

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [7] ini membahas mengenai desain filter mikrostrip *bandpass* untuk frekuensi S-band pada frekuensi kerja 3 GHz. Pemilihan metode *parallel coupled* bertujuan untuk memperlebar *bandwidth* serta menurunkan *return loss* dari filter yang dirancang. Parameter filter mikrostrip pada penelitian berupa *return loss* = 0 dB, *insertion loss* \leq -15 dB dan *bandwidth* = 2 GHz. Hasil dari pengukuran diperoleh *return loss* -34,03 dB, *insertion loss* -14,59 dB dan *bandwidth* sebesar 1,2 GHz di frekuensi 3 GHz. Hasil pengukuran dari penelitian ini diperoleh *bandwidth* yang lebar, dan *return loss* yang kecil, namun diperoleh *insertion loss* yang terlalu besar. Hal ini terjadi karena dipengaruhi faktor-faktor eksternal pada saat pengukuran.

Penelitian [8] membahas mengenai desain filter mikrostrip dengan menggunakan *meander loop dual resonator* untuk radar cuaca S-Band di frekuensi tengah 3 GHz. *Meander loop dual resonator* digunakan untuk memperoleh *bandwidth* yang lebar dan filter yang dirancang jadi lebih kompak. Parameter filter mikrostrip pada penelitian ini berupa *return loss* \leq -10 dB, *insertion loss* \geq -3 dB, dan *bandwidth* = 100 MHz. Hasil simulasi penelitian ini memperoleh filter mikrostrip yang mempunyai *bandwidth* 100 MHz, *return loss* -15,82 dB, dan *insertion loss* -2,49 dB. Namun, pada saat fabrikasi hasil tersebut mengalami kenaikan *bandwidth* sebesar 40 MHz sehingga menjadi 140 MHz, *return loss* mengalami kenaikan menjadi -12,98 dB, dan *insertion loss* -3,05 dB. Hal ini dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan proses fabrikasi pada saat penyolderan konektor pada PCB dan terdapatnya banyak rugi-rugi pada kabel tembaga yang terhubung pada VNA saat pengukuran.

Penelitian [9] membahas mengenai desain filter mikrostrip dengan metode *square ring resonator* untuk radar *doppler* pada frekuensi kerja 3 GHz. Metode *square ring resonator* digunakan bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* dan memperkecil *return loss*. Parameter filter mikrostrip pada penelitian ini berupa *bandwidth* = 300 MHz, *return loss* \leq -10 dB, dan *insertion loss* \geq -3 dB. Hasil akhir

setelah optimasi diperoleh *bandwidth* = 299 MHz, *return loss* -18,58 dB, dan *insertion loss* -2,94 dB.

Penelitian [10] membahas mengenai desain filter mikrostrip dengan metode *square open-loop resonator* untuk radar S-Band pada frekuensi kerja 3 GHz. Metode *square open-loop resonator* digunakan bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* dan memperkecil *return loss*. Parameter filter mikrostrip pada penelitian ini berupa *bandwidth* = 200 MHz, *return loss* \leq -10 dB, dan *insertion loss* \geq -3 dB. Hasil akhir pengukuran diperoleh *bandwidth* = 200 MHz, *return loss* -16,34 dB, dan *insertion loss* -3,56 dB. Pada saat pengukuran filter mengalami perubahan pada frekuensi kerjanya meskipun *bandwidth* yang didapat sebesar 200 MHz, Hal ini terjadi karena perubahan dimensi *resonator* pada saat fabrikasi.

Penelitian [11] membahas mengenai desain filter mikrostrip dengan metode *parallel resonator* untuk Wi-Fi pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Metode *parallel resonator* digunakan bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* dan memperkecil *return loss*. Parameter filter mikrostrip pada penelitian ini berupa *bandwidth* = 100 MHz, *return loss* \leq -10 dB, dan *insertion loss* \geq -3 dB. Hasil simulasi diperoleh *bandwidth* = 130 MHz, *return loss* -16 dB, dan *insertion loss* -2 dB. Pada saat simulasi filter mengalami peningkatan *bandwidth*, akan tetapi hasil tersebut masih bisa digunakan untuk frekuensi Wi-Fi.

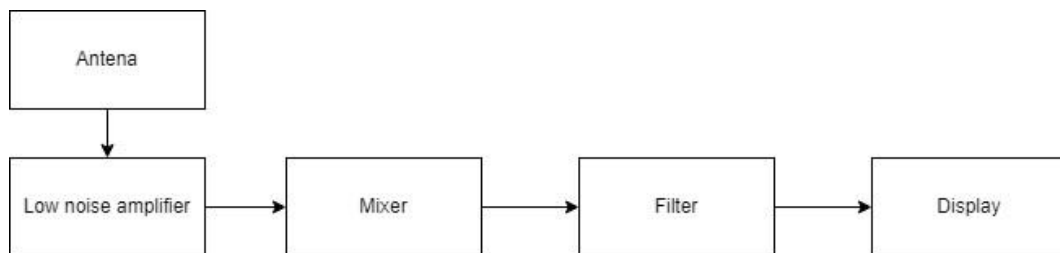
Penelitian [7] yang memperoleh hasil kinerja filter dan *bandwidth* yang lebar dengan menggunakan metode *parallel coupled resonator*, hal ini diharapkan menjadi referensi untuk metode *parallel Coupled resonator* yang digunakan pada penelitian yang dilakukan. Penelitian [8] terdapat perubahan hasil saat fabrikasi, Hal ini dapat dijadikan referensi agar berhati-hati saat melakukan fabrikasi agar sesuai dengan simulasi pada *software*. Penelitian [9] yang menggunakan parameter *return loss* \leq -10 dB dan *insertion loss* \geq -3 dB, impedansi 50 ohm pada aplikasi radar *doppler*, Hal ini menjadi referensi. Penelitian [10] menggunakan bahan substrat FR4 Epoxy dan mendapatkan hasil yang cukup bagus pada aplikasi radar S-Band, hal ini menjadi referensi untuk menggunakan bahan substrat FR4 Epoxy untuk penelitian karena sama-sama digunakan untuk aplikasi radar. Penelitian [11] yang memperoleh hasil *bandwidth* yang lebar melebihi frekuensi kerja dan parameter yang sesuai standar awal pada aplikasi Wi-Fi, hal ini dijadikan referensi

