

High Power Amplifier 5,6 - 5,7 GHz dengan Metode Penguatan Tiga Tingkat untuk Aplikasi Radar Cuaca

High Power Amplifier 5,6 – 5,7 GHz with Three Level Gain Method for Weather Radar Applications

Zainul Umam Takdir¹, Bambang Setia Nugroho², Trasma Yunita³.

^{1,2} Universitas Telkom, Bandung

³Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Pengetahuan Indonesia

¹zainulumam@student.telkomuniversity.ac.id,²bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id,³trasmayunita@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Cuaca yang ekstrim dan tidak menentu kadang dapat menimbulkan bencana, oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang canggih serta dapat menjangkau wilayah yang luas. Radar merupakan salah satu teknologi yang dapat memantau cuaca dengan area cakupan yang luas. Maka dari itu radar membutuhkan penguat agar mendapat hasil yang lebih optimal.

Tugas akhir ini membuat sebuah *High Power Amplifier* (HPA) dimana dalam sistem radar sangat dibutuhkan, HPA merupakan komponen yang berguna untuk menguatkan power sinyal yang kemudian diteruskan ke antena pemancar dengan rentan frekuensi tertentu. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan penguatan daya tiga tingkat agar lebih optimal.

Tugas akhir ini didesain dan direalisasikan suatu HPA untuk implementasi Radar cuaca C-Band yang bekerja pada frekuensi 5,6-5,7 GHz. Beberapa pertimbangan utama dalam desain HPA diantaranya, *gain*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *power input* dan *power output*. Komponen aktif yang digunakan dalam merancang HPA yaitu MIC GALI 19+, dan MIC GALI 2+. Simulasi penguat HPA menggunakan aplikasi pemodelan rangkaian. Hasil simulasi HPA tiga tingkat pada frekuensi 5,6 GHz memiliki *gain* sebesar 37,058 dB, VSWR *input* sebesar 1,140, VSWR *output* 1.050. Pada hasil pengukuran HPA tiga tingkat pada frekuensi 5,6 GHz menghasilkan *gain* sebesar 10,9 dB, VSWR *input* sebesar 1,278, VSWR *output* 3,187

Kata Kunci: *High Power Amplifier*, Radar Cuaca, C-band .

Abstract

Extreme and erratic weather can sometimes cause disasters, therefore sophisticated technology is needed and can reach a wide area. Radar is a technology that can monitor the weather with a wide coverage area. Therefore the radar needs an amplifier in order to get more optimal results.

This final project makes a High Power Amplifier (HPA) where on the radar block diagram HPA is one of the most needed parts in a radar system on a radar system, HPA is a very crucial component to amplify power which will be transmitted to the antenna and then transmitted by means of increases the signal power level at the input in a predetermined frequency range up to the desired power level at the output. The method used is to use three levels of power gain to make it more optimal.

This final project is designed and realized an HPA for the implementation of C-Band weather radar that works at a frequency of 5.6-5.7 GHz. Some of the main considerations in HPA design include gain, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), power input and power output. The active components used in designing the HPA are MIC GALI 19+, and MIC GALI 2+. HPA amplifier simulation using circuit modelling application. The results of the three-stage HPA simulation at a frequency of 5.6 GHz have a gain of 37.058 dB, an input VSWR of 1.140, an output VSWR of 1.050. The results of the three-stage HPA measurement at a frequency of 5.6 GHz produce a gain of 10.9 dB, input VSWR of 1.278, output VSWR of 3.187

Keywords: *High Power Amplifier*, Weather Radar, C-band .

1. Pendahuluan

Cuaca yang ekstrim dapat menimbulkan bencana, maka dari itu dibutuhkan teknologi yang dapat memantau agar dapat mengantisipasi bencana tersebut, Teknologi tersebut dinamakan Radar (*radio detection and ranging*), Radar dapat mendeteksi dan mengukur jarak informasi melalui sistem gelombang yang dipantulkan [1].

Jarak yang ditempuh sinyal antara *transmitter* dan *receiver* jaraknya cukup jauh dan juga adanya pengaruh interferensi maka diperlukan *High Power Amplifier* yang berfungsi sebagai penguat daya, penguat daya ini berfungsi meningkatkan *level* sinyal *output* dari *transmitter* sehingga sinyal yang diterima oleh *receiver* cukup baik.

Penelitian sebelumnya mengenai HPA ini pernah disimulasikan dan direalisasikan *High Power Amplifier* (HPA) dengan dua tingkat pada frekuensi tengah 5,6 GHz untuk Penguat Radar Cuaca dengan menggunakan komponen aktif *Microwave Integrated Circuit* (MIC). Hasil simulasi HPA pada frekuensi 5,65 GHz menghasilkan *gain* sebesar 27,695 dB, efisiensi sebesar 61 %, *VSWR input* sebesar 1,016, *VSWR Output* sebesar 1,008. Hasil pengukuran HPA pada frekuensi 5,6 GHz menghasilkan *gain* sebesar 25,470 dB, *VSWR input* sebesar 1,131, *VSWR output* sebesar 1,522, efisiensi sebesar 39,15% dan *bandwidth* 200 MHz, hasil pengukuran penguat daya diperoleh nilai *gain* sebesar 24,7 dB. [2]

Pada laporan akhir ini dilakukan perancangan dan realisasi sebuah HPA yang bekerja pada frekuensi 5,6-5,7 GHz. Perancangan yang dilakukan menggunakan komponen aktif berupa *Microwave Integrated Circuit*. Pada MIC terdapat elemen sirkuit aktif dan pasif. MIC ini digunakan karena komponen aktif cenderung stabil, murah, dan ukurannya kecil dibandingkan dengan komponen aktif lainnya seperti transistor NJT ataupun FET [1]. Penguat dibuat dengan tiga tingkat dengan menggunakan komponen yang sama dan dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan

