LINE METAMATERIAL UNIT
CELLS WITH NOTCH BAND AT 5.2 GHz - 5.8 GHz
FREQUENCY**

WAHYU WASKITO
NRP 2210 100 055

Supervisor
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Prasetyono Hari Mukti, ST., MT., MSc.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Technology Institute
Surabaya 2014

Halaman ini sengaja dikosongkan



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 091399

**DESAIN DAN ANALISIS KERJA *BANDPASS FILTER*
PADA *ULTRA WIDEBAND* BERBASIS METAMATERIAL
SEL UNIT *COMPOSITE RIGHT/LEFT HANDED*
TRANSMISSION-LINE DENGAN *NOTCH BAND* PADA
FREKUENSI 5.2 GHz - 5.8 GHz**

WAHYU WASKITO
NRP 2210 100 055

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Prasetyono Hari Mukti, ST., MT., MSc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri – ITS

TE 091399 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Wahyu Waskito
Nomer Pokok : 2210100055
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Th. 2013/2014
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
2. Prasetyono Hari Mukti, ST, MT, MSc

27 FEB 2014

Judul Tugas Akhir : **Desain dan Analisis Kerja Bandpassfilter Ultra Wideband berbasis Metamaterial Sel Unit Composite Right/Left Handed Transmission-Line dengan Notch Band pada frekuensi 5,2 GHz – 5,8 GHz**
(Design and Analysis of Ultra Wideband Bandpassfilter based on Composite Right/Left Handed Transmission-Line Metamaterial Unit Cells with Notch Band at 5,2 – 5,8 GHz Frequency)

Uraian Tugas Akhir :

Perkembangan *gadget* teknologi yang memerlukan konektivitas nirkabel berkembang sangat pesat. Sebagai pilihan teknologi selain *Bluetooth* maupun *wifi* terdapat teknologi *Ultra Wideband* (UWB) menawarkan pengaplikasian jaringan *wireless* dengan kecepatan tinggi mencapai 500 Mb/s dan juga energi transmisi kurang dari 1mW.

Perancangan filter *bandpass* pada *ultra-wideband* (UWB) yang memenuhi spesifikasi FCC UWB yang bekerja pada frekuensi 3,1 Ghz – 10,6 Ghz akan diimplementasikan dalam tugas akhir ini. Perancangan ini juga termasuk memberikan *immunity* terhadap gangguan/interferensi sinyal radio lain seperti *WLAN 802.11a* yang bekerja pada rentang 5,2 GHz - 5,8 Ghz. Untuk itu maka pada rancangan filter ini perlu ditambahkan filter *bandstop* / *notch band filter* agar tidak terjadi interferensi pada frekuensi tersebut.

Filter yang dirancang berdasar pada struktur *CRLH-TL* yang menggunakan pendekatan saluran transmisi sehingga didapat sifat metamaterial. Kelebihan dari *CRLH-TL* ini adalah strukturnya yang *homogeneous* dimana rata-rata strukturnya lebih kecil dibanding dari panjang gelombang frekuensi kerja. *CRLH-TL* dapat bekerja pada daerah *broadband* dengan rugi-rugi (*losses*) yang kecil. Selain itu, dimensi komponennya dapat dirancang hingga $\frac{1}{4} \lambda_c$, sehingga memungkinkan untuk miniaturisasi dengan struktur ini. Dengan metode pendekatan teori *CRLH-TL* ini diharapkan mendapatkan dimensi yang lebih kecil dan kompak tanpa mengurangi kemampuan kerja filter UWB.

Kata Kunci : *Filter, ultra wideband, composite right left handed, notchband, bandpass*