karena terdapat penambahan *gap* antar *resonator* yang bisa juga nantinya diterapkan pada penelitian yang dilakukan.

2.2 DASAR TEORI

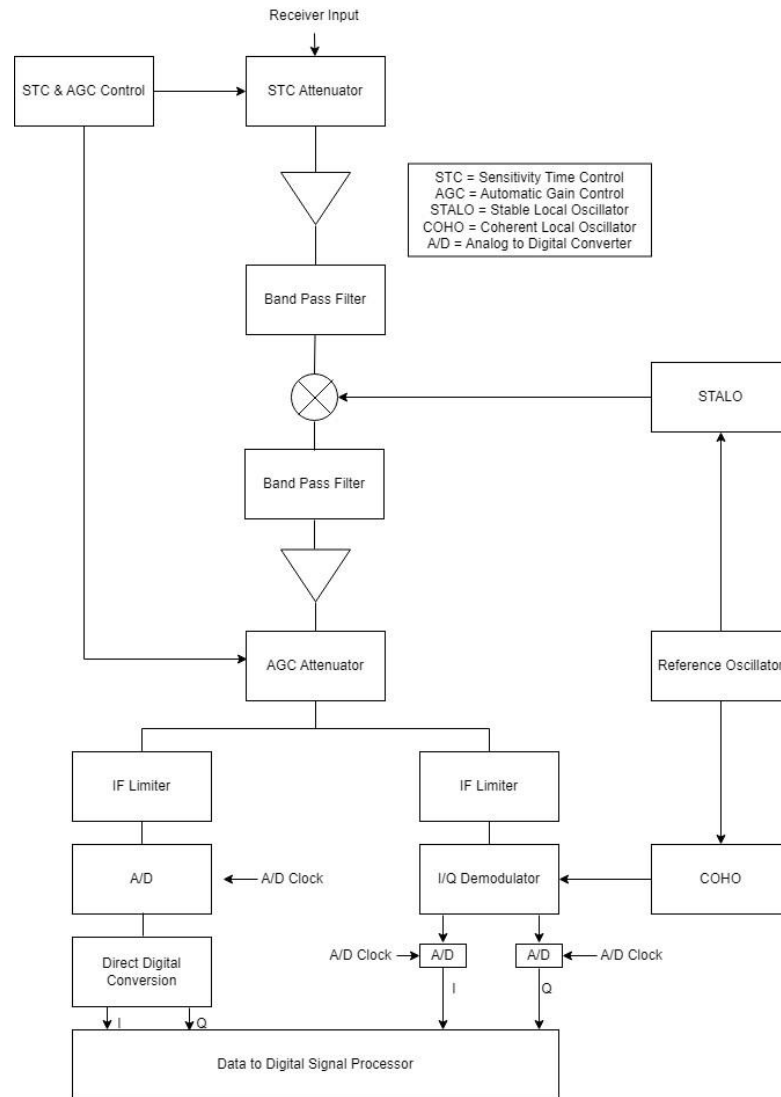
2.2.1 Radar

Sensor elektromagnetik yang disebut radar digunakan untuk mencari tempat yang memberikan informasi tentang suatu objek. *Radio detection and ranging* disingkat menjadi "radar". Radar, sesuai dengan namanya, merupakan teknik yang diciptakan untuk mengidentifikasi objek dan memastikan posisinya melalui penggunaan gelombang radio. Radar beroperasi berdasarkan pengiriman gelombang elektromagnetik dan menerimanya kembali ketika target memantulkannya. Radar terdiri dari beberapa subsistem yang bekerja sama untuk mendukung kinerjanya. Ini termasuk yang ditunjukkan pada gambar 2.1 di bawah [12].



Gambar 2.1 Blok diagram radar [12].