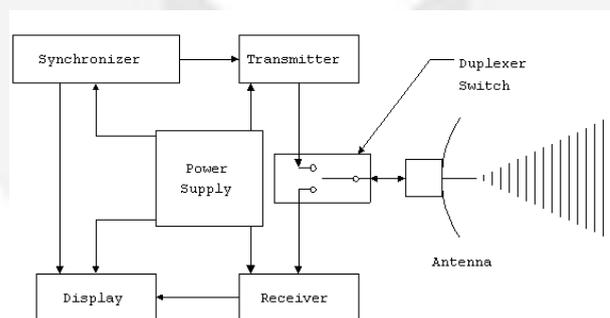
2. Dasar Teori

2.1 Radar Cuaca

Radar merupakan singkatan dari *radio detection and ranging*. Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, dan mengukur. Gelombang radio/sinyal yang dipancarkan dari suatu benda dapat ditangkap oleh radar kemudian dianalisis untuk mengetahui lokasi dan bahkan jenis benda tersebut. Walaupun sinyal yang diterima relatif lemah, namun radar dapat dengan mudah mendeteksi dan memperkuat sinyal tersebut.[1]

2.1.1 Diagram Blok Radar

Bagian utama dalam sistem ada dua bagian yaitu *Transmitter* dan *Receiver*. *Transmitter* memancarkan gelombang elektromagnetik dan dipantulkan kemudian akan di Terima oleh *Receiver* dan akan di tampilkan oleh *display* yg kemudian akan digunakan untuk beragam kepentingan. *High Power Amplifier* (HPA) adalah salah satu bagian dalam sistem radar yang berfungsi sebagai penguat sinyal *input* yang akan ditransmisikan [3]. Dalam tugas akhir ini dirancang dan diimplementasikan penguat daya dari blok diagram tersebut.



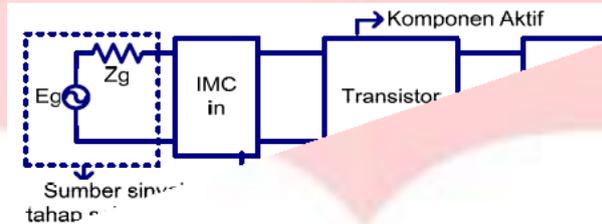
Gambar 1 Blok Diagram Radar [4]

- Transmitter* : Berfungsi untuk menghasilkan sinyal *Microwave* dengan *phase* dan amplitude tertentu, dimana untuk radar cuaca biasanya menggunakan sinyal dengan Panjang gelombang ~10cm
- Antena : fungsi utama antenna adalah untuk mem-fokuskan dan memancarkan sinyal dengan ukuran beam yang kecil (small beam) dan mendengarkan serta mengumpulkan sinyal yang kembali.
- Receiver* : untuk mendeteksi sinyal yang dipantulkan kemudian akan di tampilkan layar monitor.

- d) *Display* : Berfungsi untuk menampilkan sinyal yang diterima.
- e) *Power Supply* : *Power Supply* menyediakan daya listrik untuk semua komponen..
- f) *Duplexer* : Ini adalah sakelar yang menghubungkan pemancar atau penerima secara bergantian ke antena.
- g) *Synchronizer* : Sinkronisasi mengoordinasikan waktu untuk penentuan rentang. [4]

2.2 Penguat Daya

Penguat daya berfungsi untuk meningkatkan level daya sinyal pada masukan di rentang frekuensi yang telah di tentukan sampai dengan level daya yang di inginkan pada keluarannya [1]. Penguat menerima daya inputan lalu daya tersebut diperkuat untuk dapat mengoperasikan suatu perangkat sehingga daya yang ditransmisikan bias diterima pada sisi yang lain (*receiver*) dengan maksimal [5].

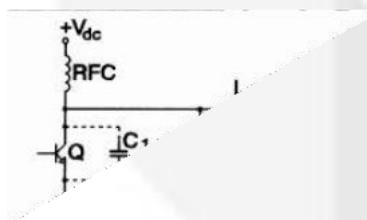


Gambar 2 Penguat Daya

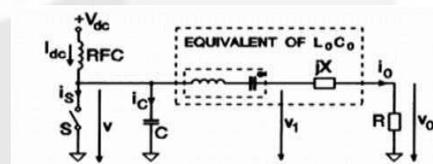
2.2.1 Penguat Daya Kelas E

Penguat kelas E adalah penguat daya yang memiliki komponen aktif berperan sebagai *on-off switch*. Biasanya transistor yang digunakan adalah transistor jenis FET. Karena menggunakan transistor jenis FET (MOSFET/CMOS), penguat ini menjadi efisien dan cocok untuk aplikasi yang memerlukan drive arus yang besar namun dengan arus input yang sangat kecil [6]. sehingga penguat ini cocok digunakan pada aplikasi frekuensi radio (*RF Amplifier*), untuk mengatur tegangan dan arus yang melewati transistor, maka transistor yang berperan sebagai *on-off switch* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, berikut mekanisme *on-off switch* [7].

- Keadaan ON State: keadaan ini menyebabkan tegangan mendekati nol sebelum saklar dalam posisi on sehingga arus tinggi mengalir pada transistor (transistor berperan sebagai resistansi rendah dengan *closed switch*).
- Keadaan OFF State: keadaan ini menyebabkan arus mendekati nol ketika tegangan yang tinggi mengalir pada transistor (transistor berperan sebagai *open switch*).



Gambar 3 Sirkuit Dasar Penguat Kelas E



Gambar 4 Sirkuit Ideal Ekivalen Kelas E [2]

2.3 Persamaan Kuat Daya

Penguatan daya pada penguat memiliki tiga komponen, yaitu (G_p), (G_A), (G_T). penguatan daya operasi (G_p), penguatan daya tersedia (G_A), dan penguatan daya transducer (G_T). Daya yang masuk ke dalam input disebut P_{in} , sementara daya yang diserap oleh beban disebut P_{out} . Daya maksimal yang dapat dikirimkan dari sumber ke beban disebut penguatan daya yang tersedia dari sumber atau $PAVS$ dan daya maksimum yang dapat dikirim dari port output untuk terhubung dengan beban disebut $PAVN$. [8]

a. Penguatan Daya Transduser (*Transducer Power Gain*),

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{\text{daya yang dikirim ke beban}}{\text{daya yang tersedia dari sumber}} \quad (2.1)$$

b. Penguatan Daya Tersedia (*Available Power Gain*),

$$G_A = \frac{P_{AVN}}{P_{AVS}} = \frac{\text{daya yang tersedia dari jaringan}}{\text{daya yang tersedia dari sumber}} \quad (2.2)$$

c. Penguatan Daya Operasi (*Operating Power Gain*),

$$G_P = \frac{P_L}{P_{IN}} = \frac{\text{daya yang dikirim ke beban}}{\text{daya input jaringan}} \quad (2.3)$$

