

LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN
MENGUNAKAN *LUMPED ELEMENT* UNTUK KOMUNIKASI
PENERBANGAN PADA FREKUENSI
117,975 – 137 MHz**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk kelulusan Strata
Satu (S-1) Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jember



Oleh :

Yoga Herdinata Prasetyo

NIM.1910622001

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER**

2023

LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN
MENGUNAKAN *LUMPED ELEMENT* UNTUK
KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA FREKUENSI
117,975 – 137 MHz**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk kelulusan
Strata Satu (S-1) Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jember



Oleh :

Yoga Herdinata Prasetyo

NIM.1910622001

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER**

2023

HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Dosen Pembimbing	I	: Sofia Ariyani, S.Si., M.T.
NIP/NPK/NIDN		: 0709126702
Nam Dosen Pembimbing	II	: Muhammad Aan Auliq, S.T., M.T.
NIP/NPK/NIDN		: 0715108701

Sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir (TA), pada Mahasiswa:

Nama	: Yoga Herdinata Prasetyo
NIM	: 1910622001
Program Studi	: Teknik Elektro

Bersama ini menyatakan:

Menyetujui mahasiswa tersebut diatas untuk maju dalam sidang Tugas Akhir dengan judul:

RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN MENGGUNAKAN *LUMPED ELEMENT* UNTUK KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA FREKUENSI 117,975 – 137 MHz

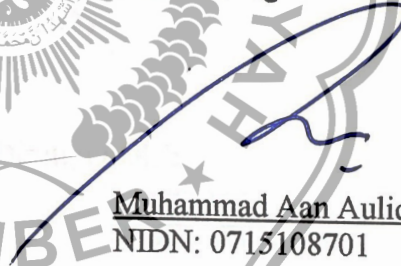
Jember, 16 Agustus 2023

Pembimbing I



Sofia Ariyani, S.Si., M.T.
NIDN: 0709126702

Pembimbing II



Muhammad Aan Auliq, S.T., M.T.
NIDN: 0715108701

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Aji Brahma Nugroho, S.Si., M.T.
NIDN: 0730018605

LEMBAR PENGESAHAN

DOSEN PENGUJI

**RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN MENGGUNAKAN
LUMPED ELEMENT UNTUK KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA
FREKUENSI 117,975 – 137 MHz**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk kelulusan Strata Satu
(S-1) Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jember**

Oleh:

Yoga Herdinata Prasetyo

1910622001

Jember, 16 Agustus 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Penguji I

Penguji II



Aji Brahma Nugroho, S.Si., M.T.
NIDN: 0730018605



Ftriana, S.Si., M.T.
NIDN: 0715049105

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN MENGGUNAKAN
LUMPED ELEMENT UNTUK KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA
FREKUENSI 117,975 – 137 MHz**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk kelulusan Strata Satu
(S-1) Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jember**

Oleh:

Yoga Herdinata Prasetyo

1910622001

Jember, *16 Agustus 2023*

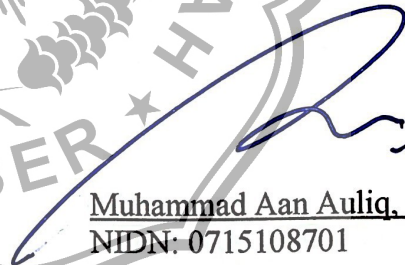
Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Sofia Ariyani, S.Si., M.T.
NIDN: 0709126702



Muhammad Aan Auliq, S.T., M.T.
NIDN: 0715108701

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jember

Ketua Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Jember



Dr. Ir. Nanang Saiful Rizal, S.T., M.T., IPM
NPK: 1978040510308366



Aji Brahma Nugroho, S.Si., M.T.
NIDN: 0730018605

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

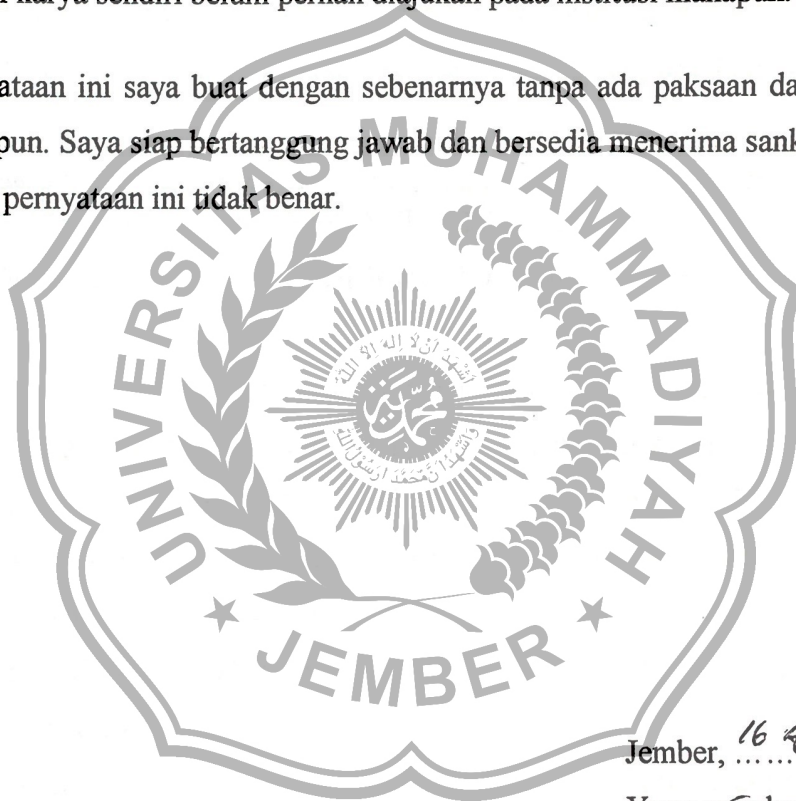
Nama : Yoga Herdinata Prasetyo

NIM : 1910622001

Program Studi : Teknik Elektro Sore

menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul **“RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN MENGGUNAKAN *LUMPED ELEMENT* UNTUK KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA FREKUENSI 117,975 – 137 MHz”** adalah benar-benar hasil karya sendiri belum pernah diajukan pada institusi manapun.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dan tekanan dari pihak manapun. Saya siap bertanggung jawab dan bersedia menerima sanksi apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.



Jember, 16 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Yoga Herdinata Prasetyo
NIM: 1910622001

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala berkah, rahmat, dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN MENGGUNAKAN *LUMPED ELEMENT* UNTUK KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA FREKUENSI 117,975 – 137 MHz”. Penyusunan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik elektro pada Fakultas Teknik pada Universitas Muhammadiyah Jember, dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak memperoleh saran, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Dr. Ir. Nanang Saiful Rizal, S.T., M.T.,IPM selaku Dekan Fakultas Teknik
2. Bapak Aji Brahma Nugroho, S.Si., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro dan dosen penguji yang telah membimbing dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, nasehat, bimbingan, selama penyelesaian tugas akhir ini.
4. Ibu Sofia Ariyani, S.Si., M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak masukan dalam proses pembuatan tugas akhir ini.
5. Bapak M. A'an Auliq, ST., M.T selaku wakil dekan Fakultas Teknik dan Dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan dalam proses pembuatan tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Angkatan 2019 yang telah membantu memberikan informasi selama pembuatan tugas akhir sampai selesai.
7. Bapak/ibu Dosen Fakultas Teknik yang telah memberikan atau mengajarkan ilmu pengetahuan.
8. Keluargaku tersayang Bapak, Ibu, Nenek, dan Kakak dengan penuh kasih sayang yang telah mendukung secara moril selama menempuh Pendidikan diperguruan tinggi.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran terbuka untuk perbaikan karya

penulis selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi semua pihak yang membutuhkan. Terimakasih

Jember, 16 Agustus 2023



Penulis



**RANCANG BANGUN *BAND PASS FILTER* DENGAN MENGGUNAKAN
LUMPED ELEMENT UNTUK KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA
FREKUENSI 117,975 – 137 MHz**

**Yoga Herdinata Prasetyo
Teknik elektro, Teknik, Universitas Muhammdiyah Jember**

ABSTRAK

Fungsi *Filter* adalah meloloskan frekuensi yang diinginkan dan akan meredam frekuensi yang tidak diinginkan atau tidak sesuai *passband* yang diizinkan. Desain dan realisasi Rancang Bangun *Band Pass Filter* ini menggunakan *lumped element*. Pada rangkaian ini komponen lumped element yang digunakan adalah inductor dan kapasitor juga bisa disebut *Filter LC*. *Band Pass Filter* dengan *lumped element* ini akan didesain dengan *Insertion Loss* $\leq 0,2$ dB pada daerah *passband*, *Return Loss* ≤ -10 dB, impedansi karakteristik 50Ω , frekuensi kerja 117,975 – 137 MHz dengan respon *Filter Butterworth*. *Band Pass Filter* ini dirancang dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *CST Studio Suite 2019* setelah *Band Pass Filter* didesain dan dicetak (fabrikasi) menggunakan bahan dari Sustrate *FR4* yang mempunyai ketebalan 1,6 mm dan Konstanta dielektrik relative (ϵ_r)= 4,3 dan diukur menggunakan *Network Analyzer*.

Kata kunci : *Band Pass Filter, Lumped element, Insertion Loss, Return Loss, Filter LC*



BAND PASS FILTER DESIGN USING LUMPED ELEMENT FOR AVIATION COMMUNICATION AT 117.975 – 137 MHz FREQUENCY

Yoga Herdinata Prasetyo
Electrical Engineering, Engineering, Muhammadiyah University Of Jember

ABSTRACT

The filter function is to pass the desired frequency and will attenuate unwanted frequencies or do not match the permissible passband. The design and realization of the Band Pass Filter Design uses a lumped element. In this circuit the lumped element components used are inductors and capacitors which can also be called LC filters. Band Pass Filter with lumped element will be designed with Insertion Loss ≤ 0.2 dB in the passband area, Return Loss ≤ -10 dB, characteristic impedance of 50Ω , operating frequency of 117.975 – 137 MHz with Butterworth Filter response. . This Band Pass Filter was designed and simulated using the CST Studio Suite 2019 software after the Band Pass Filter was designed and printed (fabricated) using material from Sustrate FR4 which has a thickness of 1.6 mm and Relative dielectric constant (ϵ_r) = 4.3 and is measured using Network Analyzer.

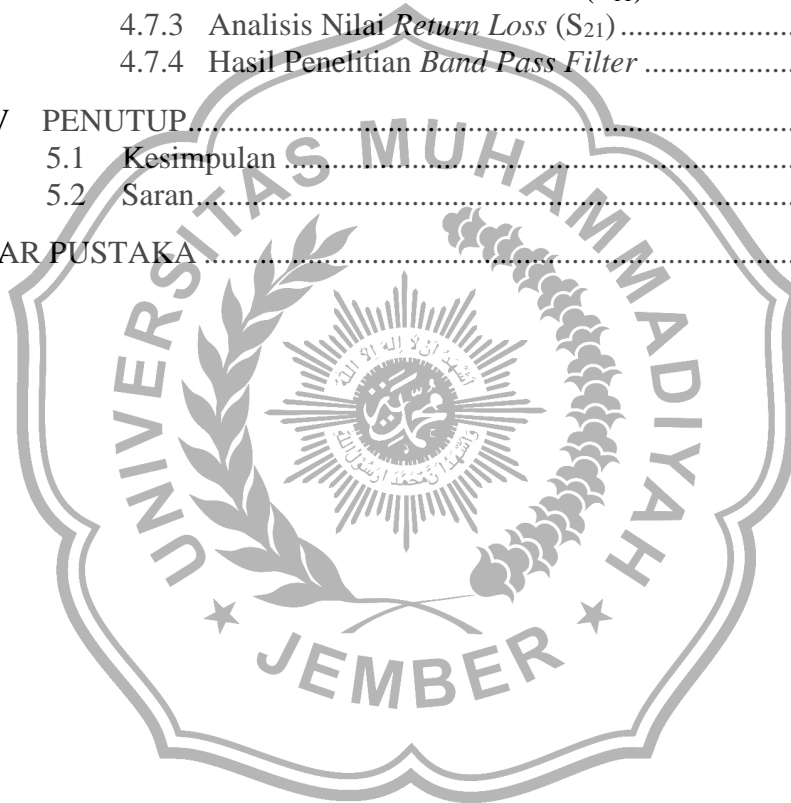
Keywords : Band Pass Filter, Lumped Element, Insertion Loss, Return Loss, LC Filter



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Filter</i>	5
2.2 <i>Lumped element</i> (Induktor (L), kapasitor (C), Resistor (R)).....	5
2.3 <i>Filter LC</i>	7
2.4 <i>Low pass filter (LPF)</i>	8
2.5 <i>High pass filter (HPF)</i>	9
2.6 <i>Band Pass Filter (BPF)</i>	10
2.7 <i>VSWR (Voltage Standing wave Ratio)</i>	12
2.8 Parameter Pengukuran.....	13
2.8.1 <i>Insertion Loss</i>	13
2.8.2 <i>Return Loss</i>	13
2.8.3 <i>Bandwidth</i>	14
2.8.4 <i>Parameter S</i>	16
2.9 <i>Software</i>	16
BAB III METEDOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Perancangan <i>Hardware</i>	19
3.1.1 Diagram Blok Sistem.....	19
3.1.2 Spesifikasi Material <i>Band Pass Filter</i>	21
3.1.3 Desain Rangkaian Alat.....	20
3.1.4 Flowchart Cara Kerja Alat.....	23
3.1.5 Flowchart Pengujian Alat.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Analisis Hasil Rancang Bangun <i>Band Pass Filter</i> Radio Komunikasi Penerbangan <i>VHF</i>	26
4.2 Simulasi Pada <i>Software CST Studio Suite 2019</i>	26