Skema blok subsistem radar yang umum terdapat pada radar dapat dilihat pada gambar 2.1 di atas. Terdapat antenna untuk menerima sinyal hasil pantulan dari partikel yang ditabrak sekaligus untuk meneruskan sinyal menuju penguat. Penguat yang digunakan adalah *Low Noise Amplifier* (LNA) yang fungsinya untuk memperkuat sinyal lemah yang diterima oleh antenna radar sebelum sinyal tersebut diproses lebih lanjut oleh sistem radar. Mixer pada bagian pengirim berfungsi untuk mengubah sinyal *Intermediate Frequency* (IF) menjadi sinyal *Radio Frequency* (RF), sedangkan pada bagian penerima berfungsi untuk mengubah sinyal RF menjadi IF. Filter yang sering digunakan pada radar adalah BPF. Fungsi filter pada radar yaitu untuk menyeleksi frekuensi yang masuk sehingga bebas dari *noise* yang tidak diinginkan. Bagian display berfungsi untuk menampilkan hasil deteksi pada radar [12].



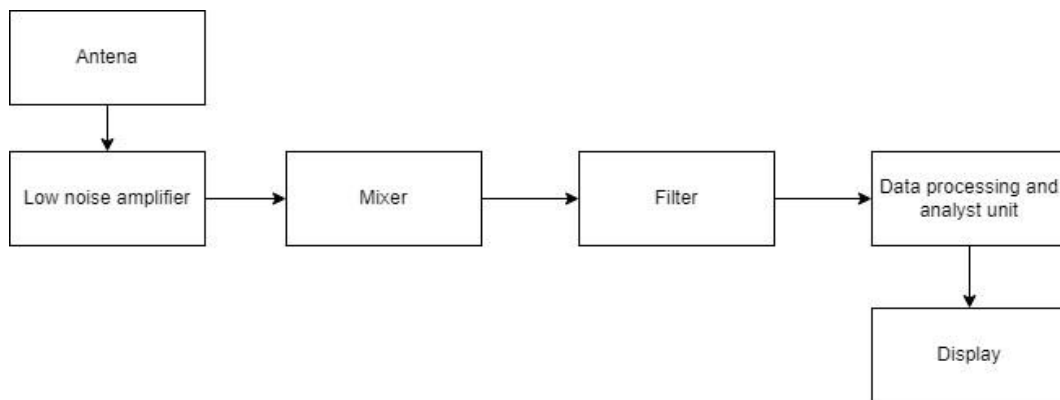
Gambar 2.2 Blok diagram subsistem radar pada bagian penerima [12].

Radar memiliki subsistem, filter, untuk memaksimalkan keluaran Rasio Signal-to-Noise, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Bagian RF (Frekuensi Radar) penerima radar adalah tempat filter ini beroperasi. *Attenuator Sensitivity Time Control* (STC) menerima sinyal RF dari penerima *input* pada Gambar 2.2 di atas. Penguat RF, juga dikenal sebagai LNA. Penguat ini meminimalkan degradasi total angka kebisingan radar dengan komponen berikutnya dengan memberikan angka kebisingan yang rendah dan penguatan yang sesuai. Filter yang dikembangkan pada penelitian ini akan berfungsi untuk mengontrol *bandwidth* penerima pemrosesan analog dan menekan sinyal RF yang tidak diinginkan. Namun hal ini dapat terjadi jika transmisi RF telah mengalami penurunan konversi menjadi sinyal frekuensi menengah (IF). Hal ini diperlukan karena kinerja sinyal

pemrosesan buruk pada frekuensi sangat tinggi (GHz), tempat filter ini beroperasi. Selain itu, ini meningkatkan selektivitas frekuensi [12].

2.2.2 Radar Cuaca

Salah satu jenis radar yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengukur, dan menentukan jenis curah hujan disebut radar cuaca. Selama sepuluh tahun terakhir, radar cuaca telah mengalami kemajuan. Cara kerja dasar radar tetap tidak berubah meskipun ada modifikasi. Ide mendasar di balik radar cuaca adalah refleksi energi. ketika sinyal dikirim oleh radar dan kemudian dipantulkan kembali. Semakin besar partikel yang bertabrakan, semakin kuat sinyal yang dipantulkan [13].



Gambar 2.3 Blok diagram radar cuaca [14].

Pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa terdapat perangkat filter yang digunakan untuk memaksimalkan hasil deteksi dengan menyeleksi frekuensi lain yang terdapat pada saat modulasi. Jenis filter yang digunakan adalah BPF. Tujuan penggunaan BPF adalah untuk meloloskan frekuensi *pass band* dan memotong frekuensi *stop band*.

Tentu saja, tujuan dari radar cuaca adalah untuk mempelajari fenomena meteorologi seperti hujan, hujan es, salju, gerimis, dan hidrometeor lainnya. Pemilihan pita gelombang radio yang digunakan bergantung pada jenis objek yang akan dilihat. Frekuensi S-Band (2-4 GHz, panjang gelombang 8-15 cm) digunakan untuk studi pemantauan cuaca jangka panjang dan pendek, sedangkan Frekuensi L-Band (1-2 GHz, panjang gelombang 15-30 cm) umumnya digunakan untuk meneliti turbulensi udara jernih. Radar semacam ini membutuhkan banyak tenaga dan peralatan, serta tidak mudah dilemahkan. Selain itu, pengamatan cuaca jangka