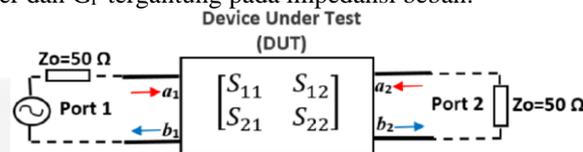
Persamaan penguatan dalam bentuk parameter S,

$$G_T = \frac{1 - |\Gamma_s|^2}{|1 - \Gamma_{in} \Gamma_s|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{1 - S_{22} \Gamma_L^2} \quad (2.4)$$

$$G_A = \frac{1 - |\Gamma_s|^2}{|1 - S_{11} \Gamma_s|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{1 - |\Gamma_{out}|^2} \quad (2.5)$$

$$G_P = \frac{1}{1 - |\Gamma_{in}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2} \quad (2.6)$$

Penguatan daya transduser adalah ukuran penguatan yang paling representative pada jaringan dua port karena menggabungkan impedansi beban dan sumber. Pada G_A hanya tergantung pada impedansi sumber dan G_P tergantung pada impedansi beban.



Gambar 5 Aliran Daya Pada Jaringan Dua Port [9]

Penguatan transduser akan maksimal jika $\Gamma_{in} = \Gamma_s^*$, $\Gamma_{out} = \Gamma_L^*$ maka ketiga gain akan sama menjadi $G_T = G_A = G_P$. Dari syarat kestabilan, maka akan terdefinisi *Maximum Stable Gain (MSG)*, yaitu penguatan maksimum yang dicapai pada saat $K = 1$,

$$G_{MSG} = \frac{|S_{21}|^2}{S_{12}} |(K - \sqrt{K^2 - 1})| \quad (2.7)$$

Untuk Menghitung nilai Kestabilan diperoleh dengan,

$$\Delta = S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21} \quad (2.8)$$

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 |S_{12} S_{21}|} \quad (2.9)$$

Koefisien pantul sumber dan beban dalam kondisi *Matched simultaneously*, dapat dinyatakan sebagai,

$$\Gamma_{LM} = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4C_2 I^2}}{2C_2} \quad (2.10)$$

$$\Gamma_{SM} = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4C_1 I^2}}{2C_1} \quad (2.11)$$

$$\text{Dimana : } B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2, B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 \quad (2.12)$$

Jika dan berharga negatif maka tanda positif dipakai dalam persamaan 2.10 dan 2.11, demikian juga untuk sebaliknya. Keterangan : B_1, B_2, C_1, C_2 = Variabel untuk membantu perhitungan koefisien pantul sumber dan beban.

2.4 Penyelesaian Impedansi

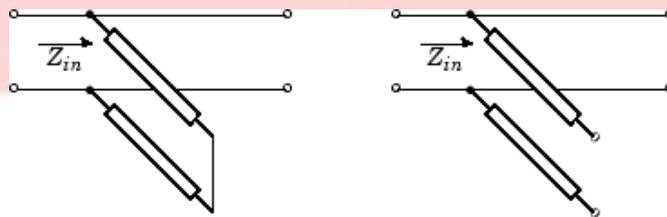
Suatu gelombang mikro dikatakan ideal bila penyaluran dalam saluran tersebut memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut :

- Tidak ada pantulan, yaitu bila impedansi pada sumber, beban, dan impedansi karakteristiknya sepadan.
- Terjadi pemindahan daya maksimum, jika *conjugate match*.
- Tidak terjadi rugi (*loss*) selama berlangsungnya penyaluran.

Dalam kenyataannya, tidak semua kriteria tersebut dapat dicapai. Tetapi untuk mendapatkan kondisi yang sepadan, dimana harga impedansi sumber (Z_s), impedansi beban (Z_L) dan impedansi karakteristiknya (Z_0) adalah sama, dapat dicapai dengan menggunakan rangkaian penyepadanan impedansi. [10]

Single stub terdiri dari open circuit atau short circuit yang disisipkan secara paralel terhadap saluran dengan jarak tertentu dari beban. Selain menentukan jarak penyisipan *stub*, panjang *stub* (L) juga diperlukan untuk melakukan penyepadanan impedansi. Contoh *single stub parallel open circuit* dan *short circuit* dapat dilihat pada Gambar 9. Pada tugas akhir ini pada penyepadanan impedansi menggunakan *single stub parallel open circuit* karena lebih sederhana dan mudah direalisasikan ke saluran mikrostrip [11].

Untuk Mengetahui Impedansi input (Z_s) dan Impedansi output (Z_L) kita dapat menggunakan persamaan sebagai berikut,



(a)

(b)

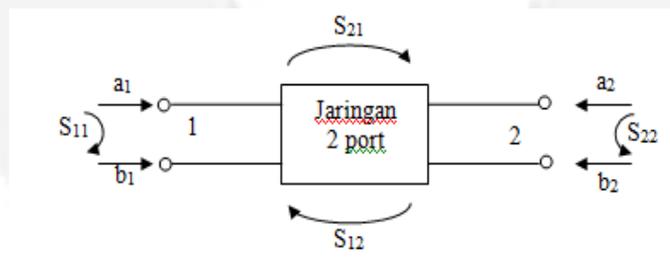
Gambar 6 a) Stub Short Circuit b) Stub open Circuit [9]

$$Z_S = Z_0 \frac{1+rs}{1-rs}, \quad (2.27)$$

$$Z_L = Z_0 \frac{1-rs}{1+rs}. \quad (2.28)$$

2.5 Parameter-S

Parameter S (*Scattering*) adalah salah satu parameter yang paling umum digunakan pada rangkaian frekuensi radio (RF) dan gelombang mikro. Dalam perancangan penguat daya pada frekuensi tinggi, parameter s digunakan untuk mendapatkan karakteristik dari kinerja transistor berdasarkan jaringan dua *port*. Penguat daya termasuk dalam perangkat jaringan dua port yang punya dua kutub yaitu *input* dan *output* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



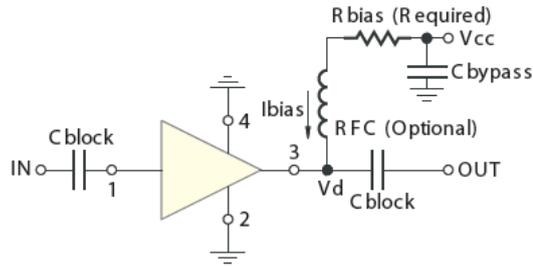
Gambar 7 Rangkaian dua port dan parameter S-nya [2]

Gambar 7 memperlihatkan jaringan dua *port* dan parameter S-nya. Pada *input port* (*port 1*) tegangan gelombang datang dan tegangan gelombang pantul disimbolkan dengan a_1 dan b_1 . Pada *output port* (*port 2*), tegangan gelombang datang dan tegangan gelombang pantul disimbolkan dengan a_2 dan b_2 .