4.2.1.	Hasil Simulasi Nilai <i>Return Loss</i> (S_{11}).....	27
4.2.2.	Hasil Simulasi Parameter <i>Insertion Loss</i> (S_{21}).....	27
4.2.3.	Hasil Simulasi Nilai <i>Return Loss</i> (S_{11}) Dan <i>Insertion Loss</i> (S_{21})	28
4.3	Fabrikasi <i>Band Pass Filter</i>	28
4.4	Pengukuran <i>Band Pass Filter</i>	30
4.5	Data Hasil Pengukuran.....	31
4.5.1.	Hasil Pengukuran Parameter <i>Insertion Loss</i> (S_{21}).....	31
4.5.2.	Hasil pengukuran parameter <i>Return Loss</i> (S_{11}).....	32
4.5.3.	Hasil pengukuran parameter <i>VSWR</i>	32
4.6	Perbandingan Hasil Pengukuran	33
4.7	Analisa hasil pengukuran	34
4.7.1	Analisa Pergeseran Frekuensi Kerja	34
4.7.2.	Analisis Nilai <i>Insertion Loss</i> (S_{11})	35
4.7.3	Analisis Nilai <i>Return Loss</i> (S_{21})	35
4.7.4	Hasil Penelitian <i>Band Pass Filter</i>	36
BAB V	PENUTUP.....	37
5.1	Kesimpulan	37
5.2	Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tegangan Dua Terminal Dan Representasi Arus Dari Induktor, Kapasitor Dan Resistor.....	6
Gambar 2.2 Konfigurasi <i>Filter Low-pass</i> Dan <i>High-pass T- Section</i>	8
Gambar 2.3 <i>Filter M-Derived Section (A) Low-pass T-Ssection. (B) High-pass T-Section</i>	8
Gambar 2.4 Respon Frekuensi <i>Low pass filter</i>	9
Gambar 2.5 Respon Frekuensi <i>High pass filter</i>	9
Gambar 2.6 Blok Diagram <i>Band Pass Filter</i>	11
Gambar 2.7 Kurva Respon <i>Band Pass Filter</i>	11
Gambar 2.8 Gelombang <i>VSWR</i>	12
Gambar 2.9 <i>Insertion Loss</i> Dan <i>Return Loss</i>	14
Gambar 2.10 <i>Bandwidth</i>	15
Gambar 2.11 <i>Parameter S</i>	16
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Rancang Bangun <i>Band Pass Filter</i>	19
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Lumped Orde 5 Band Pass Filter</i> Hasil Simulasi Sesuai Spesifikasi Tabel Di Atas	21
Gambar 3.3 Desain Modul Tampak Depan	21
Gambar 3.4 Desain Modul Tampak Atas	21
Gambar 3.5 Desain Modul Tampak Samping.....	22
Gambar 3.6 Respon <i>Band Pass Filter</i> Dengan Respon <i>Butterworth</i> Hasil Simulasi	22
Gambar 3.7 Nilai <i>Return Loss (S₁₁)</i> Hasil Simulasi	22
Gambar 3.8 Nilai <i>Insertion Loss (S₂₁)</i> Hasil Simulasi	23
Gambar 3.9 Flowchart Cara Kerja Alat	23
Gambar 3.10 Flowchart Rencana Pengujian.....	24

Gambar 4.1 Rangkaian Lumped Orde 5 <i>Band Pass Filter</i> Hasil Simulasi Sesuai <i>CST Filter Designer 3D 2019</i>	26
Gambar 4.2 Hasil Simulasi Nilai <i>Return Loss</i> (S_{11})	27
Gambar 4.3 Hasil Simulasi <i>Insertion Loss</i> (S_{21}).....	27
Gambar 4.4 Hasil Simulasi Nilai <i>Return Loss</i> (S_{11}) Dan <i>Insertion Loss</i> (S_{21})	28
Gambar 4.5 Layout <i>PCB Band Pass Filter</i>	29
Gambar 4.6 Negatif Film <i>Band Pass Filter</i>	29
Gambar 4.7 Hasil <i>Band Pass Filter</i> Yang Telah Dicitak	30
Gambar 4.8 Hasil Rangkaian <i>Band Pass Filter</i> Yang Telah Disolder	30
Gambar 4.9 Pengukuran Parameter Dan Karakteristik <i>Band Pass Filter</i> Menggunakan Alat Ukur <i>Vektor Network Analyzer (VNA)</i>	31
Gambar 4.10 Pengukuran Parameter <i>Insertion Loss</i> (S_{21}).....	31
Gambar 4.11 Pengukuran Parameter <i>Return Loss</i> (S_{11}).....	32
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran <i>VSWR Band Pass Filter</i>	32
Gambar 4.13 Perbandingan Grafik Antara Hasil Pengukuran Dengan Grafik Hasil Simulasi	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 spesifikasi yang dibutuhkan untuk menjalankan <i>Software CST Studio Suite</i>	17
Tabel 3.1 Spesifikasi Material <i>Band Pass Filter</i>	20
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Band Pass Filter</i> Dengan Respon <i>Butterworth</i> Yang Akan Dirancang.....	20
Table 4.1 Pengukuran Parameter Hasil Simulasi.....	28
Table 4.2 Spesifikasi Bahan Yang Digunakan.....	29
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Parameter <i>Band Pass Filter</i> Menggunakan Alat Ukur.....	33
Tabel 4.4 Perbandingan Spesifikasi Rancangan, Simulasi, Dan Hasil Pengukuran.....	33
Tabel 4.5 Komponen Kapasitor Yang Digunakan Antara Simulasi Dan Fabrikasi.....	34
Tabel 4.6 Komponen Induktor Yang Digunakan Antara Simulasi Dan Fabrikasi.....	35



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kemajuan teknologi dibidang telekomunikasi telah memberikan dampak yang signifikan bagi kehidupan manusia.penggunaan teknologi merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk kemajuan. Saat ini, penyiaran gelombang elektromagnetik melalui pemancar hampir selalu menjadi bagian dari proses telekomunikasi. di zaman modern seperti ini, berbagai macam perangkat digunakan untuk mempermudah komunikasi. untuk melindungi komunikasi penerbangan antara pilot dan pemandu lalu lintas dari potensi kerugian yang ditimbulkan akibat penggunaan alat dan perangkat telekomunikasi yang tidak sesuai, ini mendorong pengemabangan industri, inovasi, dan rekayasa teknologi, serta menjamin konektivitas jaringan telekomunikasi (Purwo S dkk, 2021)

Berdasarkan peraturan menteri perhubungan nomor KM 27 tahun 2005 tentang pemberlakuan standar nasional Indonesia (SNI) 03-70970-2005 mengenai peralatan komunikasi darat udara yang berfrekuensi yang amat tinggi (*VHF-AIR GROUND*) di bandar udara sebagai standar wajib, ditetapkan bahwa peralatan komunikasi radio yang beroperasi di rentang frekuensi *VHF* yaitu 117,975 Mhz sampai dengan 137 Mhz, frekuensi ini yang digunakan sebagai sarana komunikasi antara *ATC (Air Traffic Controller)* dengan pilot. Pada Komunikasi ini sangat rentan terhadap *interferensi* (Avianti dkk, 2021) di karenakan masuk nya frekuensi yang tidak diinginkan. Gangguan komunikasi ini dapat mengganggu dalam pemberian pelayanan pemandu lalu lintas dan sangat berpotensi besar ada nya *miss communication* antara pemandu lalu lintas dan pilot.

Filter adalah perangkat yang memungkinkan untuk melewatkan satu pita frekuensi saja dan meredam frekuensi yang tidak dibutuhkan. Interferensi yang terjadi selama proses penerimaan merupakan salah satu masalah yang sering memperngaruhi sistem penerima dan dapat mengubah sinyal informasi yang

akan diterima, untuk menghilangkan gangguan interferensi ini diperlukannya *Filter* dalam suatu perangkat. *Band Pass Filter* adalah salah satu jenis *Filter* yang cocok untuk mengatasi masalah ini (Rahayu dkk, 2021).. *Filter* itu sendiri terdiri dari 4 (empat) bagian yaitu; *Low pass filter (LPF)* memiliki fungsi untuk melewatkan frekuensi rendah, *High pass filter (HPF)* memiliki fungsi untuk meloloskan tinggi, *Band Pass Filter (BPF)* memiliki fungsi untuk meloloskan frekuensi sesuai frekuensi kerja dan melemahkan frekuensi yang tidak sesuai dengan frekuensi kerja, dan *Band Stop Filter (BSP)* berfungsi untuk meredam sinyal yang memiliki band frekuensi tertentu

Dalam hal ini lebih memperdalam mengenai *Band Pass Filter (BPF)* dengan menggunakan rangkaian *lumped element* yang menggunakan komponen induktor (L) dan kapasitor (C) dengan respon *butterworth* pada radio telekomunikasi, namun dalam kasus ini, *BPF* digunakan untuk sistem radio telekomunikasi, membuat desain dan bentuk yang lebih ringkas, mudah dan efektif. *BPF* dengan nilai efisien yang baik, band width yang sempit, *Return Loss* yang minimal, *Voltage standing ratio (VSWR)* yang rendah, *Insertion Loss* yang rendah, bobot yang relative rendah, dan tidak memerlukan banyak biaya. fungsi utama *BPF* adalah untuk melewatkan frekuensi sesuai frekuensi kerja yang sudah ditentukan. Frekuensi bawah dan atas dari rentang yang diinginkan, selain frekuensi kerja akan dilemahkan, sehingga mendapatkan frekuensi tengah sesuai yang sesuai rentang tersebut.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang diatas masalah ini memicu sebuah pertanyaan yang penting untuk dijawab yaitu sebagai berikut:

- a. Bagaimana desain *Band Pass Filter* yang dirancang apakah terdapat perbedaan hasil antara fabrikasi dan simulasi?
- b. Apakah *Band Pass Filter* yang telah dirancang dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 117,975 MHz – 137 MHz
- c. Apakah hasil pengukuran parameter nilai spesifikasi *Band Pass Filter* hasil perancangan yang dibuat lebih efektif ?

- d. Apakah hasil parameter *Band Pass Filter* yang telah difabrikasi sudah sesuai apa yang diinginkan?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Dari rumusan masalah diatas Penelitian ini memiliki tujuan:

1. untuk Merancang dan membuat modul *Band Pass Filter* yang dapat mencegah terjadinya interferensi pada alat telekomunikasi.
2. menguji perbandingan hasil dari rancangan parameter *Band Pass Filter* untuk memperoleh frekuensi kerja yang sesuai dengan telekomunikasi penerbangan
3. melakukan analisa hasil pengukuran dan spesifikasinya dengan membandingkan parameter-parameter yang diukur dengan hasil simulasi

1.4 BATASAN MASALAH

Adanya batasan masalah dimanfaatkan agar pokok bahasan tidak menyimpang dari jalur dan menjadi terlalu luas, sehingga pembahasan penelitian menjadi lebih mudah dan tujuan penelitian menjadi lebih jelas. Berikut beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan alat menggunakan rangkaian *Lumped element*
2. Pengujian alat menggunakan *Vector Network Analyzer (VNA)*
3. Perangkat lunak yang digunakan untuk perancangan *Band Pass Filter* menggunakan aplikasi *CST Studio Suite*
4. Frekuensi yang akan diuji coba menggunakan rentang frekuensi *VHF* (117,975 MHz – 137 MHz)
5. Pembahasan hanya seputar *Band Pass Filter*
6. Parameter yang diukur yaitu *Insertion Loss*, *Return Loss*, dan *VSWR*
7. Bahan yang digunakan komponen terbuat dari keramik (SMD), bahan substrat menggunakan *FR4* konstanta dielektrik (ϵ_r)= 4,3 dengan ketebalan 1,5mm

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah peningkatan pengetahuan dan pemahaman tentang topik-topik yang terkait dengan telekomunikasi, dan Dengan menggunakan *Band Pass Filter* diharapkan sinyal

frekuensi yang diterima sesuai dengan yang diinginkan dan dapat mengurangi kerugian dalam bidang telekomunikasi penerbangan baik dalam waktu, biaya dan daya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini, disusun sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, Batasan masalah, manfaat, systematka penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi teori dan penjelasan dari *Band Pass Filter* secara umum dan teori teori mengenai parameter yang digunakan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil fabrikasi, perbandingan, dan pembahasan parameter yang telah diukur

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dikerjakan serta saran bagi penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSATAKA

Berisi refrensi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Filter*

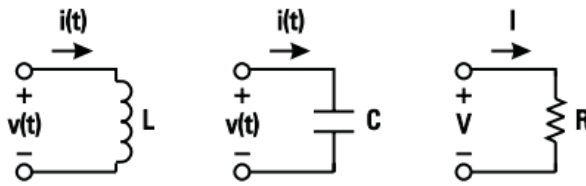
Filter merupakan perangkat yang dapat memilih sinyal frekuensi yang diterima, dilewatkan, atau diizinkan untuk dilewati sambil menolak atau melemahkan frekuensi lain. Fungsi transfer digunakan untuk mendefinisikan hubungan antara output dan *input Filter*. *Filter* sangat penting dalam aplikasi RF/gelombang mikro, seperti untuk komunikasi satelit, komunikasi nirkabel, dan teknologi radar. Kebutuhan akan *Filter* RF atau *microwave* yang lebih baik dengan kinerja yang lebih tinggi, ukuran yang lebih ringkas, dan bobot yang lebih ringan telah meningkat seiring waktu. Jaringan-jaringan *Filter* memiliki dua sifat yaitu bersifat aktif maupun pasif. *Filter* bersifat pasif memiliki komponen yang berisi resistor, induktor, dan kapasitor saja, sedangkan *Filter* aktif berisikan komponen transistor atau *Operational Amplifier (Op-Amp)* yang ditambah dengan resistor, induktor, dan kapasitor. Pembagian daerah yang dilewati *Filter* berdasarkan frekuensi menjadi 4 (empat) bagian, yaitu :

1. *Low pass filter (LPF)*
2. *High pass filter (HPF)*
3. *Band Pass Filter (BPF)*
4. *Band Stop Filter (BSF)*

2.2 *Lumped element (Induktor (L), Kapasitor (C), Resistor (R))*

Pada bagian ini deskripsi singkat tentang induktor (L), kapasitor (C), dan resistor (R) dan fungsi dasarnya disediakan. Hubungan matematika antara tegangan terminal dan arus melintasi elemen rangkaian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. juga disertakan. Dalam diskusi ini kita akan mempertimbangkan elemen-elemen ini sebagai ideal; yaitu, L, C, R mewakili induktor, kapasitor, murni dan linier resistor, masing-masing.