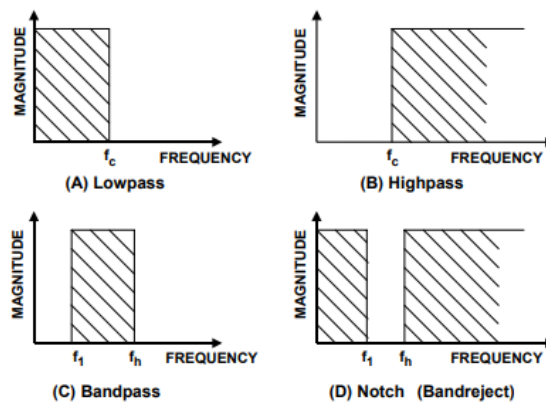
pendek dilakukan dengan menggunakan radar C-Band (4-8 GHz, panjang gelombang 4-8 cm) (misalnya, digunakan di dekat bandara). Karena bersifat portabel, radar ini dapat dimanfaatkan untuk penelitian lapangan. Sementara itu, studi jangka pendek dapat dilakukan dengan menggunakan radar X-Band (8-12 GHz, panjang gelombang 2,5–4 cm). Karena bentuk radar ini sensitif terhadap partikel kecil, maka radar ini dapat digunakan untuk mengamati awan, khususnya awan hujan [15].

2.2.3 Filter

Filter adalah jaringan yang memproses sinyal dengan cara yang bergantung pada frekuensi. Filter berfungsi untuk menyeleksi frekuensi yang masuk pada suatu sistem komunikasi, sehingga sinyal yang diterima bebas dari *noise* atau gangguan yang tidak diinginkan. Dasar konsep filter dapat dijelaskan dengan memeriksa sifat ketergantungan frekuensi impedansi kapasitor dan induktor. Ketika frekuensi berubah, nilai impedansi reaktif berubah, dan rasio pembagi tegangan berubah. Mekanisme ini menghasilkan frekuensi perubahan dependen dalam fungsi transfer *input/output* yang didefinisikan sebagai frekuensi tanggapan. Filter memiliki banyak aplikasi praktis. Jenis filter dibagi menjadi dua yaitu jenis filter berdasarkan frekuensi yang dilewatkan, dan jenis filter berdasarkan respon frekuensi [16].

1. Jenis filter berdasarkan frekuensi yang dilewatkan

Low Pass Filter (LPF) sering digunakan untuk menstabilkan *amplifier* dengan menurunkan penguatan pada tingkat yang lebih tinggi frekuensi di mana pergeseran fasa yang berlebihan dapat menyebabkan *osilasi*. *High Pass Filter* (HPF) dapat digunakan untuk memblokir *offset direct current* dalam *gain* tinggi *amplifier* atau sirkuit suplai tunggal. Filter dapat digunakan untuk memisahkan sinyal, meneruskannya, dan melemahkan frekuensi yang tidak diinginkan. Dalam konversi data, filter juga digunakan untuk menghilangkan efek alias dalam sistem *analog to digital*. Mereka digunakan di rekonstruksi sinyal pada *output digital to analog* juga, menghilangkan komponen frekuensi, seperti frekuensi sampling dan harmonik. Filter yang ideal akan memiliki respons amplitudo yang sama (atau pada penguatan tetap) untuk frekuensi yang diinginkan (disebut *passband*) dan nol di tempat lain (disebut *stopband*). Frekuensi perubahan respon dari *passband* ke *stopband* adalah disebut sebagai frekuensi *cut-off* [16].



Gambar 2.4 Respon filter ideal [16].

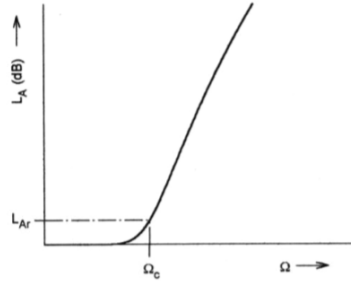
Gambar 2.4 (A) menunjukkan LPF yang diidealkan. Dalam filter ini frekuensi rendah masuk *passband* dan frekuensi yang lebih tinggi berada di *stopband*. Kebalikan dari LPF adalah HPF. Pada HPF, frekuensi rendah berada di *stopband*, dan frekuensi tinggi berada di *passband*. Gambar 2.4 (B) menunjukkan HPF yang diidealkan. Jika LPF dan HPF dirangkai, BPF dapat dibuat. BPF melewati pita frekuensi antara frekuensi *cutoff* bawah f_1 , dan frekuensi *cutoff* atas, f_h . Frekuensi dibawah f_1 dan diatas f_h berada di *stopband*. Sebuah BPF yang diidealkan ditunjukkan pada Gambar 2.4 (C). Kebalikan dari BPF adalah *bandreject*. Pada bagian *passband* termasuk frekuensi di bawah f_1 dan di atas f_h . Band dari f_1 ke f_h berada pada bagian *stopband*. Gambar 2.4 (D) menunjukkan respon *bandreject*. Nama lain dari *bandreject* adalah Band Stop Filter yang berfungsi untuk meloloskan frekuensi pada daerah *stopband* dan meredam frekuensi pada daerah *passband*. Akan tetapi, filter ideal yang didefinisikan di atas tidak dapat dibuat dengan mudah [16].