2.5 Rangkaian Bias dan Komponen Aktif

Pada Tugas Akhir ini Menggunakan Komponen aktif Microwave Integrated Circuit (MIC), rangkaian ini memiliki biaya yang rendah ukuran lebih kecil dan bobot yang lebih ringan. MIC ini menggabungkan jalur transmisi, resistor, kapasitor dan induktor serta perangkat aktif lainnya seperti diode dan transistor. *Microwave Integrated Circuit* (MIC) yang digunakan pada perancangan penguat daya ini yaitu jenis MIC GALI-19+, dan MIC GALI-2+, substrat yang digunakan merupakan bahan semikonduktor dan beberapa lapisan logam, dielektrik dan resitif film yang

digunakan.[12] [13] Agar dapat bekerja komponen aktif diberikan rangkaian prategangan. Pada tugas akhir ini digunakan rangkaian Prategangan seperti pada Gambar 8.

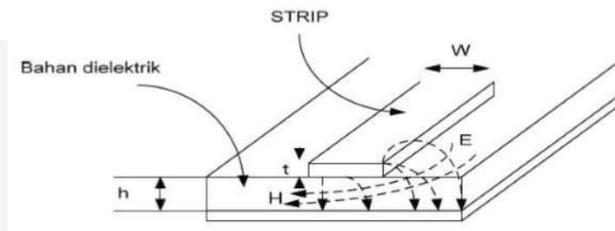


Gambar 8 Rangkaian Prategangan [12]

Untuk mencegah arus DC keluar dari rangkaian prategangan, maka ditempatkan DC Block pada bagian masukan dan keluaran rangkaian prategangan, sedangkan untuk mencegah sinyal AC menginterferensi rangkaian prategangan maka ditempatkan RF Choke pada rangkaian. Untuk menentukan nilai kapasitor sebagai DC block menggunakan persamaan $X_c < Z_o/10$.

2.6 Perhitungan Dimensi Saluran Mikrostrip

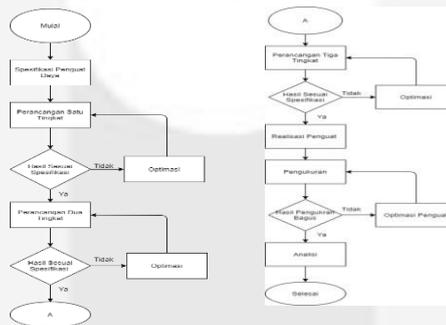
Pengaplikasian dari saluran mikrostrip adalah untuk penguat daya *microwave*, filter *microwave*, *mixer microwave*, dll. Saluran mikrostrip sekarang sering digunakan karena mudah direalisasikan dengan teknik cetak rangkaian (printed-circuit).



Gambar 9 Saluran Mikrostrip [10]

3. Perancangan dan Sistem

3.1 Diagram Alir Perancangan High Power Amplifier



Gambar 10 Flow Chart Perancangan HPA

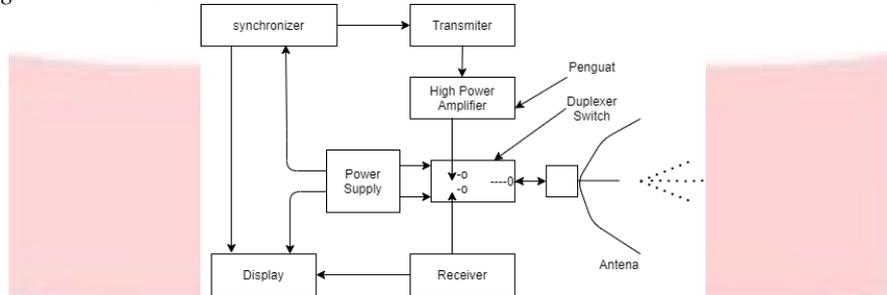
3.2 Spesifikasi Perancangan

Spesifikasi *High Power Amplifier* (HPA) menjadi bagian yang penting sebagai parameter yang ingin dicapai dalam proses perancangannya. HPA yang akan dibuat adalah HPA yang bekerja pada frekuensi 5,6-5,7 GHz dengan spesifikasi:

- a) Frekuensi kerja : 5.6 – 5.7 GHz
- b) Frekuensi tengah : 5.65 GHz
- c) Penguatan satu tingkat : ≥ 10 dB
- d) Penguatan dua tingkat : ≥ 20 dB
- e) Penguatan Tiga tingkat : ≥ 30 dB
- f) VSWR : ≤ 2.0

3.3 Blok Sistem

Pada gambar 3.2 blok sistem radar menunjukkan subsistem HPA sebagai penguat yang dapat memperkuat daya sinyal, HPA diletakan pada sisi pengirim tepat setelah transmitter yang berfungsi sebagai menghasilkan sinyal yang kemudian sinyalnya dikuatkan oleh HPA dan sinyal tersebut dipancarkan oleh antena. HPA yang dirancang harus memiliki nilai yang memenuhi spesifikasi seperti *gain* dan *VSWR*.



Gambar 11 Blok Sistem Radar

3.4 Pemilihan Komponen

3.4.1 Pemilihan Transistor

Transistor yang digunakan adalah MMIC Gali-19+ dan Gali-2+ produk *Mini-Circuits*. yang dimana merupakan jenis MMIC (*Monolithic Microwave Integrated Circuits*) yang bekerja pada frekuensi 0 sampai dengan 7 GHz dan *Gain* yang dihasilkan maksimum 10,1 dB untuk Gali-19+ dan 0 sampai dengan 8 GHz dan *Gain* yang dihasilkan maksimum 13,2 untuk Gali-2+, dan beroperasi pada tegangan 12 volt.