Lumped-element model (juga disebut *lumped-parameter model*, atau *lumped-component model*) menyederhanakan deskripsi perilaku sistem fisik yang terdistribusi secara spasial, seperti rangkaian listrik, ke dalam topologi



Gambar 2.1 Tegangan Dua Terminal dan Representasi Arus Dari Induktor, Kapasitor dan Resistor.

Induktor ideal induktansi L menyimpan atau melepaskan energi magnet W_m , dan tidak menyimpan energi listrik. Komponen ini juga tidak menghilangkan apapun daya dan fase arus listrik yang berubah terhadap waktu $i(t)$ tertinggal fase tegangan $v(t)$ melintasi terminalnya. Secara matematis,

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}, \quad v = j\omega L i \quad (1a)$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt, \quad i = \frac{v}{j\omega L} \quad (1b)$$

$$W_m = \frac{1}{2} L i_0^2 \quad (1c)$$

Keterangan:

$V(t)$ = fase tegangan (volt)

L = Inductor (Henry)

$i(t)$ = waktu (se)

W_m = energi magnet (N/m^2)

di mana ketergantungan waktu diasumsikan sebagai $e^{j\omega t}$ dan i_0 adalah akar rata-rata kuadrat (rms) nilai arus. Dalam kapasitor ideal kapasitansi C , energi yang disimpan atau dilepaskan adalah: hanya dari jenis listrik W_e dan komponen tersebut tidak menghilangkan daya apapun. Di kapasitor fase arus listrik $i(t)$ memimpin fase tegangan $v(t)$ dan hubungan antara v dan i dinyatakan sebagai berikut:

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}, \quad i = j\omega C v \quad (2a)$$

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (2b)$$

$$W_e = \frac{1}{2} C v_0^2 \quad (2c)$$

keterangan:

W_e = energi yang disimpan atau dilepaskan (Joule)

C = kapasitor (Farad)

di mana v_0 adalah nilai rms tegangan. Komponen *lossy*, ketika dimensinya jauh lebih kecil daripada operasinya panjang gelombang, dianggap sebagai resistor linier. Dalam komponen seperti itu, tegangan dan arus melintasi terminalnya sefasa dan daya datang sepenuhnya yang melewati. Jika V dan I adalah tegangan dan arus rms yang melintasi resistor bernilai R , maka menurut hukum Ohm

$$V = RI \quad (3)$$

Keterangan:

V = tegangan (Volt)

R = resistor (Ohm)

I = arus (Ampere)

Daya yang dihamburkan P diberikan oleh

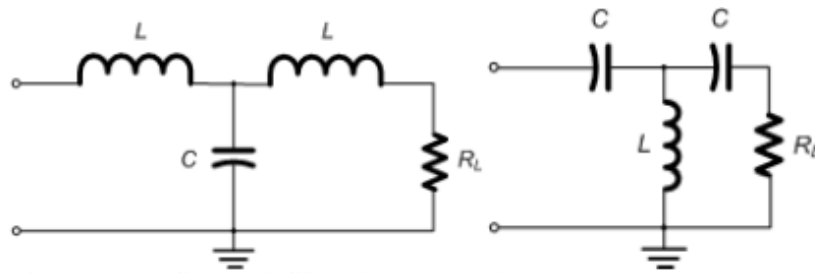
$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad (4)$$

2.3 Filter LC

Filter RC jarang digunakan, terutama di atas sekitar 100 kHz, dan biasanya digunakan pada frekuensi rendah pada frekuensi audio. *Filter passband RC* redaman pada frekuensi radio memiliki *passband* yang terlalu besar dan kemiringan *cut off* yang tidak rata. *Filter LC* berbasis induktor dan kapasitor digunakan untuk aplikasi frekuensi yang lebih tinggi. Induktor frekuensi tinggi sangat kecil, ringan, dan murah, sedangkan induktor frekuensi rendah secara fisik besar, tebal, dan mahal. Banyak jenis *Filter LC* lainnya telah diproduksi dari waktu ke waktu. Desain komputer juga mempengaruhi cara *Filter* dirancang.

Filter LC paling sederhana terdiri dari satu induktor dan satu kapasitor. Penyelarasan filter orde tinggi menggunakan lebih banyak komponen untuk menghasilkan *roll-off* yang lebih tajam dan lebih jelas dalam meredam kebisingan yang tidak diinginkan. Misalnya, *filter Elliptic (Cauer)* memberikan *roll-off*

paling tajam dan paling tidak sensitif terhadap variasi komponen. Sebagai *trade-off*, ada lebih banyak *ripple pass-band* dan *stop-band ripple* di filter Elliptic LC.



Gambar 2.2. Konfigurasi *Filter Low-pass* Dan *High-pass T- Section*

Filter konstanta-k memiliki tingkat redaman yang hilang relative lambat setelah *cut off*, dan impedansi tidak konstan. Bagian *Filter* turunan m-derived adalah modifikasi dari bagian konstanta-k yang dirancang untuk diatasi masalah ini seperti yang ditunjukkan pada gambar impedansi Z_1 dan Z_2 bagian T konstanta-k diganti dengan Z_1 dan Z_2



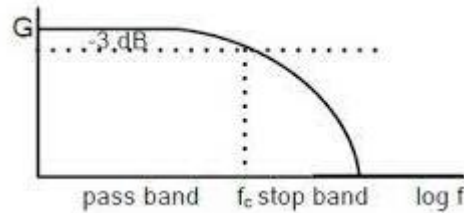
Gambar 2.3. *Filter M-Derived Section (A) Low-pass T-Ssection. (B) High-pass T-Section*

2.4 Low pass filter (LPF)

Filter lolos rendah, sering dikenal sebagai *LPF*, adalah rangkaian yang memisahkan sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi transisi dari sinyal dengan frekuensi di atas transisi. Frekuensi di mana respons penguatan *LPF* turun menjadi 70,7% dari penguatan maksimum dikenal sebagai frekuensi transisi.

Dengan kata lain, gain *LPF* ($H(\omega)$) bernilai $\frac{1}{\sqrt{2}}$ atau 0,707. Energi yang hilang dalam rangkaian pada frekuensi *cut off* sama dengan setengah dari energi maksimal. Sebuah redaman yang cukup besar dari sinyal sebanding dengan kuadrat frekuensi rasio akan terjadi. Rumus yang digunakan untuk

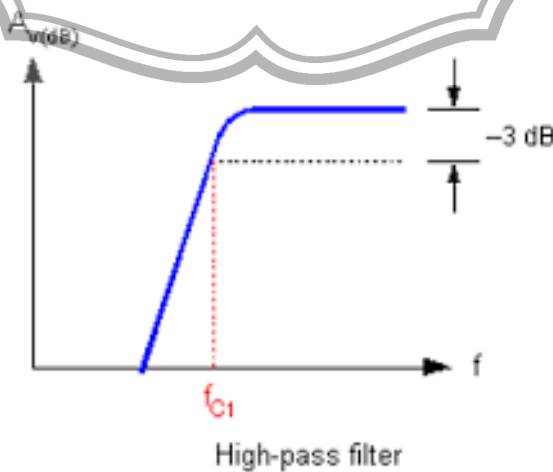
menggambarkan bagaimana sebenarnya *LPF* berperilaku. Nilai resistor dan kapasitor pada rangkaian *low pass filter* adalah sama. Gambar 2.4 menunjukkan respon frekuensi dari *low pass filter*



Gambar 2.4. Respon Frekuensi *Low pass filter*

2.5 High pass filter (HPF)

Filter lolos tinggi adalah sirkuit *Filter* lolos tinggi melewati frekuensi yang lebih tinggi sambil mengurangi amplitudo frekuensi di bawah frekuensi *cut off*. nilai pengurangan untuk berbagai frekuensi untuk masing-masing *Filter* ini. *Filter low pass* dan *high pass* adalah kebalikan dari satu sama lain, dan *Filter band pass* menggabungkan keduanya. *Filter* ini sangat membantu karena dapat menghilangkan komponen frekuensi rendah yang tidak diinginkan dari sinyal rumit setelah frekuensi tertinggi. *Filter* lolos tinggi yang paling dasar hanyalah resistor dan kapasitor yang dihubungkan secara paralel. Sirkuit pemilihan frekuensi sering digunakan di sirkuit listrik untuk melewati dan mencegah pita frekuensi tertentu.



Gambar 2.5. Respon Frekuensi *High Pass Filter*

2.6 Band Pass Filter (BPF)

Band Pass Filter merupakan sebuah *Filter* yang memungkinkan frekuensi tertentu untuk lewat. *Band Pass Filter* melemahkan semua di luar rentang frekuensi kerja dan melewatkan satu frekuensi saja. Dua frekuensi tepi membatasi wilayah *Pass band*. Batas frekuensi rendah *Filter* lolos tinggi ditunjukkan oleh frekuensi tepi rendah, dan batas frekuensi tinggi *Filter* lolos rendah ditunjukkan oleh frekuensi tepi sangat tinggi. Sebuah *Low pass filter* dan *High pass filter* dihubungkan secara seri untuk membentuk rangkaian *Band Pass Filter*.

Dalam elektronik dan pemrosesan sinyal, *Filter* biasanya merupakan sirkuit atau perangkat dua port yang menghilangkan komponen frekuensi sinyal (tegangan atau arus bolak-balik). Sebuah *band-pass Filter* memungkinkan melalui komponen dalam band frekuensi tertentu, yang disebut *passband* tetapi memblokir komponen dengan frekuensi di atas atau di bawah band ini. Ini kontras dengan *Filter high-pass*, yang memungkinkan melalui komponen dengan frekuensi di atas frekuensi tertentu, dan *Filter low-pass*, yang memungkinkan melalui komponen dengan frekuensi di bawah frekuensi tertentu. *Filter band-pass* adalah metode komputer yang melayani tujuan yang sama dalam pemrosesan sinyal digital, di mana program komputer memproses sinyal yang diwakili oleh angka digital. *Filter band-pass* kadang-kadang disebut sebagai *Filter* optik dan bahan lembaran berwarna yang memungkinkan melalui pita frekuensi cahaya tertentu, yang biasa digunakan dalam fotografi dan pencahayaan teater, dan *Filter* akustik yang memungkinkan melalui gelombang suara dari pita frekuensi tertentu.

Contoh *Filter band-pass* elektronik analog adalah rangkaian *RLC* (rangkaiannya resistor-induktor-kapasitor). *Filter* ini juga dapat dibuat dengan menggabungkan *Filter* lolos rendah dengan *Filter* lolos tinggi. Sinyal *Bandpass* adalah sinyal yang mengandung pita frekuensi yang tidak berdekatan dengan frekuensi nol, seperti sinyal yang keluar dari *Filter Band Pass*. *Filter Bandpass* yang ideal akan memiliki *passband* yang benar-benar datar: semua frekuensi di dalam *passband* akan diteruskan ke *output* tanpa amplifikasi atau atenuasi, dan akan sepenuhnya melemahkan semua frekuensi di luar *passband*.

Tidak ada *Filter Bandpass* aktual yang bekerja dengan sempurna. Secara khusus, ada tempat di luar pita sandi yang dimaksudkan di mana frekuensi

dilemahkan tetapi tidak ditolak oleh *Filter*. *Filter* tidak sepenuhnya melemahkan semua frekuensi di luar rentang frekuensi yang diinginkan. *Filter roll-off* adalah apa yang terlibat, dan biasanya diukur dalam desibel (dB) redaman per oktaf atau dekade frekuensi. *Roll-off* biasanya dibuat setipis mungkin dalam desain *Filter* untuk memungkinkan *Filter* beroperasi semirip mungkin dengan desain yang dimaksudkan. Hal ini sering dilakukan dengan mengorbankan riak di *passband* atau *stop-band*. Rangkaian dasar *Band Pass Filter* digambarkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Blok Diagram *Band Pass Filter*



Gambar 2.7. Kurva Respon *Band Pass Filter*

Persamaan yang dapat digunakan untuk perhitungan rangkaian seri dalam perancangan *Band Pass Filter* yaitu sebagai berikut:

$$L_s = \frac{\left(\frac{R_o}{(f_{2c} - f_{1c})\pi} \right)}{2} \quad (5)$$

Dan

$$C_s = 2 \left(\frac{f_{2c} - f_{1c}}{R_o(f_{2c} \times f_{1c})4\pi} \right) \quad (6)$$

Sedangkan rangkaian paralel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L_p = 2 \left(\frac{R_o(f_{2c} - f_{1c})}{(f_{2c} \times f_{1c})4\pi} \right) \quad (7)$$

Dan

$$C_p = \frac{\left(\frac{R_o}{R_o(f_{2c} - f_{1c})\pi} \right)}{2} \quad (8)$$

Keterangan,

$R_o = Z_{in}$ dan Z_{out} dari *Filter*

f_{1c} = batas frekuensi bawah (Hz)

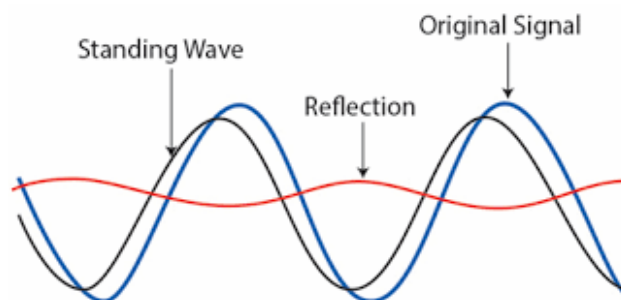
f_{2c} = batas frekuensi atas (Hz)

2.7 VSWR (*Voltage Standing wave Ratio*)

Voltage *Standing wave Ratio* (VSWR) berkaitan dengan kualitas sinyal yang dihasilkan oleh beban, merupakan faktor yang harus diperhitungkan saat merancang rangkaian yang berfungsi pada frekuensi tinggi. Daya refleksi (Reflected power pada saluran yang mengganggu daya maju) akan berkembang apabila saluran impedansi tidak sesuai dengan transceiver.