2. Jenis filter berdasarkan respon frekuensi

a. Filter *Butterworth*

Filter *butterworth*, juga dikenal sebagai filter maksimal datar (*maximally flat*), adalah jenis filter analog yang dirancang untuk memberikan respons frekuensi yang sehalus mungkin dalam *bandpass*. Filter ini pertama kali diperkenalkan oleh ahli fisika Inggris Stephen Butterworth dalam makalahnya pada tahun 1930. Filter *butterworth* sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemrosesan sinyal audio, telekomunikasi, dan instrumentasi karena kemampuannya menghasilkan sinyal keluaran yang bersih tanpa distorsi fase yang signifikan. Filter ini memiliki

respon frekuensi yang menghasilkan kerataan yang maksimal baik pada daerah *passband* maupun pada daerah *stopband* [17]. Bentuk respon frekuensinya sebagai berikut:

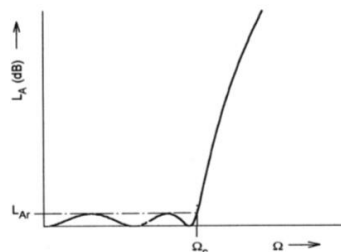


Gambar 2.5 Respon frekuensi *butterworth* [17].

Pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa untuk respon frekuensi *butterworth* tidak memiliki riak pada *passband*-nya. L_{Ar} menyatakan *passband* dan Ω_c melambangkan frekuensi *cut-off*. Filter Butterworth digunakan dalam berbagai kebutuhan yang memerlukan respons frekuensi yang mulus tanpa riak dalam *bandpass*. Kebutuhan tersebut antara lain untuk audio dan video, telekomunikasi. Selain itu filter *butterworth* juga digunakan untuk pemrosesan sinyal elektrokardiografi dan elektroensefalogram [17].

b. Filter *Chebyshev*

Filter *Chebyshev* adalah jenis filter analog yang dirancang untuk memiliki respons frekuensi tertentu dengan karakteristik tertentu. Ada dua jenis filter *Chebyshev* utama: *Chebyshev* Tipe I dan *Chebyshev* Tipe II. Filter *Chebyshev* Tipe I memiliki riak di dalam *passband*, sementara *Chebyshev* Tipe II memiliki riak di dalam *stopband*. Filter ini dinamai berdasarkan matematikawan Rusia, Pafnuty Chebyshev. Filter *Chebyshev* memiliki attenuasi yang lebih besar dibandingkan filter *butterworth*. Sehingga memungkinkan adanya *ripple* pada daerah *passband* atau *stopband* [17]. Bentuk respon frekuensinya sebagai berikut:

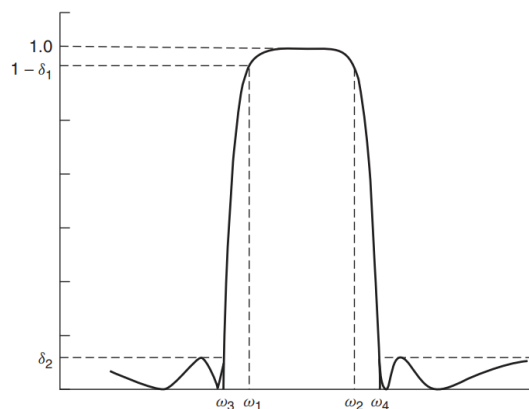


Gambar 2.6 Respon frekuensi *chebyshev* [17].

Pada gambar 2.6 menunjukkan bahwa respon *chebyshev* mempunyai riak pada bagian *passband*-nya (L_{Af}) sebelum akhirnya *cut-off* pada frekuensi Ω_c . adanya riak disini bertujuan untuk membuat atenuasi di daerah *stopband* agar lebih curam sehingga filter *chebyshev* dapat lebih efektif untuk memisahkan sinyal yang ada di daerah *passband* dari *noise* yang berada pada frekuensi *stopband*. Oleh karena itu filter *chebyshev* memiliki selektivitas frekuensi yang lebih baik daripada filter *butterworth*. Filter *chebyshev* banyak digunakan untuk radar, karena kemampuannya untuk meredam sinyal di area *stopband* dengan baik. Selain itu filter ini juga digunakan pada komunikasi serat optik agar transmisinya lebih akurat dan cepat [17].

2.2.4 Band Pass Filter (BPF)

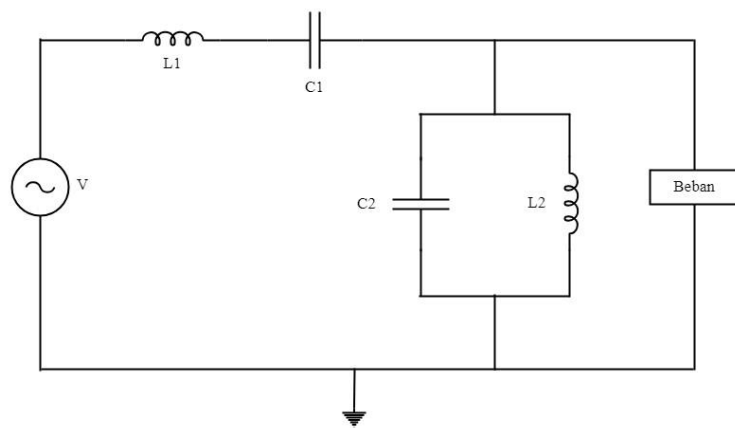
BPF merupakan sebuah filter yang meloloskan frekuensi *passband* yaitu frekuensi dibawah frekuensi *cut-off* atas dan frekuensi diatas frekuensi *cut-off* atas, serta meredam frekuensi diluar rentang tersebut. BPF adalah komponen elektronik yang penting dalam berbagai aplikasi, seperti sistem komunikasi, audio elektronik, instrumentasi elektronik, dan pengolahan sinyal. BPF memiliki respon frekuensi yang datar dalam rentang *bandwidth* dan menurun tajam di luar *bandwidth*. BPF memiliki dua frekuensi *cut-off*, yaitu frekuensi cutoff bawah (f_L) dan frekuensi cutoff atas (f_H). Sinyal dengan frekuensi di bawah f_L dan di atas f_H akan diredupkan [17].