3.4.2 Pemilihan Substrat

Pada perancangan penguat daya frekuensi 5,6 - 5,7 GHz, substrat yang digunakan adalah bahan FR4. Spesifikasi FR4 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Substrat FR4

Parameter	Nilai
Faktor Disipasi ($\tan \delta$)	0,025
Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	4,7
Tebal Konduktor (t)	0,035 mm
Tinggi Substrat (h)	1 mm

3.5 Parameter-S dan Faktor Kestabilan

Faktor kestabilan pada perancangan penguat digunakan untuk mencegah terjadinya osilasi. Nilai parameter-S MIC Gali-19+ berdasarkan *datasheet* dapat dilihat bahwa :

$$S_{11} = 0.141 \angle -176.973$$

$$S_{12} = 0.107 \angle -127.435$$

$$S_{21} = 3.375 \angle -5.709$$

$$S_{22} = 0.132 \angle -117.259$$

Dan untuk nilai parameter-S MIC Gali-2+ berdasarkan *datasheet* dapat dilihat bahwa :

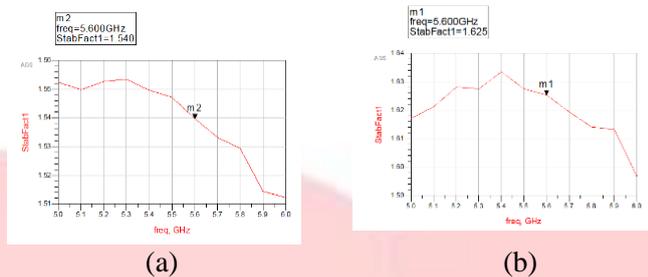
$$S_{11} = 0.174 \angle -167.230$$

$$S_{12} = 0.070 \angle -116.831$$

$$S_{21} = 4.761 \angle -15.750$$

$$S_{22} = 0.132 \angle -116.162$$

Nilai parameter-S ini nantinya akan digunakan untuk mencari nilai kestabilan penguat dan *available maximum gain*.

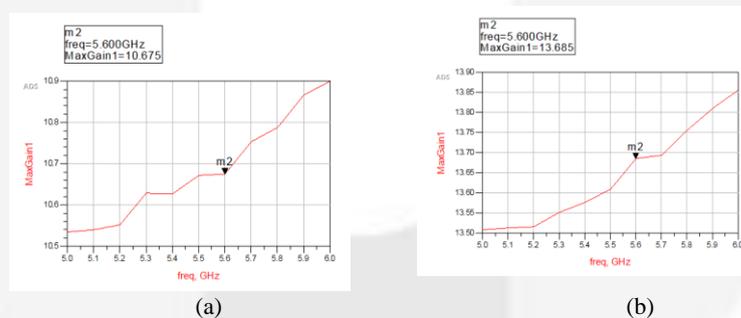


Gambar 12 (a) Faktor Kestabilan Gali-19+, (b) Faktor Kestabilan Gali-2+

Bisa dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8) dan (2.9), didapatkan nilai stabilitas penguat dengan nilai sebesar $|\Delta| = 0,324$ dan nilai $K = 1,548$ untuk Gali-19+, dan nilai stabilitas sebesar $|\Delta| = 0,353$ dan nilai $K = 1,616$, sedangkan Nilai faktor kestabilan yang dihasilkan dari simulasi aplikasi pemodelan rangkaian ditunjukkan pada Gambar 12 dengan nilai $K=1,540$ untuk Gali-19+, dan nilai $K=1,625$ untuk Gali-2+. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi stabil mutlak tanpa syarat (*unconditionally stable*) untuk masing-masing komponen aktif dan seluruh daerah di dalam lingkaran *smith chart* merupakan daerah stabil.

3.6 Perhitungan Penguatan Daya

Setelah nilai kestabilan Gali-19+, dan Gali-2+ diketahui yaitu $K > 1$, maka dapat ditentukan nilai maximum available gain untuk penguat tingkat pertama dengan perhitungan secara matematis pada persamaan (2.7) sebesar 10,670 dB untuk Gali-19+ dan 13,683 dB untuk Gali-2+. nilai GMAX juga dapat disimulasikan menggunakan aplikasi pemodelan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13, sehingga didapatkan hasil simulasi dengan nilai GMAX untuk Gali-19+ sebesar 10,675 dB, dan untuk nilai Gali-2+ sebesar 13,851 dB.



Gambar 13 (a) GMAX Gali-19+ (b) GMAX Gali-2+

3.7 Perhitungan Rangkaian Penguat dan Rangkaian DC Bias

Dalam perancangan rangkaian penguat, nilai C ditentukan dengan persamaan (2.19), sehingga didapatkan nilai C sebesar 470 pF, sedangkan nilai L_{RFC} ditentukan dengan persamaan (2.20) sehingga didapatkan nilai $L_{RFC} = 14$ nH, kemudian untuk nilai kapasitor *bypass* (C_b) sudah terdapat di datasheet sebesar 10 pf dan nilai R terdapat dalam *datasheet* sebesar 215 ohm dengan V_{cc} pada rangkaian DC bias ini sebesar 12 Volt.

3.8 penyepadanan impedansi

Pada keadaan stabil mutlak tanpa syarat (*unconditionally stable*) dalam kasus *bilateral* dengan menggunakan persamaan (2.10) dan (2.11) diperoleh nilai $\Gamma_{SM} = 0.155 < 158.036$ dan $\Gamma_{LM} = 0.096 < 96.085$. Pada bagian Impedansi Z_0 sebesar 50Ω sehingga dapat ditentukan panjang saluran (d) dan panjang *stub* (l) yang dibutuhkan agar nilai VSWR sesuai spesifikasi yang diinginkan. Digunakan persamaan (2.27) dan (2.28) diperoleh nilai impedansi *input* (Z_S) = $37.65 + j0.57\Omega$ dan impedansi *output* (Z_L) = $46.8 - j0.66\Omega$ untuk perhitungan *matching impedance* menggunakan *stub*

tunggal paralel open circuit dengan smithchart.