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 197210012003121002

Prasetyono Hari Mukti, ST, MT, MSc
NIP. 198409132012121002

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,

Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT.
NIP. 197002121995121001

Dr. Ir. Endrovono, DEA
NIP. 196504041991021001

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Alir Perancangan Filter. (a) Tahap Awal Desain dan Optimasi, (b) Tahap Fabrikasi, analisis, dan Penyusunan Laporan	4
Gambar 2.1	5 GHz WLAN Band.....	9
Gambar 2.2	Rangkaian <i>lowpass filter</i> dan tanggapan frekuensinya.....	10
Gambar 2.3	Rangkaian <i>highpass filter</i> dan tanggapan frekuensinya.....	11
Gambar 2.4	Struktur mikrostrip.....	13
Gambar 2.5	Klasifikasi Metamaterial	15
Gambar 2.6	Sel unit dari saluran transmisi mikrostrip CRLH	16
Gambar 2.7	Interdigital Capacitor	17
Gambar 2.8	Kabel jumper <i>RG 8 sma connector</i>	19
Gambar 2.9	<i>Sma Female PCB connector</i>	19
Gambar 2.10	<i>Sma male to N male connector</i>	19
Gambar 2.11	Advantest R3770 20GHz RF Vector Network Analyzer	20
Gambar 2.12	Rentang UWB pada wilayah yang berbeda-beda.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan Filter. (a) Tahap Awal Desain dan Optimasi, (b) Tahap Fabrikasi, analisis, dan Penyusunan Laporan	24
Gambar 3.2	Desain Filter UWB	25
Gambar 3.3	Desain filter.....	27
Gambar 3.4	Dimensi filter UWB Rancangan	27
Gambar 3.5	<i>Parameter Sweep S11</i> pada panjang <i>Rectangular</i>	29
Gambar 3.6	<i>Parameter Sweep S21</i> pada panjang <i>Rectangular</i>	29
Gambar 3.7	<i>Parameter Sweep S11</i> pada panjang <i>finger</i>	30
Gambar 3.8	<i>Parameter Sweep S21</i> pada panjang <i>finger</i>	31
Gambar 3.9	<i>Parameter Sweep S11</i> pada panjang <i>ground stub</i>	32
Gambar 3.10	<i>Parameter Sweep S21</i> pada panjang <i>ground stub</i>	32
Gambar 3.11	<i>Parameter Sweep S11</i> pada lebar <i>ground stub</i>	33
Gambar 3.12	<i>Parameter Sweep S21</i> pada lebar <i>ground stub</i>	34
Gambar 3.13	<i>Parameter Sweep S11</i> pada panjang <i>loading stub</i>	35
Gambar 3.14	<i>Parameter Sweep S21</i> pada panjang <i>loading stub</i>	35
Gambar 3.15	<i>Parameter Sweep S11</i> pada lebar <i>loading stub</i>	36
Gambar 3.16	<i>Parameter Sweep S21</i> pada lebar <i>loading stub</i>	37
Gambar 4.1	Rancangan akhir filter UWB dengan <i>notch band</i>	39

Gambar 4.2	Hasil akhir simulasi Parameter S11	40
Gambar 4.3	Hasil akhir simulasi Parameter S21	41
Gambar 4.4	Parameter S21 teori dan filter yang dirancang	42
Gambar 4.5	Parameter S11 Filter Referensi	44
Gambar 4.6	Parameter S11 Filter Rancangan.....	44
Gambar 4.7	Parameter S21 Filter Referensi	45
Gambar 4.8	Parameter S21 Filter Rancangan.....	46
Gambar 4.9	<i>Surface Current</i> pada filter hasil perancangan, (a) monitor port 1, (b) monitor port 2.....	47
Gambar 4.10	Ukuran filter UWB hasil fabrikasi. (a) Tampak depan, (b) Tampak belakang	51
Gambar 4.11	Parameter S11 Filter Fabrikasi.....	50
Gambar 4.12	Grafik parameter S21 Filter Fabrikasi	51
Gambar 4.13	Parameter S11 Filter Fabrikasi dan Filter Perancangan	52
Gambar 4.14	Parameter S21 Filter Fabrikasi dan Filter Perancangan.....	53
Gambar 4.15	Parameter S11 Filter Fabrikasi.....	54
Gambar 4.16	Grafik parameter S21 Filter Fabrikasi	55
Gambar 4.17	Parameter S11 Filter Fabrikasi dan Filter Perancangan	56
Gambar 4.18	Parameter S21 Filter Fabrikasi dan Filter Perancangan.....	58

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

“Desain dan Analisis Kerja *Bandpassfilter* pada *Ultra Wideband* berbasis *Metamaterial Sel Unit Composite Right/Left Handed Transmission-Line* dengan *Notch Band* pada frekuensi *5.2 GHz – 5.8 GHz*”