Gelombang berdiri (*standing wave*) tercipta dikarenakan adanya interferensi, dan ukurannya juga ditentukan oleh seberapa besar daya refleksinya. Oleh karena itu, VSWR adalah rasio maksimum dan minimum dari amplitude gelombang berdiri (*standing wave*). tegangan yang ditransmisikan dan tegangan yang direfleksikan adalah dua komponen gelombang dari transmisi pada saluran.

Koefisien refleksi adalah perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang ditransmsikan. Keadaan ideal untuk VSWR adalah bernilai 1, namun untuk nilai yang dapat di toleransi oleh VSWR yaitu bernilai 2.



Gambar 2.8 . Gelombang VSWR

Rumus yang digunakan untuk menghitung *VSWR* adalah sebagai berikut;

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (9)$$

$$VSWR = \frac{V^+ + V^-}{V^+ - V^-} \quad (10)$$

Keterangan:

V^+ = Tegangan gelombang yang di transmisikan (dB)

V^- = Tegangan gelombang yang dipantulkan (dB)

2.8 Parameter Pengukuran

Adapun parameter yang akan diukur sebagai berikut:

2.8.1 Insertion Loss

Hilangnya daya yang disebabkan oleh penyisipan perangkat antara sumber dan beban dikenal sebagai *Insertion Loss*. Kerugian ini dinyatakan sebagai perbandingan antara daya rugi (*Power Loss Ratio/PLR*) dengan daya yang masuk. Nilai *Insertion Loss* yang diharapkan adalah mendekati 0. Kehilangan penyisipan didefinisikan sebagai rasio level sinyal dalam konfigurasi pengujian tanpa *Filter* terpasang ($|V_1|$) ke level sinyal dengan *Filter* terpasang ($|V_2|$). Perbandingan memiliki persamaan dalam dB:

$$Insertion Loss = 10 \log \frac{|V_1|^2}{|V_2|^2} \text{ (dB)} \quad (11)$$

Keterangan:

V_1 = Level sinyal dengan *Filter* tidak terpasang (volt)

V_2 = Level sinyal dengan *Filter* terpasang (volt)

2.8.2 Return Loss

Return Loss adalah hilangnya sinyal yang disebabkan oleh pantulan balik dari diskontinuitas saluran telekomunikasi. Ketidaksiharian antara beban atau kondisi perangkat dari peralatan ke pengguna dapat menyebabkan diskontinuitas. Rasio antara amplitudo gelombang yang dipantulkan mewakili resiko setiasi ini dalam *decibel* (dB). Menurut sebagian besar keadaan, *Return Loss* yang ideal atau yang diharapkan harus kurang dari -10 dB karena parameter ini menunjukkan

kehilangan daya. Kerugian pengembalian dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor termasuk:

- a) Ketidak seimbangan antara impedansi saluran dan impedansi beban
- b) Kerusakan konektor
- c) Ketidak cocokan konektor beban dan konektor saluran

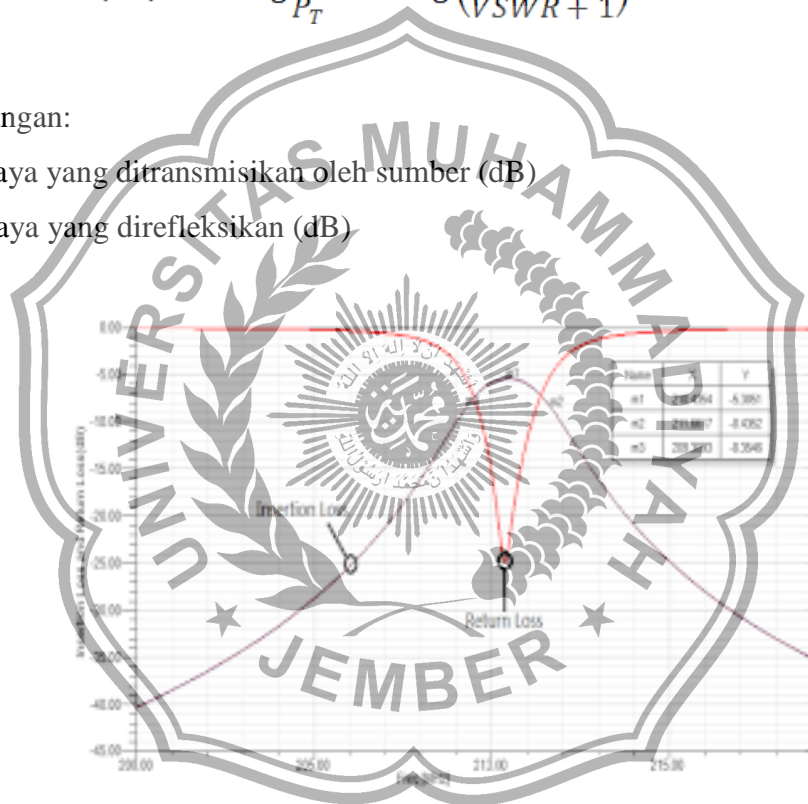
Return Loss dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Return Loss (dB) = 10 \log \frac{P_r}{P_T} = 10 \log \left(\frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right)^2 \quad (12)$$

Keterangan:

P_T = daya yang ditransmisikan oleh sumber (dB)

P_R = daya yang direfleksikan (dB)



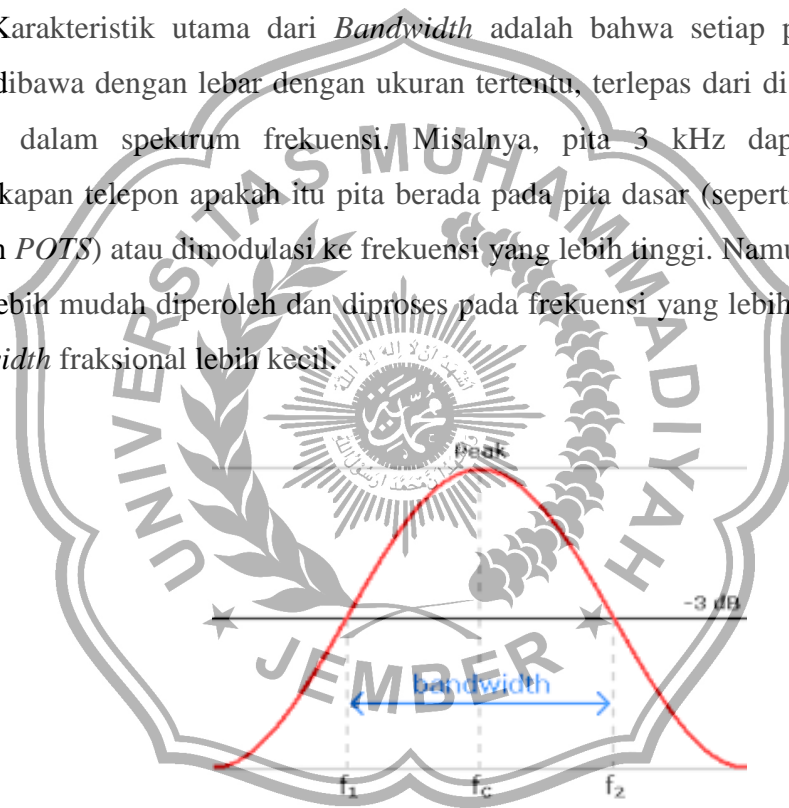
Gambar 2.9. *Insertion Loss dan Return Loss*

2.8.3 Bandwidth

Perbedaan antara frekuensi yang lebih tinggi dan lebih rendah dalam pita frekuensi kontinu dikenal sebagai *Bandwidth*.. Ini biasanya diukur dalam hertz, dan tergantung pada konteksnya, secara khusus dapat merujuk pada *Bandwidth passband* atau *Bandwidth baseband*. *Bandwidth passband*, untuk *Filter band-pass*, saluran komunikasi, atau spektrum sinyal, adalah perbedaan antara frekuensi *cut*

off atas dan bawah. *Bandwidth* baseband berlaku untuk *Filter Low-pass* atau sinyal baseband; *Bandwidth* sama dengan frekuensi *cut off* atas. Salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas saluran komunikasi tertentu adalah *Bandwidth* dalam *hertz*, yang merupakan konsep kunci dalam banyak disiplin ilmu seperti elektronik, teori informasi, komunikasi digital, komunikasi radio, pemrosesan sinyal, dan spektroskopi. *Bandwidth* analog merupakan besarnya sebuah rentang frekuensi dalam satuan Hertz, dimana sebuah sinyal bisa didapatkan secara akurat. Selain itu, *bandwidth* analog biasanya mempunyai ukuran yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan *bandwidth* digital.

Karakteristik utama dari *Bandwidth* adalah bahwa setiap pita Informasi dapat dibawa dengan lebar dengan ukuran tertentu, terlepas dari di mana pita itu berada dalam spektrum frekuensi. Misalnya, pita 3 kHz dapat membawa percakapan telepon apakah itu pita berada pada pita dasar (seperti pada saluran telepon *POTS*) atau dimodulasi ke frekuensi yang lebih tinggi. Namun, *Bandwidth* lebar lebih mudah diperoleh dan diproses pada frekuensi yang lebih tinggi karena *Bandwidth* fraksional lebih kecil.



Gambar 2.10. *Bandwidth*

Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung *Bandwidth* adalah sebagai berikut;

$$BW = F_h - F_l \quad (13)$$

Keterangan:

BW = *Bandwidth* (dB)

F_h = frekuensi atas (Hz)

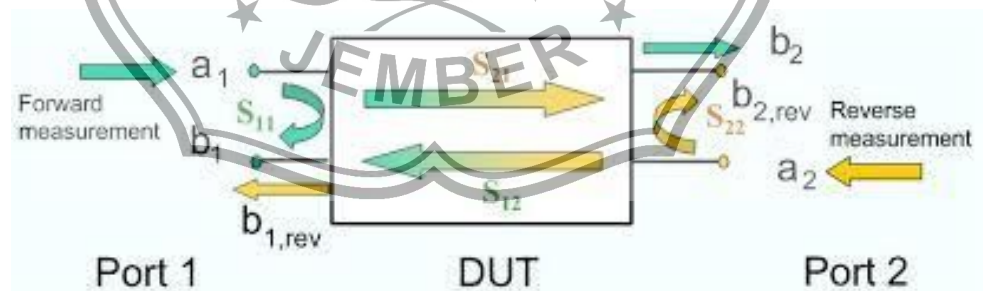
F_l = frekuensi bawah (Hz)

2.8.4 Parameter S (scattering)

Resistor, kapasitor, induktor, dan transistor hanyalah beberapa contoh dari komponen elektronik yang berbeda atau elemen yang disamakan yang terdapat dalam suatu jaringan (*network*). Hal ini diperlukan untuk menentukan S parameter. Perlu diingat bahwa jaringan secara keseluruhan linier untuk sinyal *input* sederhana. Semua komponen sistem harus mematuhi ini. *Coupler*, *Filter*, *attenuator*, dan *equalizer* adalah contoh peralatan telekomunikasi, asalkan beroperasi dalam keadaan linier.

Tanpa melihat bagian dalam sirkuit, sirkuit linear atau sirkuit non linear yang berfungsi dengan sinyal *input* yang cukup kecil sehingga system dapat memberikan respon linier. Ini dapat sepenuhnya ditentukan oleh karakteristik yang diukur di terminal (*port*). Ketika parameter rangkaian telah ditetapkan, responnya terhadap *input* eksternal dapat diprediksi.

Oleh karena itu, parameter yang diukur pada frekuensi tinggi adalah *parameter S (scattering)*, yang memanfaatkan gagasan gelombang berjalan dalam besaran dan fase (gelombang maju dan gelombang pantul). *Parameter S* adalah ide penting dalam desain gelombang mikro. *Parameter S* juga dapat digunakan untuk menyatakan *VSWR* (Voltage standing ratio), gain, *Return Loss*, transmisi, koefisien, dan refleksi koefisien



Gambar 2.11. Parameter S

2.5 Software

Software yang digunakan pada perancangan *Band Pass Filter* kali ini menggunakan *CST Studio Suite 2019*. Paket perangkat lunak analisis EM 3D

berkinerja tinggi yang disebut *CST Studio Suite*® digunakan untuk merancang, menganalisis, dan mengoptimalkan komponen dan sistem elektromagnetik (EM). *CST Studio Suite* memiliki pemutus medan elektromagnetik untuk aplikasi di seluruh spektrum EM dalam satu antarmuka pengguna.