Kemudian ditentukan nilai impedansi *input* (Z_s) yang didapatkan dengan persamaan ditentukan nilai saluran panjang saluran *input* (d_{in}) dan panjang *stub* (L_{in}) menggunakan *smith chart*, nilai panjang saluran *input* (d_1) sebesar 4,129 mm dan panjang *stub* (L_{in}) sebesar 1,578 mm. Nilai impedansi *output* (Z_L) yang didapatkan dengan persamaan ditentukan nilai saluran *output* (d_{out}) dan panjang *stub output* (L_{out}), nilai saluran *output* (d_{out}) sebesar 17,32 mm dan panjang *stub output* (L_{out}) sebesar 14,657 mm.

3.9 Konversi Saluran Mikrostrip

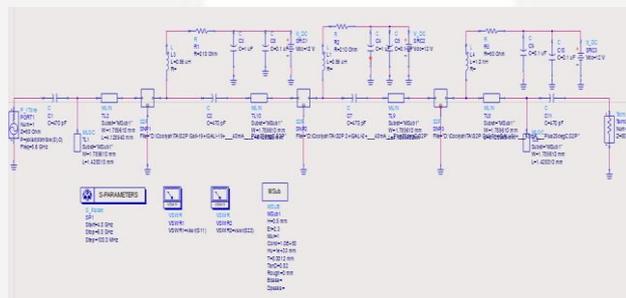
Impedansi yang diperlukan pada *stub* dan jalur penghubung antar *stage* adalah 50 Ω . menghitung lebar jalur *stub* dapat dilakukan menggunakan rumus (2.22) hingga didapatkan nilai $W = 1,420200$ mm. Dan menggunakan *tools* pada aplikasi pembantu *LineCalc* bisa didapatkan nilai pada tabel 2, menggunakan *tools* *LineCalc* terdapat perbedaan nilai disebabkan karena *LineCalc* memiliki perhitungan yang lebih teliti dan terdapat parameter-parameter lain tidak ada pada perhitungan teoritis, sehingga menggunakan *LineCalc* lebih akurat.

Tabel 2 Panjang Saluran dan Stub

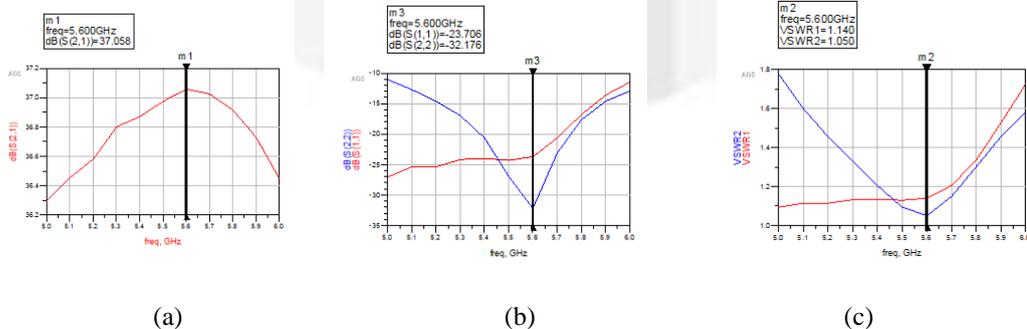
Parameter	Nilai
Faktor Disipasi ($\tan \delta$)	0,025
Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	4,7
Tebal Konduktor (t)	0,035 mm
Tinggi Subtrat (h)	1 mm

3.10 Rangkaian HPA Tiga Tingkat

Langkah selanjutnya ialah melakukan perancangan tiga tingkat. Desain rangkaian HPA tiga tingkat dan hasil simulasinya dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15



Gambar 14 Skematik Tiga Tingkat

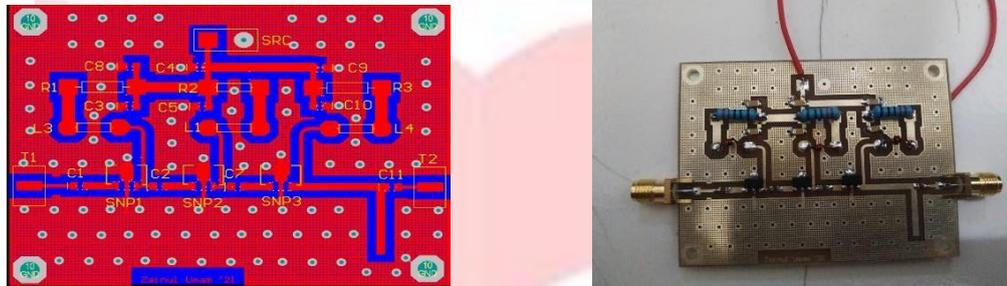


Gambar 15 Hasil Simulasi Tiga Tingkat (a) Gain (b) return loss (c) VSWR

Gambar 15 menunjukkan hasil simulasi desain tiga tingkat didapatkan nilai *gain* (S(2,1)) sebesar 37,058 dB, *return loss input* (S(11)) sebesar -23,706 dB, *return loss output* (S(22)) sebesar -32,176 dB, *VSWR in* sebesar 1.140, *VSWR out* sebesar 1.050. Hasil simulasi ini sudah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan dan siap untuk proses realisasi.

3.10 Realisasi Perancangan

Proses selanjutnya adalah membuat realisasi penguat daya yang telah disimulasikan sebelumnya yang ditunjukkan pada gambar 16



(a) (b)
Gambar 16 Realisasi Penguat (a) Skematik Altium (b) Realisasi

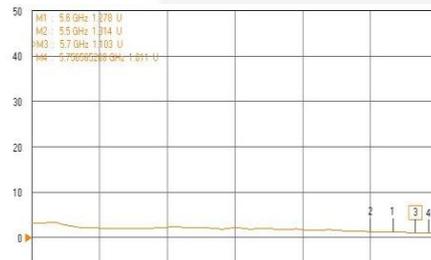
4 Hasil dan Analisis

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui daya output, *gain*, efisiensi, *VSWR* dan *return loss* yang dihasilkan oleh penguat daya RF yang telah direalisasikan.