Gambar 2.7 Spesifikasi khas dari filter *bandpass*[17].

Pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa sebuah BPF secara ideal meloloskan frekuensi antara ω_1 dan ω_2 dan meredam frekuensi di luar rentang ω_3 dan ω_4 . Desain BPF melibatkan pemilihan nilai komponen yang tepat untuk mencapai karakteristik

yang diinginkan, seperti bandwidth, frekuensi *cut-off*, dan faktor Q. Faktor Q adalah ukuran seberapa "tajam" filter dalam meloloskan sinyal dalam bandwidth. Nilai Q yang tinggi menunjukkan filter yang lebih tajam, dengan bandwidth yang sempit dan redaman yang lebih kuat di luar *bandwidth*. BPF bekerja dengan memanfaatkan resonansi antara induktor dan kapasitor. Pada frekuensi resonansi, impedansi rangkaian menjadi tinggi, sehingga sinyal dengan frekuensi tersebut dapat lolos dengan mudah. Di luar frekuensi resonansi, impedansi rangkaian menjadi rendah, sehingga sinyal dengan frekuensi tersebut diredupkan [17].



Gambar 2.8 Rangkaian pengganti BPF [18].

Pada gambar 2.8 menunjukkan bahwa untuk membentuk BPF, rangkaian LC seri dan paralel resonansi sering digabungkan. Rangkaian LC seri resonansi untuk melewatkan hanya rentang frekuensi yang diinginkan, sementara rangkaian LC paralel resonansi digunakan untuk melemahkan frekuensi di luar *passband* dengan mengarahkannya ke *ground* [18]. Untuk menghitung frekuensi kerja maka perlu untuk menghitung L atau L_{total} dengan cara menghitung L1 dan L2 secara parallel. Lalu menghitung C atau C_{total} dengan cara menghitung C1 dan C2 secara parallel. Rumus untuk menghitung frekuensi kerja sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.1)$$

Dimana,

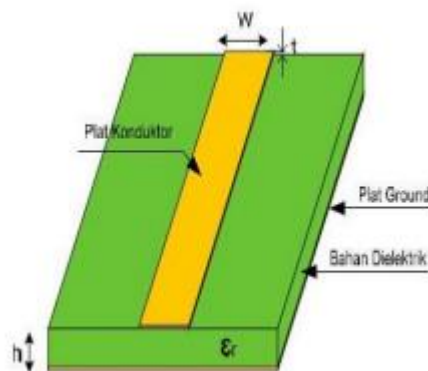
f = Frekuensi kerja (Hz)

L = Induktansi (H)

C = Kapasitansi (F)

2.2.5 Filter Mikrostrip

Bahan transmisi yang digunakan pada rangkaian frekuensi gelombang mikro dan radio adalah mikrostrip. Salah satu dari beberapa media transmisi yang sering digunakan pada rangkaian gelombang mikro adalah mikrostrip. Filter mikrostrip adalah jenis filter elektronik yang dibuat menggunakan struktur mikrostrip. Struktur mikrostrip terdiri dari konduktor logam tipis yang dicetak pada substrat isolator, seperti FR4 atau Duroid. Filter mikrostrip dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti sistem komunikasi, radar, dan instrumentasi elektronik [19].



Gambar 2.9 Struktur filter mikrostrip [19].

Filter mikrostrip ditunjukkan pada gambar 2.9 sebagai strip konduktor (garis) dengan lebar (W) dan tebal (t) di atas substrat dielektrik dengan ketebalan (h) dan konstanta dielektrik relatif (ϵ_r), dengan bagian bawah substrat bertindak sebagai bidang permukaan (bidang tanah) [9]. Salah satu bentuk transmisi planar line yang paling sering digunakan adalah mikrostrip. Hal ini disebabkan oleh kesederhanaan proses fabrikasi dan integrasinya dengan perangkat gelombang mikro aktif dan pasif lainnya. Perangkat yang beroperasi dalam rentang frekuensi gelombang mikro biasanya menggunakan saluran transmisi ini (urutan GHz). Jika dibandingkan dengan metode transmisi gelombang mikro lainnya termasuk pandu gelombang, kabel koaksial, jalur strip, dan lain-lain, mikrostrip menawarkan sejumlah keunggulan [20]. Manfaatnya antara lain:

- Fabrikasi yang lebih sederhana untuk pembuatan sirkuit yang rumit
- Lebih kompak dan ringan
- Memiliki keandalan yang baik
- Reprodusibilitasnya tinggi [20].