Insinyur memiliki kebebasan untuk dengan cepat dan mudah menyelidiki sistem kompleks yang terdiri dari beberapa komponen dengan menggabungkan pemecah untuk melakukan simulasi hibrida. Simulasi EM dapat diintegrasikan ke dalam alur desain dan mendorong proses pengembangan dari awal dengan mendesain bersama dengan produk SIMULIA lainnya.

Tabel 2.1. Spesifikasi Yang Dibutuhkan Untuk Menjalankan *Software CST Studio Suite*

No	Parameter	Minimum requirement	High end server/workstation recommendation	Notes for recommended hardware
1	Processor	x86-64 processor Intel or AMD	Dual 3rd Generation Intel® Xeon® Scalable Processors (also known as "Cooper Lake") or Dual 2nd Gen AMD EPYC™ Processors (also known as "Rome")	We recommend high processor base clock frequency (>3 GHz) and 8-16 cores per CPU are recommended for general-purpose simulation workstation
2	Memory (RAM)	16GB	64-128 GB per CPU	We recommend fastest RAM memory modules available, currently DDR4 memory type.
3	Graphics card	100% OpenGL 2.0 (or above) compatible graphics card	NVIDIA Quadro® series card dedicated to CAD/CAE applications	

No	Parameter	Minimum requirement	High end server/ workstation recommendation	Notes for recommended hardware
4	Storage	30GB of free disk space	At least 500GB hard disk drive	We recommend SSDs for better performance.
5	GPU computing* (optional)	Supported GPU card	High-end NVIDIA Quadro® or NVIDIA® Tesla® card	Please refer to the GPU computing guide
6	MPI computing* (optional)		Dedicated compute cluster hardware	Fast network interconnects with low latency, e.g. Infiniband or Intel OmniPath, are strongly recommended. Please refer to the MPI computing guide
7	Distributed computing* (optional)	For optimal simulation performance, the solver servers should run on separate computers from the frontend and the main controller. A fast network connection between the solvers servers, the main controller, and the frontend is recommended as simulations may generate a lot of data that needs to be transferred.		

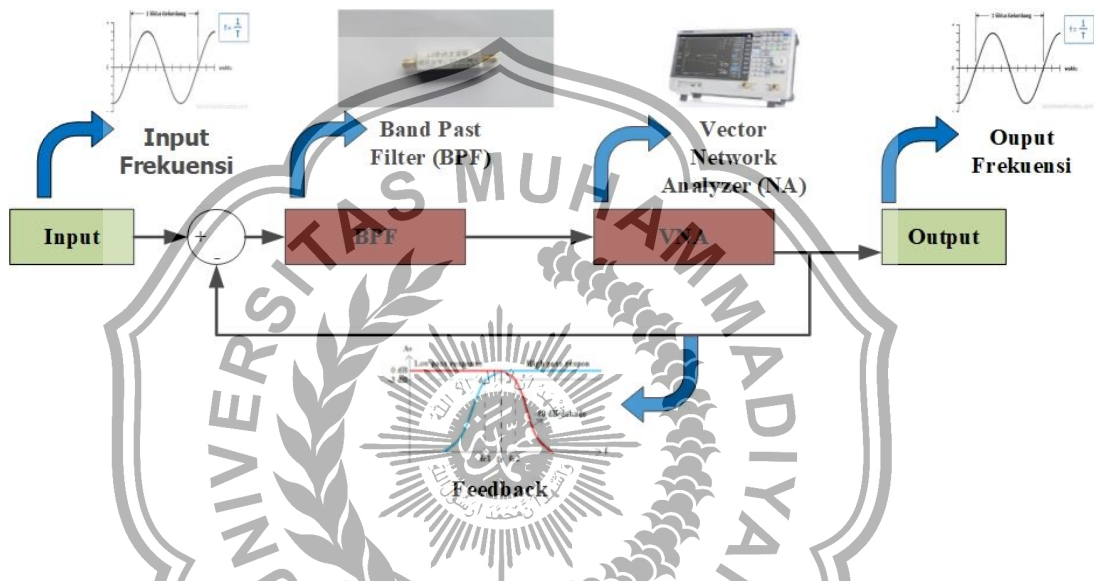
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan *Hardware*

Perancangan *hardware* yang akan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

3.1.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3.1. Diagram Blok Sistem Rancang Bangun *Band Pass Filter*.

Gambar 3.1 menjelaskan rancangan *Band Pass Filter* dengan *input Band Pass Filter* itu sendiri menggunakan rentang frekuensi kerja 117.975 – 137 MHz, selanjutnya diproses dan dianalisa oleh *Vector Network Analyzer* untuk mengukur hasil *output* dan respon yang dihasilkan oleh *Band Pass Filter*. *Output* yang akan di Analisa oleh alat ukur ini yaitu *parameter S (scattering)* yang terdiri dari nilai *Insertion Loss (S₂₁)* , nilai *Return Loss (S₁₁)*, *VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)* dan frekuensi kerja Setelah nilai *output* didapatkan selanjutnya jika *Parameter S* dna frekuensi kerja yang di dihasilkan belum sesuai maka *output* diumpun balikan hingga mendapatkan nilai *output Parameter S* seusai dengan spesifikasi yang telah dirancang menggunakan *software*.

3.1.2 Spesifikasi Material *Band Pass Filter*

Band Pass Filter yang dirancang, akan direalisasikan dengan menggunakan jenis *PCB* dengan *FR4*. Pada proses pembuatan *Filter LC*, 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

Tabel 3.1. Spesifikasi Material *Band Pass Filter*

No	Bahan	Jenis	Keterangan
1	<i>PCB</i>	<i>FR4</i>	(ϵ_r)= 4,3 dengan ketebalan 1,5mm
2	Komponen	SMD	Berbahan keramik
3	Konektor	SMA	Impedansi 50 Ohm

3.1.3 Desain Rangkaian Alat

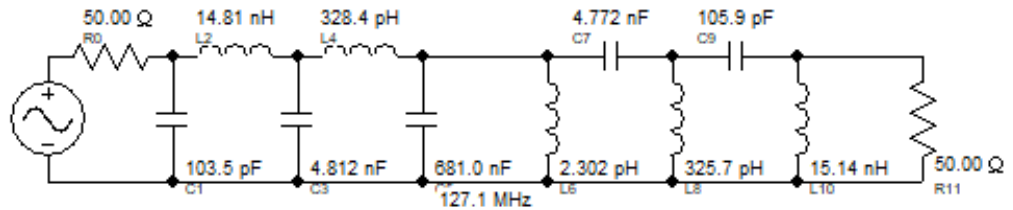
Tabel 3.2. Spesifikasi *Band Pass Filter* Dengan Respon *Butterworth* Yang Telah Dirancang

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Frekuensi <i>cut off</i> bawah (f_1)	117,975	MHz
2	Frekuensi <i>cut off</i> atas (f_2)	137	MHz
3	<i>Bandwidth</i>	19	MHz
4	Frekuensi tengah (f_c)	127,13	MHz
5	<i>Insertion Loss</i>	$\leq 0,2$	dB
6	<i>Return Loss</i>	< -10	dB
7	Impedansi	50	Ohm
8	<i>VSWR</i>	< 2	dB

setelah menentukan parameter yang diinginkan lalu masukan semua parameter ke simulasi, dari hasil simulasi *CST Studio Suite 2019* didapat skematik dengan spesifikasi yang di tuning. Selanjutnya dilakukan peRCobaan simulasi . Adapun Skematik tersebut

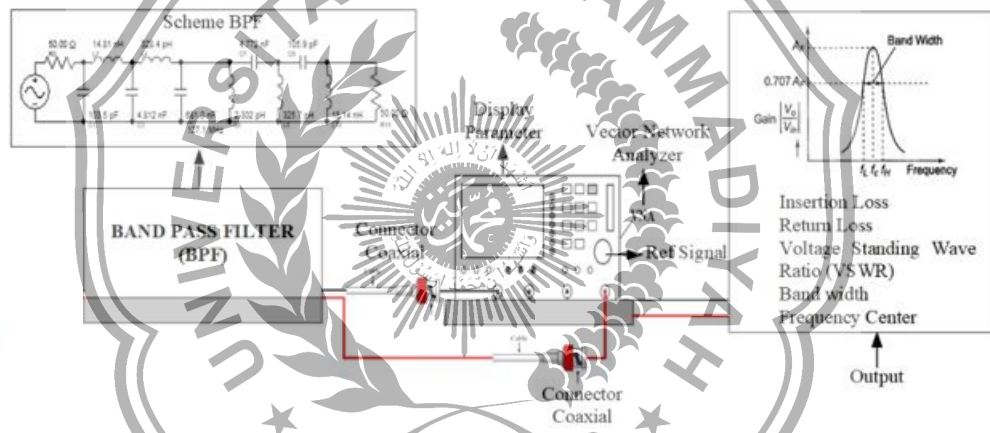
5th Order Band Pass Butterworth

Center Frequency = 127.1 MHz
Pass Band Width = 19.00 MHz

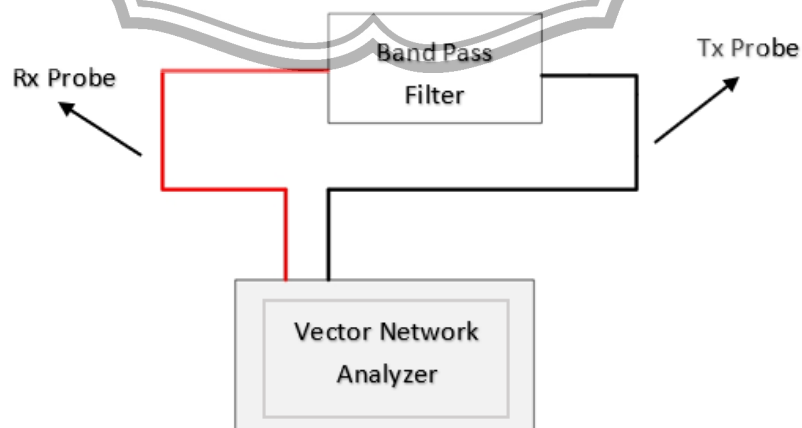


Gambar 3.2. Rangkaian *Lumped* Orde 5 Band Pass Filter Hasil Simulasi Sesuai Spesifikasi Tabel di Atas

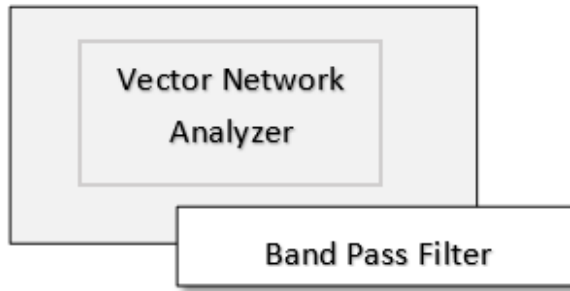
Desain modul ditunjukkan lebih detail sesuai pada gambar 3.2



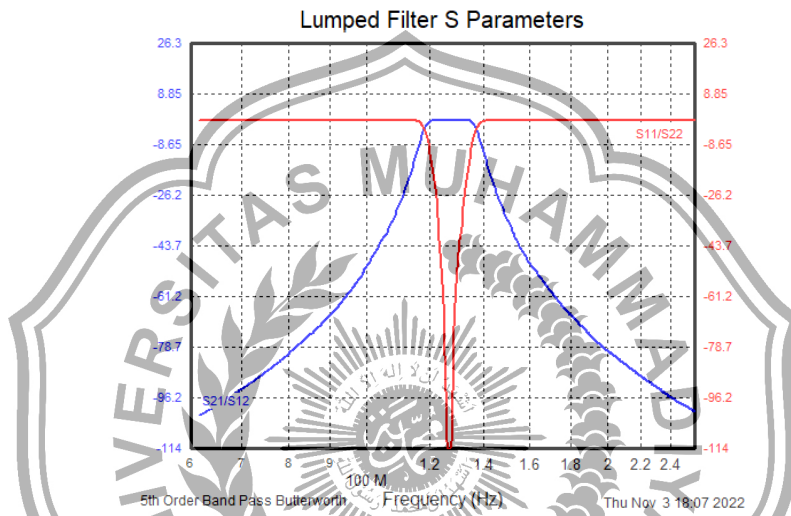
Gambar 3.3. Desain Modul Tampak Depan



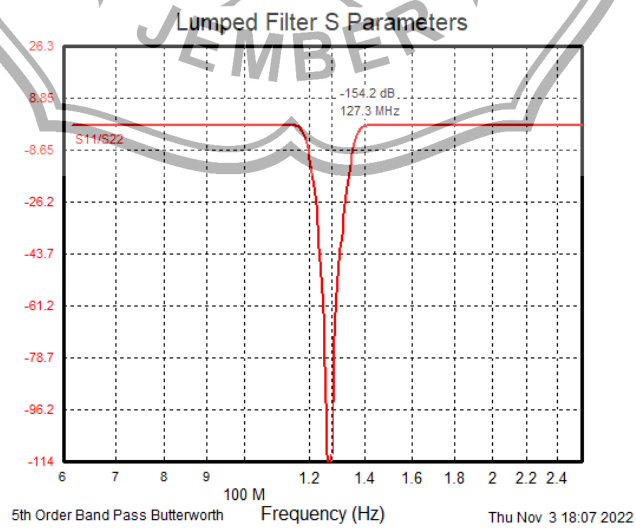
Gambar 3.4. Desain Modul Tampak Atas



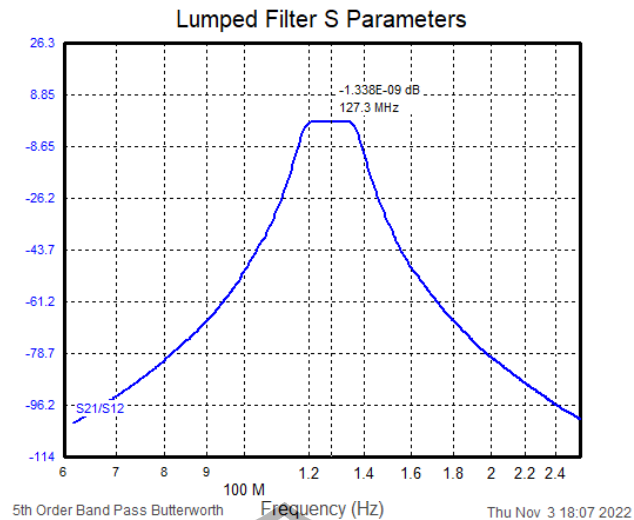
Gambar 3.5. Desain Modul Tampak Samping



Gambar 3.6. Respon *Band Pass Filter* Hasil Simulasi



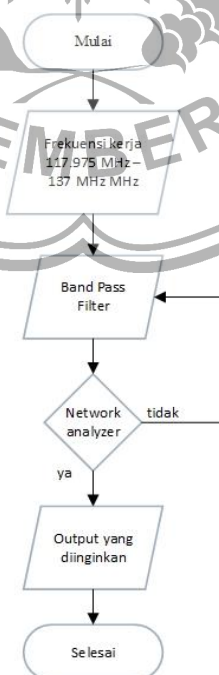
Gambar 3.7. Nilai *Return Loss* (S_{11}) Hasil Simulasi