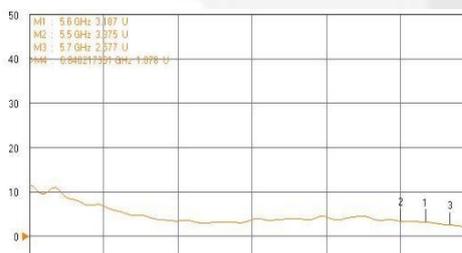
4.1 Hasil pengukuran Gain, VSWR, linearity, dan Return Loss



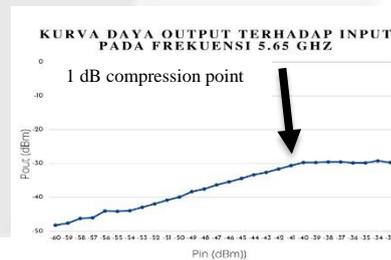
(a)



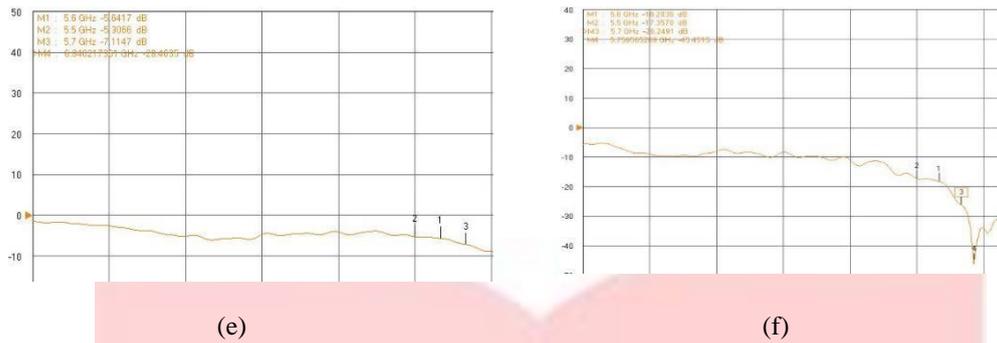
(b)



(c)



(d)



Gambar 17 Hasil Pengukuran
 (a) Gain ; (b) VSWR input ; (c) VSWR output ; (d) Return Loss input (e) Return Loss output ;
 (f) Linearity

Dari Gambar 17 diatas bisa dilihat *gain* yang dihasilkan pada frekuensi 5.65 GHz yaitu sebesar 10,9 dB dengan *loss* kabel sebesar 2 dB sehingga penguatan total sebesar 12,9 dB, sedangkan *gain* tertinggi sebesar 14,2 dB pada frekuensi 6 GHz. Bentuk kurva respon frekuensi ini dipengaruhi oleh panjang saluran *matching* dan panjang *stub* pada saat perancangan, dan juga semakin tinggi frekuensi yang diberikan semakin meningkat *gain* nya, dan dapat disimpulkan *gain* yang dihasilkan masih belum memenuhi spesifikasi akibat dari toleransi komponen sehingga *match impedance* tidak di 50 ohm.

Hasil pengukuran output terhadap input memiliki linearitas yang baik dengan *gain* yang linear di 10 dB di frekuensi 5.65 GHz dengan rentan input -60 dBm sampai dengan -40 dBm. Ketika penguat diberikan *input* daya sebesar -40 dBm telah mencapai 1 dB *compression*, yaitu kondisi penguat ketika tidak lagi dapat memperkuat sinyal *input* dimana level sinyal *output* akan mengalami penurunan penguatan 1 dB setiap level *input* dinaikan 1 dB. . Artinya ketika *input* diberikan sebesar -40 dBm merupakan batas dari daya *input* maksimum untuk mendapatkan penguatan yang linear.

Hasil pengukuran VSWR *input* pada frekuensi 5.6 GHz sebesar 1.278. Sedangkan hasil pengukuran VSWR *output* pada frekuensi 5.6 GHz sebesar 3.187, dari hasil pengukuran tersebut VSWR *input* sudah memenuhi spesifikasi dan VSWR *output* belum memenuhi spesifikasi yaitu $VSWR \leq 2$.

Hasil pengukuran *return loss input* pada gambar 17 yaitu sebesar -18.2836 dB pada frekuensi 5.6 GHz dan pada gambar 14 hasil *return loss output* sebesar -5.6417 dB pada frekuensi 5.6 GHz dari hasil pengukuran tersebut *return loss input* sudah memenuhi spesifikasi dan *return loss output* belum memenuhi spesifikasi pada umumnya yaitu *return loss* : ≤ -10 dB.

4.2 Analisis Hasil Pengukuran

4.2.1 Pengukuran Daya Output dan Gain

Pada pengukuran daya output diberikan daya input sebesar -60 dBm pada frekuensi 5,65 GHz dengan *loss* kabel sebesar 2 dB diperoleh level daya *output* sebesar -49,1 dBm sehingga *gain* yang diperoleh sebesar 12.9 dBm, sehingga bisa disimpulkan penguat belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan, hasil *gain* tersebut mengalami penurunan sebesar 25,6 dB dari hasil simulasi dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak *Advanced Design Systems 2019* dengan hasil *gain* sebesar 38,5 dB, penurunan *gain* tersebut akibat toleransi PCB, toleransi komponen, dan C *Coupling* yang tidak *match*.

4.2.2 Pengukuran Daya Input Terhadap Daya Output

Dari hasil pengukuran daya *input* terhadap daya *output* terlihat bahwa penguat yang telah direalisasikan memiliki linieritas yang baik dengan *gain* relatif stabil sekitar 10 dB. Daerah linier terjadi pada saat *input* -60 dBm sampai -40 dBm, sedangkan untuk daerah dengan input lebih dari -40 dBm merupakan daerah yang tidak linier. Maka input -40 dBm merupakan input maksimum yang disebut sebagai *compression point*, dimana jika penguat daya RF ini diberi input lebih dari -40 dBm akan terjadi harmonisa, intermodulasi, distorsi sinyal, dan kerusakan pada transistornya.

4.2.3 Pengukuran VSWR dan Return Loss Input dan Output

Berdasarkan Pada pengukuran VSWR dan *Return Loss input* dan *output* di Frekuensi 5.6 GHz dihasilkan *Voltage Stand Wave Ratio* (VSWR) pada bagian *input* sebesar 1.278 dan *return loss* sebesar -18.2836 dB dari hasil pengukuran tersebut penguat daya yang direalisasikan dapat bekerja

dengan baik, karena daya yang dipantulkan sangat kecil, sedangkan pada VSWR dan *return loss output* didapatkan hasil pengukuran sebesar 3.187 dan *return loss* sebesar -5.6417 dB. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penguat daya belum memenuhi spesifikasi awal untuk *VSWR output* yaitu ≤ 2 dan *return loss output* ≤ -10 dB, akibat *match impedance* pada jalur output tidak match di 50 ohm sehingga VSWR dan *return loss output* tidak memenuhi spesifikasi, akibat *match impedance* pada jalur output tidak match di 50 ohm sehingga VSWR dan *return loss output* tidak memenuhi spesifikasi.