Dimensi filter mikrostrip dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{w_0}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (2.2)$$

Dimana,

$$A = \frac{Z_o}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.3)$$

Faktor A dalam desain filter mikrostrip mempengaruhi berbagai karakteristik dan performanya, seperti dimensi, impedansi karakteristik, frekuensi *cutoff*, *bandwidth*, *return loss*, *insertion loss*, dan VSWR. Untuk menghitung konstanta dielektrik relatif dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} x \frac{1}{\sqrt{1 + \left(12x \left(\frac{h}{w_0} \right) \right)^2}} \quad (2.4)$$

w_0 = Lebar konduktor (mm)

h = Ketebalan substrat (mm)

A = Faktor A

Z_o = Impedansi (ohm)

ϵ_r = Konstanta dielektrik

ϵ_{reff} = konstanta dielektrik relatif

2.2.6 Parameter Filter Mikrostrip

Pada pengujian sebuah filter terdapat parameter yang digunakan sebagai dasar dari pengujian filter. Berikut ini merupakan beberapa parameter yang biasanya digunakan untuk menganalisis suatu filter :

1. *Return loss*

Return loss adalah daya yang hilang akibat pemantulan pada *port* perangkat. *Return loss* juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya yang dipantulkan dengan daya yang ditransmisikan. Nilai dari *return loss* harus sekecil mungkin jika dinyatakan dalam dB [17]. Namun, untuk ambang batas *return loss* yang baik harus lebih baik atau sama dengan -10 dB karena pada sebuah antena atau filter perbandingan antara daya yang dipantulkan dengan yang ditransmisikan tidak boleh melebihi 10% [21]. Rumus untuk menghitung nilai dari *return loss* sebagai berikut:

$$RL = 10 \log \frac{P_r}{P_t} = 10 \log_{10} \left(\frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right)^2 \quad (2.5)$$

Dimana :

P_r = Daya pantul (mW)

P_t = Daya yang ditransmisikan (mW)

2. *Insertion loss*

Insertion loss adalah daya yang hilang akibat penyisipan perangkat antara sumber dan beban. *Insertion loss* juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya *input* dengan daya *output*. Sebagian daya yang disalurkan dari sumber ke beban akan hilang karena komponen rangkaian, sedangkan sebagian daya akan ditransfer langsung ke beban dan sebagian lagi akan dipantulkan kembali ke sumber. Daya yang hilang inilah yang dinamakan *insertion loss* [22]. Nilai *insertion loss* yang baik harus sama atau lebih dari -3 dB karena pada saluran transmisi perbandingan antara daya output dengan daya input tidak boleh kurang dari 50% [21]. Rumus untuk menghitung *insertion loss* adalah sebagai berikut.

$$IL = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} = -20 \log |S_{21}|_{dB} \quad (2.6)$$

Dimana :

P_{in} = Daya *input* (mW)

P_{out} = Daya *output* (mW)

3. *Bandwidth*

Secara umum, *bandwidth* didefinisikan sebagai lebar pita filter *bandpass* dan dinyatakan sebagai perbedaan frekuensi antara titik bawah dan atas. Dengan kata lain, *bandwidth* menunjukkan seberapa "luas" filter dalam meloloskan sinyal. *Bandwidth* akan menentukan kecepatan data, atau seberapa cepat kita dapat mengirimkan informasi melalui saluran seperti serat optik atau spektrum radio. *Bandwidth* dapat diibaratkan seperti sebuah jalan raya, sedangkan informasi yang dikirimkan diibaratkan seperti kendaraan. *Bandwidth* filter diukur dalam Hertz (Hz). Filter dengan *bandwidth* sempit memiliki selektivitas yang tinggi, sedangkan filter dengan *bandwidth* lebar memiliki selektivitas yang rendah [22].

$$BW = f_2 - f_1 \quad (2.7)$$

Dimana,

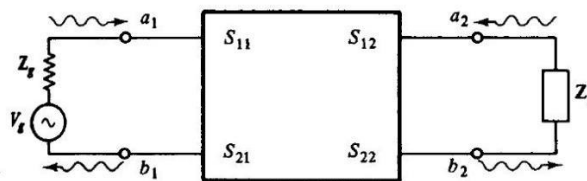
$BW = \text{Bandwidth (Hz)}$

$f_1 = \text{frekuensi bawah (Hz)}$

$f_2 = \text{frekuensi atas (Hz)}$

2.2.7 S-Parameter

S-Parameter, atau *scattering* parameter, adalah metrik yang digunakan untuk menentukan karakteristik pada filter seperti *return loss* (S_{11}) dan *insertion loss* (S_{21}). S-Parameter memberikan informasi tentang bagaimana sinyal ditransmisikan dan direfleksikan dalam jaringan. S-Parameter merupakan parameter yang rangkaianannya menggunakan 2 *port* dalam variabel gelombang yaitu *input* dan *output*. S-Parameter juga dapat diartikan sebagai konsep pendekatan kutub-4 yang digunakan untuk menganalisis karakteristik suatu perangkat radio frekuensi yang menggunakan frekuensi sangat tinggi [23].



Gambar 2.10 Kutub empat [23].