Gambar 3.8. Nilai *Insertion Loss* (S_{21}) Hasil Simulasi

Pada gambar di atas menunjukkan respon *Band Pass Filter* yang dirancang dengan nilai *Return Loss* (S_{11}) pada frekuensi tengah 127,3 MHz yaitu sebesar -154,2 dB sedangkan nilai *Return Loss* (S_{21}) pada frekuensi tengah 127,3 MHz yaitu sebesar $1,338 \times 10^{-9}$. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *output* parameter yang dihasilkan sudah sesuai spesifikasi yang diinginkan selanjutnya bisa dilakukan fabrikasi.

3.1.3 Flowchart Cara Kerja Alat

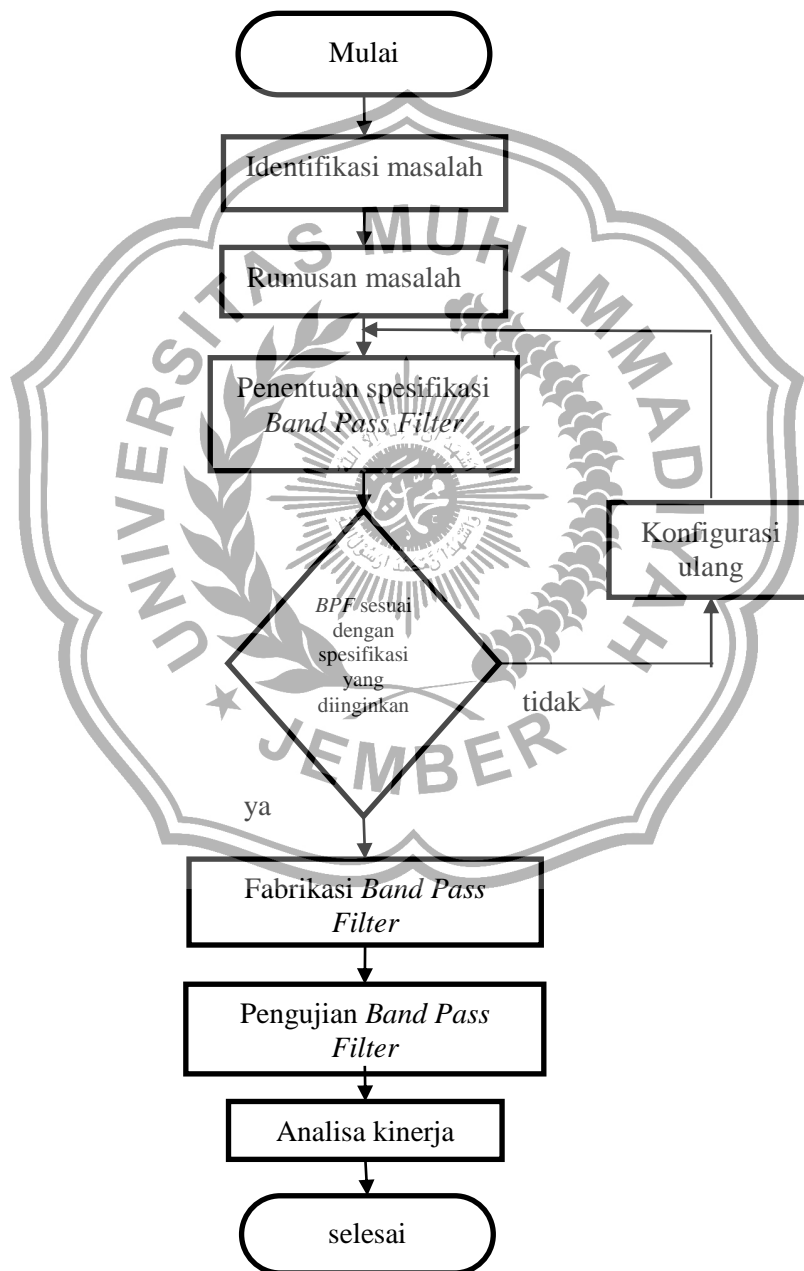


Gambar 3.9. Flowchart cara kerja alat

Input frekuensi masuk melalui *Band Pass Filter* lalu dianalisa oleh network analyzer untuk mengukur *parameter* Sesuai yang dirancang, jika tidak sesuai maka akan diumpan balikan, jika iya *output parameter* Sudah sesuai yang diinginkan

3.1.2 Flowchart Tahapan Penelitian

Berikut ini skema alur pengujian *Band Pass Filter* untuk radio komunikasi VHF (117.975MHz - 137 MHz) :



Gambar 3.10. Flowchart tahapan penelitian

Gambar 3.10 menjelaskan tentang rencana pengujian alat, dimulai dari identifikasi masalah, dan menentukan rumusan masalah. Setelah rumusan masalah sudah diketahui dilanjutkan dengan menentukan spesifikasi *Band Pass Filter* sesuai dengan yang dibutuhkan, jika iya sudah sesuai maka dilanjutkan dengan fabrikasi *Band Pass Filter* lalu di uji dan dianalisa. Jika tidak *Band Pass Filter* ternyata belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan maka dilakukan konfigurasi ulang hingga mendapat nilai spesifikasi *Band Pass Filter* yang diinginkan.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

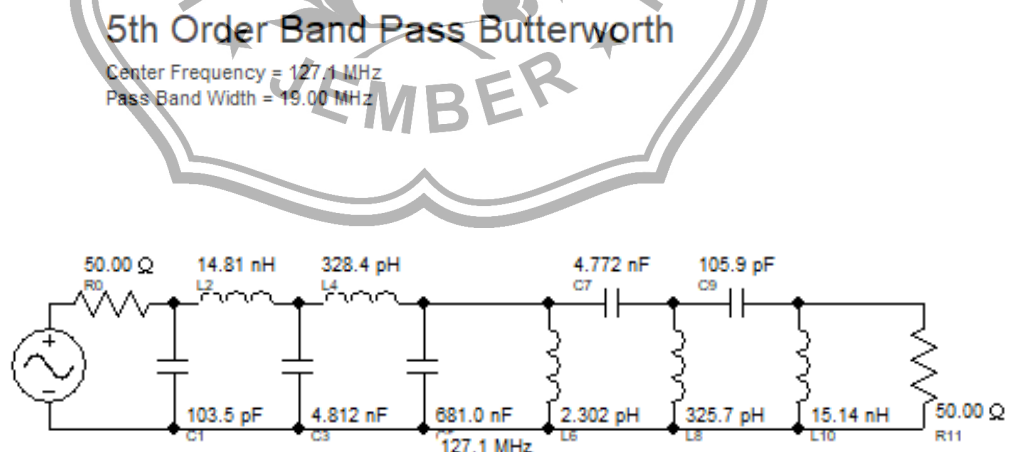
4.1 Analisis Hasil Rancang Bangun *Band Pass Filter* Radio Komunikasi Penerbangan *VHF*

Pada bab ini dibahas proses perancangan dan realisasi *Band Pass Filter* (BPF) mulai dari perancangan, simulasi dan pengukuran serta analisis kinerja sesuai dengan spesifikasi *Band Pass Filter* yang diinginkan, Adapun pengukuran parameter *Band Pass Filter* ini antara lain

1. Pengukuran *Insertion Loss*
2. Pengukuran *Return Loss*
3. Pengukuran *VSWR*

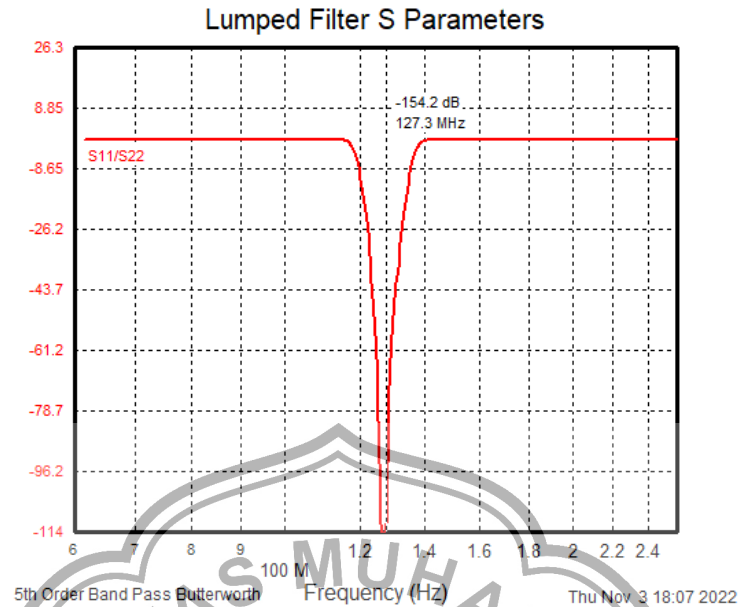
4.2 Simulasi Pada *Software CST Studio Suite 2019*

Setelah mendapatkan semua perhitungan dan beberapa parameter yang ditentukan Langkah berikutnya adalah melakukan simulasi pada *CST Filter Designer 3D 2019*



Gambar 4.1. Rangkaian *Lumped* Orde 5 *Band Pass Filter* Hasil Simulasi Sesuai *CST Filter Designer 3D 2019*

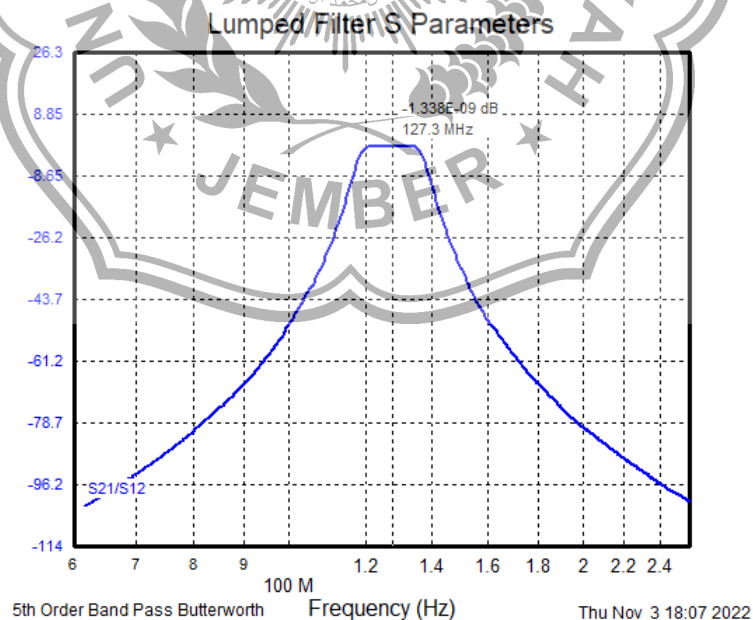
4.2.1. Hasil Simulasi Nilai *Return Loss* (S_{11})



Gambar 4.2. Hasil Simulasi Nilai *Return Loss* (S_{11})

Pada gambar 4.2 menunjukkan nilai *Return Loss* hasil simulasi rangkaian *Band Pass Filter* yaitu sebesar -154 dB pada frekuensi tengah 127,3 MHz

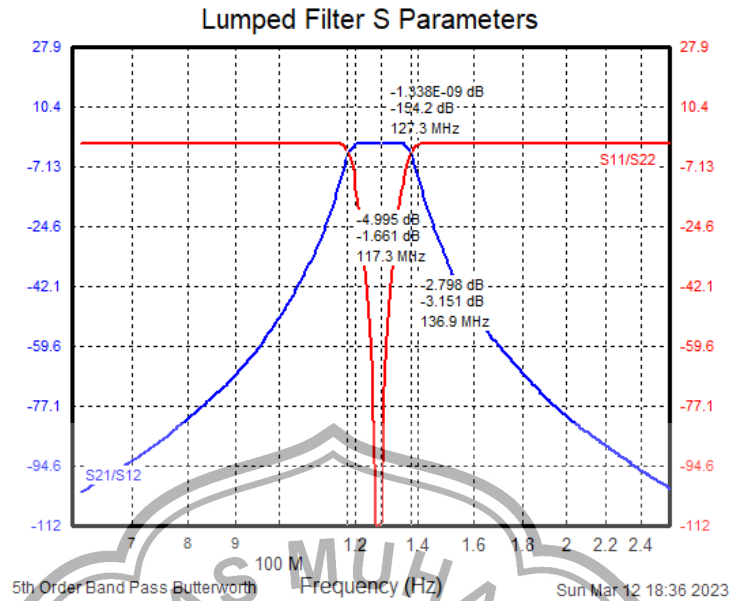
4.2.2. Hasil simulasi parameter *Insertion Loss* (S_{21})