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan studi strata-1 pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Ayah, Ibu, dan kakak serta keluarga atas doa, dukungan, dan pengertian yang telah diberikan selama ini.
2. Bapak Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D dan bapak Prasetiyono Hari Mukti, ST, MT, MSc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberi bimbingan dan motivasi pada saya.
3. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama kuliah di Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS.
4. Seluruh pihak yang telah mendukung atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sitematika Pembahasan.....	5
1.7. Relevansi.....	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. UltraWideband	7
2.2. Frekuensi Radio dalam rentang <i>notchband filter</i>	7
2.2.1. Teknologi WLAN 802.11	7
2.2.2. <i>Wireless broadband 5.8 GHz</i>	10
2.3. Filter.....	10
2.3.1. Magnitude Response	11
2.4. Saluran mikrostrip	13
2.4.1. Struktur saluran mikrostrip	13
2.4.2. Rugi-rugi Mikrostrip	13
2.5. Pemilihan Substrat	14
2.6. Metamaterial	14
2.6.1. CRLH-TL.....	15
2.6.2. Unit sel CRLH	16
2.6.3. Interdigital Capacitor.....	16

2.6.4.	Stub	17
2.7.	Rectangular Resonator	18
2.8	Substrat RT 5880	18
2.9.	Notch Band	18
2.10	Alat Ukur	18
2.10.1	Kabel jumper RG 8 sma male to n male	18
2.10.2	<i>Sma Female pcb connector</i>	19
2.10.3	<i>SMA male to N male connector</i>	19
2.10.4	<i>Network Analyzer</i>	20
2.11.	Standar dan Regulasi.....	20
2.11.1.	Regulasi.....	20
2.11.2.	Standar	21

BAB III PERANCANGAN DAN DESAIN ULTRA WIDEBAND DENGAN NOTCHBAND

3.1	Tahapan Perancangan Filter	23
3.2	Konfigurasi Filter acuan.....	25
3.3	Perancangan Filter Ultra WideBand	26
3.3.1	Spesifikasi perancangan Filter	26
3.4	Parameter Sweep, Hasil rancangan, dan Simulasi filter and Ultra Wideband	27

BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

4.1	Analisis hasil simulasi.....	39
4.1.1	Optimasi Rancangan Filter UWB	39
4.1.2	Perbandingan Paramater S simulasi hasil referensi dengan hasil filter yang dirancang	43
4.1.3	Analisis Surface Current pada filter yang dirancang.....	47
4.2	Analisis hasil pengukuran	48
4.2.1	Prosedur Pengukuran	49
4.2.2	Pengukuran dimensi Filter hasil fabrikasi	49
4.2.3	Hasil pengukuran Parameter S11(Return Loss) pada filter fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 300 Khz - 20 GHz, Advantest R3770).....	50
4.2.4	Hasil pengukuran Parameter S21(Insertion Loss) pada filter fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 300 Khz - 20 GHz, Advantest R3770).....	51

4.2.5	Perbandingan Paramater S11 pada filter yang dirancang dengan pengukuran hasil fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 300 Khz - 20 GHz, Advantest R3770).....	52
4.2.6	Perbandingan parameter S21 pada filter yang dirancang dengan pengukuran hasil fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 300 Khz - 20 GHz, Advantest R3770).....	53
4.2.7	Hasil pengukuran Parameter S11(Return Loss) pada filter fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 2 Mhz - 6 GHz, Agilent N9923A)	54
4.2.8	Hasil pengukuran Parameter S21(Insertion Loss) pada filter fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 2 Mhz - 6 GHz, Agilent N9923A)	54
4.2.9	Perbandingan Paramater S11 pada filter yang dirancang dengan pengukuran hasil fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 2 Mhz - 6 GHz, Agilent N9923A)	55
4.2.10	Perbandingan parameter S21 pada filter yang dirancang dengan pengukuran hasil fabrikasi fabrikasi (rentang network analyzer 2 Mhz - 6 GHz, Agilent N9923A)	57

BAB V PENUTUP

6.1	Kesimpulan	59
6.2	Saran	59

DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	63
RIWAYAT PENULIS.....	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Ukuran kompone-komponen pada filter UWB.....	39
Tabel 4.2	Perbandingan Parameter S21 pada filter yang di rancang rancang dengan teori.....	42
Tabel 4.3	Perbandingan Parameter S simulasi hasil referensi dengan simulasi hasil perancangan.....	43
Tabel 4.4	Perhitungan dimensi filter referensi.....	49
Tabel 4.5	Perhitungan dimensi filter fabrikasi.....	50
Tabel 4.6	Perbandingan Parameter S pada filter yang di rancang rancang dengan filter hasil fabrikasi.....	53
Tabel 4.7	Perbandingan Parameter S11 pada filter yang di rancang dengan simulasi hasil fabrikasi	57
Tabel 4.8	Perbandingan Parameter S21 pada filter yang di rancang dengan simulasi hasil fabrikasi	58

Halaman ini sengaja dikosongkan