Pada gambar 2.10 menunjukkan bahwa S-Parameter dari jaringan dua *port* terdiri dari S_{11} , S_{12} , S_{21} , dan S_{22} serta didefinisikan dalam istilah variabel gelombang sebagai

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0} & S_{12} &= \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0} \\ S_{21} &= \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0} & S_{22} &= \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0} \end{aligned} \quad (2.8)$$

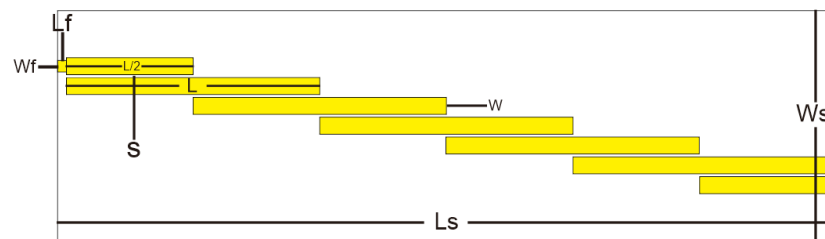
Parameter S_{11} dan S_{22} disebut juga koefisien refleksi, sedangkan S_{12} dan S_{21} disebut sebagai koefisien transmisi. Ini adalah parameter yang dapat diukur secara langsung pada frekuensi gelombang mikro [23]. Persamaan S-Parameter dapat dituliskan sebagai berikut.

$$20 \log |S_{mn}| \text{ dB} \quad m, n = 1, 2 \quad (2.9)$$

Jika dikaitkan dengan filter mikrostrip, maka S-Parameter ini dapat merepresentasikan suatu *loss*/rugi-rugi yang terjadi pada komponen filter mikrostrip. Adapun *loss* tersebut terdiri dari *return loss* dan *insertion loss* yang menjadi parameter yang penting dalam pengukuran dan analisis filter mikrostrip.

2.2.8 Metode *Parallel Coupled Resonator*

Cara kerja metode *parallel coupled resonator* yaitu ketika dua buah resonator didekatkan maka medan elektromagnetik pada resonator yang satu akan berefek pada resonator yang lain [23]. Struktur umum *parallel coupled resonator* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Struktur *parallel coupled resonator* [24].

Gambar 2.11 mengilustrasikan struktur umum filter *bandpass* mikrostrip *parallel coupled* yang menggunakan *resonator* garis setengah panjang gelombang. Mereka diposisikan sedemikian rupa sehingga *resonator* yang berdekatan sejajar satu sama lain sepanjang setengahnya panjang. Susunan paralel ini memberikan kopling yang relatif besar untuk jarak tertentu antara *resonator*, dan dengan demikian, struktur filter ini sangat cocok untuk membuat filter yang memiliki *bandwidth* lebih lebar dibandingkan dengan struktur filter mikrostrip *end coupled*. Sehingga meningkatkan kapasitansi dan memperlebar *bandwidth* yang dihasilkan. Untuk menentukan orde filter yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$FBW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (2.10)$$

$$\Omega_s = \frac{2}{FBW} \left(\frac{(f_0 + BW) - f_0}{f_0} \right) \quad (2.11)$$

$$n \geq \frac{\cosh^{-1} \sqrt{\frac{10^{0,1L_{As}} - 1}{10^{0,1L_{Ar}} - 1}}}{\cosh^{-1} \Omega_s} \quad (2.12)$$

Dimana:

f_0 = Frekuensi tengah (Hz)

f_1 = Frekuensi *cut-off* bawah (Hz)

f_2 = Frekuensi *cut-off* atas (Hz)

FBW = *Fractional bandwidth*

L_{As} = Atenuasi *Stopband* (dB)

Ω_s = Frekuensi di mana *stopband* riak yang sama dimulai ($\Omega_s > 1$)

L_{Ar} = Riak *passband* (dB)

Untuk menghitung nilai *admittance inverter* dapat menggunakan persamaan:

$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} \quad (2.13)$$

$$J_n = Y_0 \sqrt{\frac{\pi FBW}{2g_{n-1}g_n}} \quad (2.14)$$

Dimana :

Y_0 = *Characteristic Admittance* (S)

J = *Admittance Inverter* (S)

Z_0 = Impedansi (ohm)

FBW = *Fractional Bandwidth*

g : nilai elemen rangkaian ekivalen

Untuk menghitung mode impedansi genap (Z_{oo}) dan ganjil (Z_{oe}) dapat menggunakan persamaan:

$$Z_{oe} = Z_o (1 + JZ_o + (JZ_o)^2) \quad (2.15)$$

$$Z_{oo} = Z_o (1 - JZ_o + (JZ_o)^2) \quad (2.16)$$

Untuk menghitung nilai *gap* dapat menggunakan persamaan :

$$s = \frac{2h}{\pi} \cosh^{-1} \left[\frac{\left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oe} \right) + \left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oo} - 2 \right)}{\left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oo} \right) - \left(\cosh\left(\frac{\pi}{2}\right) Z_{oe} \right)} \right] \quad (2.17)$$

Dimana :

s : *gap* (mm)

Untuk menghitung lebar resonator dapat menggunakan persamaan :

$$B = \frac{60x \pi^2}{Z_0 x \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.18)$$

$$w = \frac{2}{\pi} x \left(B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} x \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right) \quad (2.19)$$

Dimana :

w = lebar resonator (mm)

Untuk menghitung panjang resonator dapat menggunakan persamaan:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \quad (2.20)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.21)$$

$$L = \frac{\lambda_g}{2} \quad (2.22)$$

Dimana :

λ_0 = Panjang gelombang ruang bebas pada frekuensi tengah (m)

λ_g = Panjang gelombang pada suatu material (m)

L = Panjang *resonator* (mm)

c = kecepatan cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s)