Gambar 4.3. Hasil Simulasi *Insertion Loss* (S_{21})

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai *Insertion Loss* hasil simulasi rangkaian *Band Pass Filter* yaitu sebesar -1338×10^{-9} dB pada frekuensi tengah 127,3 MHz

4.2.3. Hasil Simulasi Nilai Return Loss (S_{11}) Dan Insertion Loss (S_{21})



Gambar 4.4. Hasil Simulasi Nilai Return Loss (S_{11}) Dan Insertion Loss (S_{21})

Tabel 4.1. Pengukuran Parameter Hasil Simulasi

No	Hasil pengukuran simulasi		
	Parameter	Frekuensi (MHz)	Level (dB)
1	Return Loss (S_{11})	127,3	-154
2	Insertion Loss (S_{21})	127,3	-1338×10^{-9}

Pada Gambar IV.5 Menunjukkan Pengukuran Parameter Return Loss (S_{11}) yaitu pada frekuensi 127,3 MHz dengan nilai hasil pengukuran Return Loss (S_{11}) sebesar -154 dB sedangkan pengukuran Parameter Insertion Loss (S_{21}) yaitu pada frekuensi 425,376 MHz dengan nilai hasil pengukuran Insertion Loss (S_{21}) sebesar -1338×10^{-9} dB

4.1 Fabrikasi Band Pass Filter

Setelah desain Filter BPF selesai, dilanjutkan dengan fabrikasi dengan memanfaatkan hasil desain. Hasil fabrikasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini selanjutnya layout PCB Band Pass Filter yang akan direalisasikan dibuat dalam bentuk film negatif pada masing – masing rancangan Filter dari rangkaian. Tahap selanjutnya adalah Dari film negatif yang telah dibuat, akan dicetak pada bahan PCB, melalui proses photo etching setelah itu dilakukan penyolderan tiap

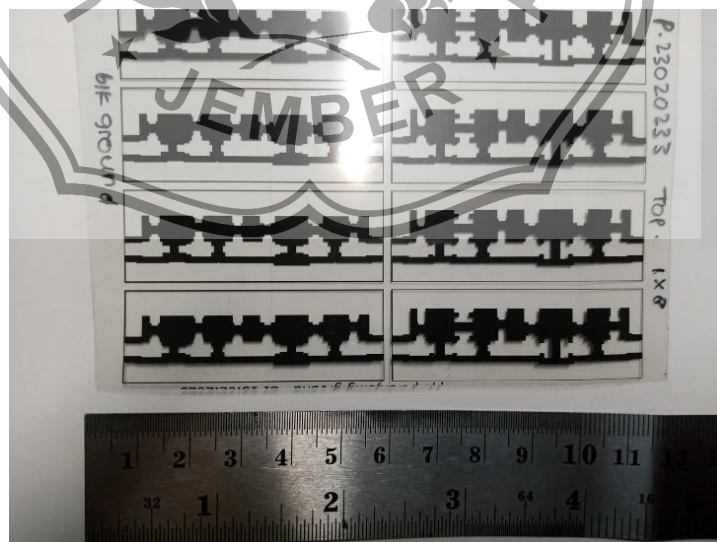
komponen induktor dan kapasitor dengan acuan nilai komponen dari hasil simulasi *CST Studio Suite*.

Tabel 4.2. Spesifikasi Material *Band Pass Filter*

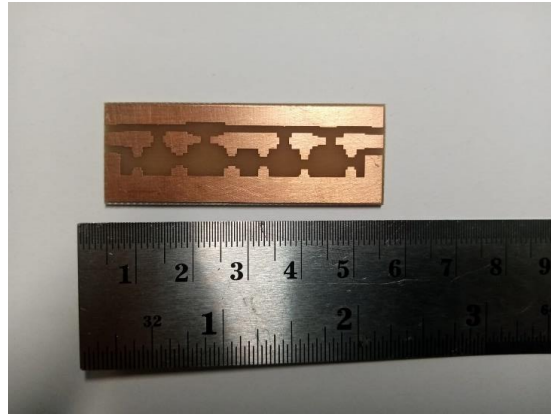
No	Bahan	Jenis	Keterangan
1	PCB	FR4	(ϵ_r)= 4,3 dengan ketebalan 1,5mm
2	Komponen	SMD	Berbahan keramik
3	Konektor	SMA	Impedansi 50 Ohm



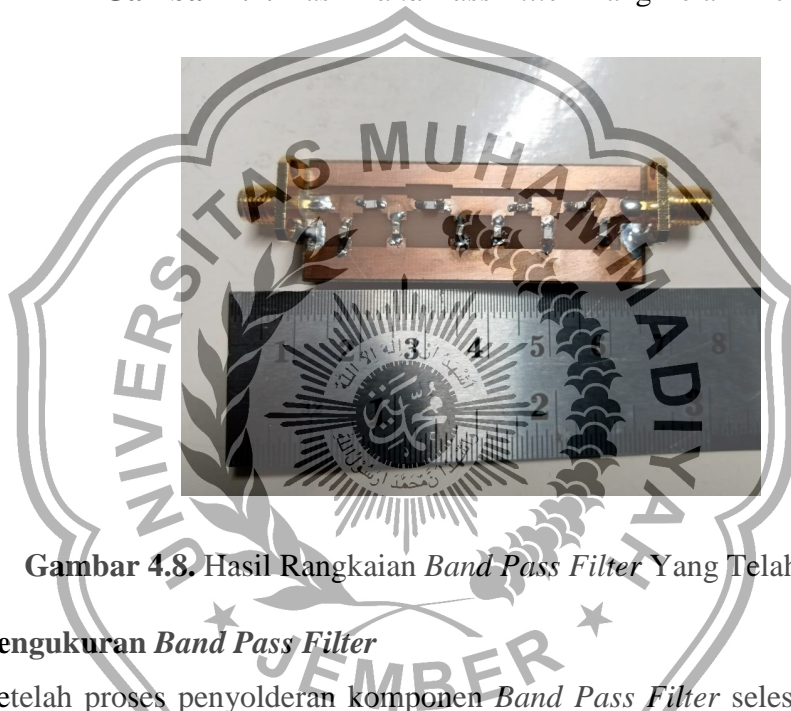
Gambar 4.5. Layout PCB *Band Pass Filter*



Gambar 4.6. Negatif Film *Band Pass Filter*



Gambar 4.7. Hasil *Band Pass Filter* Yang Telah Dicitak



Gambar 4.8. Hasil Rangkaian *Band Pass Filter* Yang Telah Disolder

4.2 Pengukuran *Band Pass Filter*

Setelah proses penyolderan komponen *Band Pass Filter* selesai dilanjutkan dengan pengukuran dan pengujian karakteristik *Filter* yang telah di fabrikasi. Parameter yang akan diukur yaitu nilai *Insertion Loss*, *Return Loss* dan *VSWRs* menggunakan alat ukur yang disebut *Vector Network Analyzer (VNA)*, *Return Loss* merupakan besaran daya pantul yang disebabkan oleh ketidaksesuaian impedansi *input* dengan saluran transmisi. Besarnya parameter *Return Loss* bergantung pada perbandingan antara tegangan yang dipantulkan dengan egangan yang masuk. Semakin besar *Return Loss*, maka faktor refleksi yang dihasilkan semakin kecil. Nilai faktor refleksi yang semakin kecil akan menghasilkan *VSWR* yang semakin kecil pula dan menunjukkan saluran yang mendekati sepadan (*matching*). *Insertion Loss* merupakan parameter yang sangat penting dalam

pengukuran *Filter*, dengan melakukan pengukuran *Insertion Loss* akan menunjukkan besarnya loss yang akan diterima suatu sinyal ketika melewati perangkat tersebut.

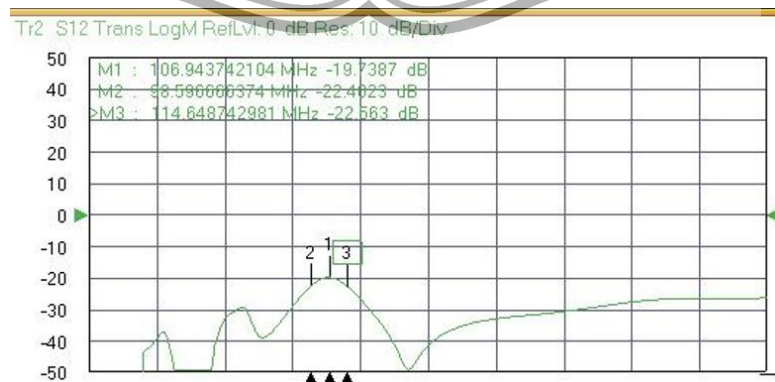


Gambar 4.9. Pengukuran Parameter dan Karakteristik *Band Pass Filter* Menggunakan Alat Ukur Vektor *Network Analyzer* (VNA)

4.3 Data Hasil Pengukuran

Pengukuran *Band Pass Filter* yang telah dilakukan telah diperoleh hasil pengukuran *parameter* Sebagai berikut:

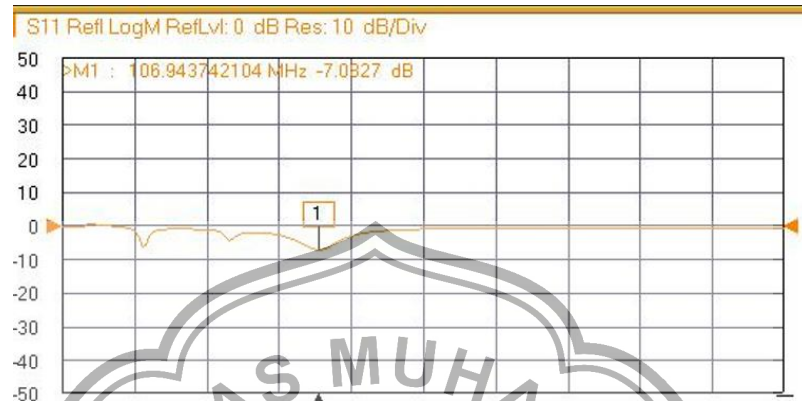
4.5.1. Hasil Pengukuran Parameter *Insertion Loss* (S_{21})



Gambar 4.10. Pengukuran Parameter *Insertion Loss* (S_{21})

Pada gambar 4.10. menunjukkan pengukuran parameter *Insetion Loss* (S_{21}) menggunakan alat ukur dengan nilai sebesar $-19,7387$ dB pada ferkuensi 106,94 MHz

4.5.2. Hasil Pengukuran Prameter *Return Loss* (S_{11})



Gambar 4.11. Pengukuran Parameter *Return Loss* (S_{11})

Pada gambar 4.11. menunjukkan pengukuran parameter *Return Loss* (S_{11}) Menggunakan alat ukur dengan nilai sebesar $-7,0827$ dB pada frekuensi 106,94 MHz

4.5.3. Hasil Pengukuran Parameter *VSWR*



Gambar 4.12. Hasil Pengukuran *VSWR Band Pass Filter*

Pada gambar 4.12. menunjukkan pengukuran parameter *VSWR* Menggunakan alat ukur dengan nilai sebesar $-11,2737$ dB pada frekuensi 106,94 MHz

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Parameter *Band Pass Filter* Menggunakan Alat Ukur

No	Parameter	Frekuensi (MHz)	Level (dB)
1	<i>Insertion Loss</i>	106,94	- 19,8538
2	<i>Return Loss</i>	106,94	- 7,0827
3	<i>VSWR</i>	101,8	- 11,2737

Dari gambar diatas dapat dilihat terdapat pergeseran frekuensi kerja *Filter* dari yang diinginkan yaitu sebesar 20 MHz. *Filter* tersebut bekerja pada frekuensi kerja sekitar 106,94 MHz dengan nilai *Return Loss* (S_{11}) sebesar - 7,0827 dB pada frekuensi 106,94 MHz sedangkan nilai *Insertion Loss* (S_{21}) nya adalah - 19,8538 yaitu di frekuensi 106,94 MHz.