4.2.4 Analisis Keseluruhan

Setelah dilakukan pengukuran maka dapat diperoleh perbandingan antara Parameter, spesifikasi dan hasil pengukuran yang terlihat di tabel 3 berikut :

Tabel 3 Perbandingan Parameter, Spesifikasi dengan Hasil Pengukuran

Parameter	Spesifikasi	Simulasi	Pengukuran
<i>Gain</i>	≥ 30 dB	37,058 dB	12,9 dB
Frekuensi kerja	5,6 – 5,7 GHz	5,6 – 5,7 GHz	5,6 – 5,7 GHz
VSWR <i>input</i>	≤ 2	1,140	1,278
VSWR <i>output</i>	≤ 2	1,050	3,187
<i>return loss input</i>	≤ -10 dB	-23,706 dB	-18,2836
<i>return loss output</i>	≤ -10 dB	-32,176 dB	-5,6417

Berdasarkan hasil perbandingan parameter, spesifikasi, dan hasil pengukuran di atas dapat dilihat bahwa pengukuran VSWR *input* dan *return loss input* yang diukur sudah memenuhi spesifikasi, sedangkan hasil pengukuran *gain*, VSWR *output*, dan *return loss output* tidak memenuhi spesifikasi yang diinginkan, dikarenakan Matching Impedansi Jalur dan *C Coupling* tidak di 50 ohm akibat toleransi PCB dan toleransi Komponen.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari perancangan dan realisasi penguat daya RF ini adalah sebagai berikut:

1. Penguat daya yang telah direalisasikan menghasilkan daya output sebesar 10,9 dBm dengan *input* diberikan -60 dBm dengan *loss* kabel sebesar 2 dB sehingga penguatan total sebesar 12,9 dB.
2. *Gain* yang dihasilkan dari hasil pengukuran tidak sesuai dengan *gain* yang disimulasikan pada aplikasi pendesign, yang dimana *gain* mengalami penurunan sebesar 25,6 dB yang dikarenakan toleransi PCB, toleransi komponen dan *C Coupling* yang tidak *match*.
3. Faktor yang memengaruhi penurunan *gain* yaitu komponen aktif yang tidak dalam kondisi ideal, sehingga *Matching Impedance* Jalur dan *C Coupling* tidak di 50 ohm dan juga akibat toleransi PCB dan toleransi Komponen, berbeda dengan simulasi dalam keadaan ideal, serta nilai yang tidak sesuai dengan *datasheet*.
4. Penguatan yang dihasilkan penguat daya relatif stabil sebesar 10 dB yang linier pada range -60 dbm sampai -40 dBm.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan realisasi penguat daya RF yang telah dilakukan, dapat berikan beberapa saran pengembangan yaitu sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan perancangan dilakukan pencarian referensi atau sumber yang lebih banyak, sehingga menghasilkan penguat yang lebih maksimal.
2. Pada rangkaian biasing harus menggunakan induktor khusus yang bekerja pada frekuensi tinggi.
3. Sebaiknya menggunakan kapasitor *trimmer* agar bisa melakukan *tunning* agar *gain* yang didapatkan lebih maksimal.
4. Perhatikan konektor yang digunakan, usahakan menggunakan konektor yang berkualitas agar nilai impedansinya lebih akurat agar pentransmisiannya akan lebih maksimal.

Referensi :

- [1] Wardoyo,Eko.'Investigasi Dugaan Interferensi Frekuensi Radar Cuaca BMKG Study Kasus Radar Cuaca BMKG Baron VHDD 350 C Semarang dan DWSR 250 Tangerang"
- [2] Sidabuttar, Fevi Sari. (2019). "PENGUAT DAYA 500 MILIWATT UNTUK RADAR CUACA 5,5 – 5,7 GHz", Vol.6 No.2, Halaman 2.
- [3] Fawaz, "Pengertian Radar, Jenis Radar, Sistem Radar dan Kerja Radar". (2019,02Januari).[Online].Available:<http://bantucom.blogspot.com/2014/04/penertian-radar-jenis-radar-sistem.html>
- [4] Budi, Agus Sri, dkk. "Weather Radar". Depok : Universitas Indonesia. 2014.
- [5] "Basics Radar System" <https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/radarsys/radarsys.htm>, diakses pada tanggal 28 Agustus 2020
- [6] Prasetya, Budi. 2007. Penguat Frekuensi Tinggi dengan Parameter S. Bandung: Sekolah Tinggi Teknologi Telkom.
- [7] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika "Spesifikasi Teknis Pembangunan Sistem Radar Cuaca C-Band"., 2014.
- [8] Albulet, Mihai." RF Power Amplifiers",Library of Congress Cataloging-in Publication Data, United States Of America., 2001.
- [9] Paolo colantino and Ernesto, High Efficiency RF and Microwave Solid State Power Amplifier , United Kingdom: Jhon Wiley and Sons.Ltd.,2009
- [10] " Transmission Line " <https://la.mathworks.com/help/simrf/ref/equivalentbasebandtransmissionline.html>, diakses pada 28 Agustus 2020
- [11] Pozar, David M. Microwave Engineering. 4 th Edition. John Wiley & Sons 2011
- [12] Sahu, Shridhar R and Dr. A. Y Deshmukh, "Design Of High Efficiency Two Stage PowerAmplifier In 0.13um Rf Cmos Technology For 2.4 Ghz Wlan Application."'.International Journal of VLSI design & Communication System (VLSICS) VOL.4, No.4.India.,2013
- [13] Mini-Circuit Datasheet. Monolithic Amplifier Gali 19+. Nort America.
- [14] Politeknik Bosowa : "Elektronika Analog (03 12 EAN T)", Makassar, 2015
- [15] Edaboard.com, " How to Define the Capacitor value for DC Block,". (2019, 15 Juli). [Online]. Available: <http://www.edaboard.com/thread44347.htm>