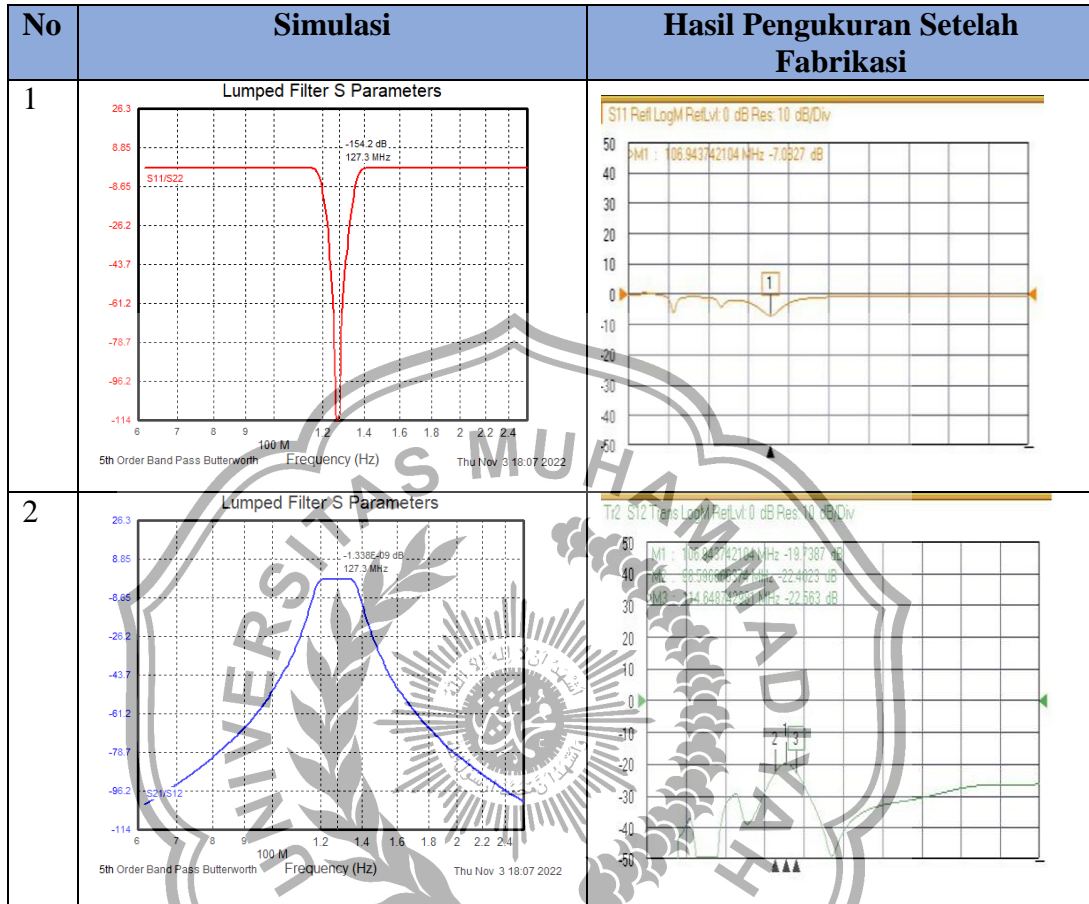
4.6 Perbandingan Hasil Pengukuran

berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran yang dilakukan untuk penelitian ini. Hasil pengukuran dimana *Filter* tidak sesuai spesifikasi awal. perbandingan antara spesifikasi yang diinginkan berdasarkan data pengamatan, temuan simulasi, dan pengukuran. Hasil pengukuran yang diperoleh dari alat ukur Network Analyzer terdapat Pergeseran frekuensi kerja sekitar 20 MHz dengan nilai *Return Loss* (S_{21}) yang kurang baik yaitu sebesar -7,0827 dB. Perbedaan hasil pengukuran dengan hasil spesifikasi dan simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4. Perbandingan Spesifikasi Rancangan, Simulasi, dan Hasil Pengukuran

No	Parameter	Spesifikasi	Hasil simulasi	Hasil pengukuran
1	<i>Pass band</i>	117,975 - 137 MHz	117,3 MHz – 136,9 MHz	98,6 MHz – 107 MHz
2	Center frekuensi	127,13 MHz	127,3 MHz	106,94 MHz
3	<i>Bandwidth</i>	19 MHz	19,6 MHz	8,4 MHz
4	<i>Insertion Loss</i>	$\leq 0,2$ dB	-1338×10^{-9} dB	-19,8538 dB
5	<i>Return Loss</i>	< -10 dB	-154 dB	-7,0827 dB

Berikut merupakan perbandingan grafik respon antara simulasi yang ditampilkan oleh *CST Filter Design* dengan hasil pengukuran *Band Pass Filter* hasil fabrikasi



Gambar 4.13. Perbandingan Grafik Antara Hasil Pengukuran Dengan Grafik Hasil Simulasi

4.7 Analisa Hasil Pengukuran

Setelah pengukuran hasil fabrikasi *Band Pass Filter* berikut analisa pengukuran parameter yang didapatkan sebagai berikut:

4.7.1 Analisa Pergeseran Frekuensi Kerja

Tabel 4.5 Komponen Kapasitor Yang Digunakan Antara Simulasi Dan Fabrikasi
KAPASITOR (C)

NO	SIMULASI (satuan)		Realisasi (satuan)		Total (Realisasi)		Rangkaian	Selisih Nilai (satuan)	
C1	103,5	pF	100	pF	103,3	pF	Paralel	0,2	pF
			3,3	pF					
C3	4,812	nF	4,7	nF	4,7	nF	-	0,112	nF
C5	1,567	nF	1,5	nF	1,5	nF	-	0,067	nF

KAPASITOR (C)									
NO	SIMULASI (satuan)		Realisasi (satuan)		Total (Realisasi)		Rangkaian	Selisih Nilai (satuan)	
	C7	4,772	nF	4,7	nF	4,7		nF	-
C9	105,9	pF	100	pF	105,6	pF	Paralel	0,3	pF
			5,6	pF					

Tabel 4.6. Komponen Induktor Yang Digunakan Antara Simulasi dan Fabrikasi

INDUKTOR (L)									
NO	SIMULASI (satuan)		Realisasi (satuan)		Total (Realisasi)		Rangkaian	Selisih Nilai (satuan)	
	L2	14,81	nH	15	nH	15		nH	-
L4 dan L6	328,4	pH	1	nH	333,33	pH	Paralel	4,93	pH
			1	nH					
			1	nH					
L10	15,14	nH	1	nH	15	nH	-	0,14	nH
L8	325,7	pH	1	nH	333,33	pH	Paralel	7,63	pH
			1	nH					
			1	nH					
L10	15,14	nH	15	nH	15	nH	-	0,14	nH

Perhatikan tabel 4.4 dan 4.5 terdapat selisih nilai komponen antara simulasi dan fabrikasi, dimana nilai induktor L4, L6, dan L8 memiliki nilai selisih yang cukup besar yaitu senilai 4,93 pH untuk induktor L4 dan L6 sedangkan 7,63 pH untuk induktor L8, selisih nilai komponen ini lah yang dapat menyebabkan pergeseran frekuensi kerja yang berkisar 20 MHz. Oleh karena itu mengingat frekuensi kerja yang digunakan cukup kecil kesesuaian nilai komponen sangat berpengaruh terhadap frekuensi kerja

4.7.2. Analisis Nilai *Insertion Loss* (S_{11})

Perbandingan antara nilai *Insertion Loss* yang terdapat pada simulasi dan fabrikasi sangat baik dimana batas maximal dari *Insertion Loss* adalah 0,2 dB karena pada saat pemilihan substrat dengan bahan yaitu FR4 dengan konstanta dielektrik relative (ϵ_r) = 4,3.

4.7.3 Analisis nilai *Return Loss* (S_{21})

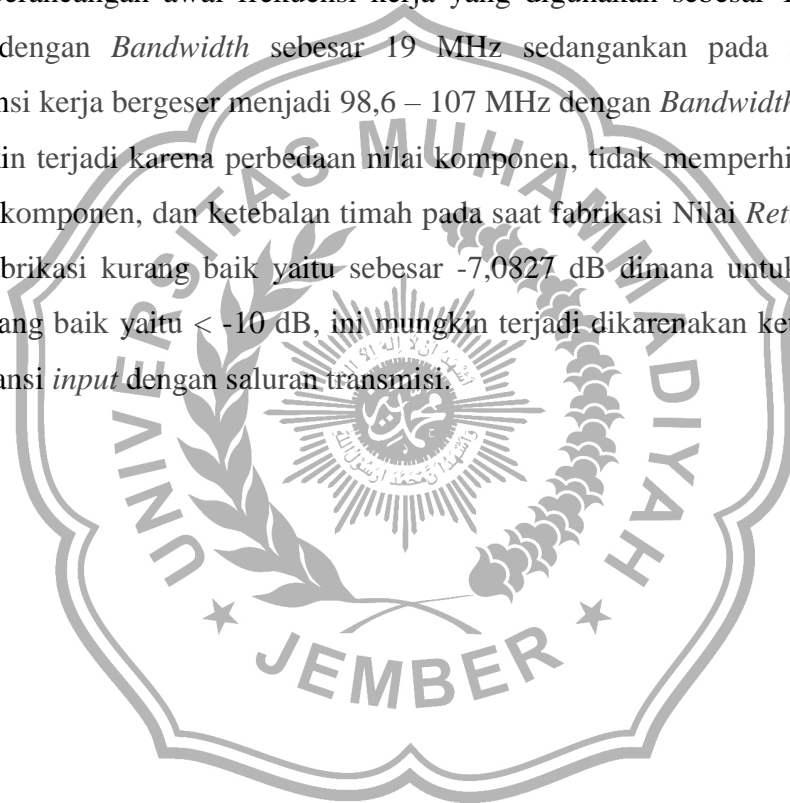
Nilai *Insertion Loss* pada simulasi sudah baik akan tetapi pada saat fabrikasi memiliki nilai *Insertion Loss* yang kurang yaitu -7,0827 dB dimana batas maximal untuk nilai *Return Loss* sebesar -10 dB, kemungkinan ini bisa terjadi

dikarenakan adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban.

4.8 Hasil Penelitian *Band Pass Filter*

Setelah pengukuran parameter *Band Pass Filter* hasil fabrikasi dilakukan, *Filter* ini masih kurang optimal karena belum tercapainya parameter yang diinginkan. dimana terdapat perbedaan nilai parameter terhadap nilai perancangan awal dimana Frekuensi kerja *Band Pass Filter* yang telah difabrikasi bergeser sebesar 20 Mhz .

perancangan awal frekuensi kerja yang digunakan sebesar 117,975 - 137 MHz dengan *Bandwidth* sebesar 19 MHz sedangkan pada saat fabrikasi frekuensi kerja bergeser menjadi 98,6 – 107 MHz dengan *Bandwidth* 8,4 MHz, ini mungkin terjadi karena perbedaan nilai komponen, tidak memperhitungkan jarak antara komponen, dan ketebalan timah pada saat fabrikasi Nilai *Return Loss* pada saat fabrikasi kurang baik yaitu sebesar -7,0327 dB dimana untuk nilai *Return Loss* yang baik yaitu < -10 dB, ini mungkin terjadi dikarenakan ketidak sesuaian impedansi *input* dengan saluran transmisi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan melakukan pengukuran *Band Pass Filter* dan analisis hasil penelitian untuk mendapatkan jawaban rumusan masalah yang diajukan, maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut

1. Hasil dari penelitian ini *Band Pass Filter* hasil fabrikasi bekerja pada frekuensi 98,6 MHz – 107 MHz dengan *Bandwidth* sebesar 8,4 MHz sedangkan nilai pada saat simulasi menggunakan *software CST Studio Suite 2019 Band Pass Filter* bekerja pada rentang frekuensi 117,3 MHz – 136,9 MHz dengan *Bandwidth* sebesar 19,6 MHz
2. *Band Pass Filter* yang telah difabrikasi memiliki rentang frekuensi kerja yaitu 98,6 MHz – 107 MHz dimana rentang frekuensi yang diinginkan yaitu 117,975 - 137 MHz, ini menunjukkan *Band Pass Filter* yang telah difabrikasi masih kurang optimal.
3. Parameter *Insertion Loss* antara simulasi dan fabrikasi sudah cukup baik yaitu dibawah 0,2 dB akan tetapi nilai *Return Loss* memiliki nilai yang kurang baik kemungkinan ini bisa terjadi dikarenakan adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban.
4. *Band Pass Filter* yang telah difabrikasi masih kurang baik dikarenakan adanya perbedaan parameter yaitu pergeseran frekuensi kerja dan nilai *Return Loss* yang kurang baik

7.1 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan pendekatan *Filter* selain Butterworth dan membuat komponen sendiri khususnya komponen induktor dimana nilainya sangat terbatas yang tersedia, memperhitungkan parameter parameter kecil seperti jarak antara komponen dan ketebalan timah demi mengejar ketepatan frekuensi kerja yang diinginkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bahl, I. (2003). *Lumped elements for RF*. London: Artech House.
- [2] Enjel Al birr Rahayu, S. H. (2021). "Desain *Bandpass Filter* Menggunakan Metode Cross Coupled Line". *Prosiding The 12th Industrial ReseaRCh Workshop and National Seminar*, 579-583.
- [3] INDONESIA, M. P. (2005). *PERATURAN MENTRI PERHUBUNGAN KM : 27 TAHUN 2005*. Indonesia.
- [4] JIA-SHENG HONG, M. J. (2001). *Microstrip Filters for RF/Microwave*. New York: A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION.
- [5] Koesmarijanto. (2020). "Filter Band Pass Frekuensi Radio FM dengan Metode M-derived". *Jurnal EECCIS Vol. 14*, 16-20.
- [6] Oka, I. A. (2020). "Rancangan *Band Pass Filter* Pada Komunikasi VHF Air To Ground di Bandara Budiarto dengan menggunakan Komponen Lumped Orde Tiga". *The 3rd National Conference on Industrial Electrical and Electronics (NCIEE) Proceedings*, 116-120.
- [7] Protap Pramanick, P. B. (2016). *Modern RF and Microwave*. LONDON: Artech House.
- [8] Sayekti, I. (2016). "Rancang Bangun Modul Inverter Gelombang Sinus". *ORBITH VOL. 12 NO. 3*, 159-166.
- [9] Slamet Purwo S., P. N. (2021). "Rancang Bangun Dan Analisis Kinerja *Band Pass Filter* Untuk Perangkat Radio" Komunikasi 420 – 430 MHz. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna Vol 9 No.3*, 11-26.
- [10] UTAMA, H. S. (2019). "Pembuatan *Filter* Chebichef Low Pas Dan High Pas Menggunakan Program Matlab". *Jurnal Teknik Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, 9-11.