

PENGUAT DAYA 500 MILIWATT UNTUK RADAR CUACA 5,5-5,7 GHz

HIGH POWER AMPLIFIER 500 MILLIWATT FOR WEATHER RADAR 5.5-5.7 GHz

Asri Fevi Sari Sidabutar, Amd.T.1, Dr.Ir.Heroe Wijanto, M.T.2, Yaya Sulaeman,S.T.3

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Pengetahuan Indonesia

¹asrifevi@gmail.com, ²hero.e.wijanto@gmail.com, ³yaya@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Keadaan cuaca yang tidak menentu dan ekstrim dapat menimbulkan bencana, sehingga diperlukan sebuah teknologi yang dapat mengetahui keadaan cuaca dengan cepat dan tepat dengan menggunakan alat yang dapat membantu manusia mendeteksi fenomena alam untuk memprediksi keadaan cuaca. Alat yang digunakan menggunakan pancaran gelombang radio atau yang lebih dikenal dengan sebutan *radar*. Salah satu yang dibutuhkan pada sistem radar yaitu penguat daya pada gelombang RF dengan daya yang dikeluarkan cukup besar.

Tugas akhir ini membuat sebuah *High Power Amplifier* (HPA) dimana pada blok diagram *radar* HPA merupakan salah satu bagian yang sangat dibutuhkan dalam sebuah sistem *radar* pada sistem *radar*, HPA merupakan komponen yang sangat krusial untuk menguatkan *power* yang nantinya diteruskan ke antena kemudian dipancarkan dengan cara meningkatkan level daya sinyal pada masukan di rentang frekuensi yang telah ditentukan sampai dengan level daya yang diinginkan pada keluarannya. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan penyepadan impedansi *single stub* pada sisi input dan *sisi output* menggunakan mikrostripline.

Tugas akhir ini didesain dan direalisasikan suatu HPA untuk implementasi *Radar* cuaca *C-Band* yang bekerja pada frekuensi 5,5-5,7 GHz. Beberapa pertimbangan utama dalam desain HPA diantaranya stabilitas (K), efisiensi, *gain*, bias DC, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *power input* dan *power output*. Komponen aktif yang digunakan dalam merancang HPA yaitu MIC GALI 2+. Perancangan dan simulasi HPA dilakukan dengan *software Advanced Design System* (ADS). Hasil simulasi HPA pada frekuensi 5,6 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.

Kata Kunci : Radar cuaca, Penguat Daya , C-band

Abstract

Uncertain weather condition and extreme could cause disaster , so that required a technologies that could be knowledge of weather with quickly and correctly by the use of a that can help a man detect natural phenomena to predict weather .An instrument used use sending out radio wave propagation or more known as radar. One who required in radar system that is amplifier the power on waves rf to the power issued large enough

This Final task makes a high power amplifiers (HPA) whereby on the block diagram radar hpa is one part which is very much needed in a system radar on a system radar , hpa is a component a crucial to strengthen power which will continued to antennae then emitted by raising the level of signal power in entries on frequencies as specified until with the level of the power desired in its output. The methodology that was used is by using matching impedance single stub in the sight of the input and output using mikrostripline.

The final task is actually designed for the implementation and realized a hpa weather radar c-band who works at the frequency of 5,5-5,7 ghz .Some major consideration in design hpa of them stability (k) , efficiency , the gain , dc bias , a standing wave voltage ratio (vswr) , power input and power output .Active component and used in designing hpa namely the mic dig for 2 + .The design and simulation software hpa performed with advanced design system (ads) .The results of the hpa simulation at the frequency of 5.6 ghz produce the gain

as much as 27,695 dB , as much as 61 % efficiency , vswr 1,016 input as much as , vswr 1.008 output as much as .Hpa measurement result at the frequency of 5.6 ghz produce the gain as much as 25,470 dB , vswr 1,131 input as much as , vswr 1,522 output as much as , efficiency of 39,15 % and bandwidth 200 Mhz . ~

Keywords: Weather Radar, Power Amplifier, C-band

1. Pendahuluan

Keadaan cuaca yang tidak menentu dan ekstrim dapat menimbulkan bencana, oleh karena itu dalam mengantisipasi hal tersebut dibutuhkan perkembangan teknologi komunikasi yang canggih dan cepat serta dapat menjangkau wilayah yang luas. Teknologi tersebut dinamakan radar yang merupakan pemantau cuaca yang paling efektif untuk jangkauan wilayah yang luas.

Sistem radar *High Power Amplifiers (HPA)* adalah bagian dari *front-end transmitter*, yang digunakan untuk memperkuat sinyal *input* untuk ditransmisikan [9]. HPA diperlukan karena jarak sinyal yang ditempuh dari *transmitter* ke *receiver* cukup jauh sehingga menimbulkan level daya yang berkurang akibat adanya pengaruh *interferensi*.

Penelitian sebelumnya mengenai HPA ini pernah disimulasikan dan direalisasikan *High Power Amplifier (HPA)* pada frekuensi 437,430 MHz untuk aplikasi *TTC Downlink Nano Satelit TEL-U SAT* dengan menggunakan komponen aktif transistor MRF555 pada simulasi penguat daya menggunakan *software Advance Design System (ADS 2011)* menghasilkan *gain* sebesar 28,400 dB, *VSWR_{in}* sebesar 1,291 dan *VSWR_{out}* sebesar 1,295. dari hasil pengukuran prototipe HPA pada frekuensi 437,430 MHz menghasilkan *gain* sebesar 23,01 dB, *VSWR_{in}* sebesar 2,126, *VSWR_{out}* sebesar 1,695 pada *bandwidth* 50 GHz dan penelitian dengan judul *Perancangan dan Realisasi Penguat Daya pada Frekuensi S-Band untuk Radar Pengawas Pantai* menggunakan komponen GALI 84+ menghasilkan keluaran 29,7 dBm, *VSWR_{in}* sebesar 1,476, *VSWR_{out}* sebesar 1,53, *return loss input* sebesar -14,318 dB dan *return loss output* 13,576 dB.

Tugas akhir ini didesain dan direalisasikan suatu HPA untuk implementasi *Radar cuaca C-Band* yang bekerja pada frekuensi 5,5-5,7 GHz. Beberapa pertimbangan utama dalam desain HPA diantaranya stabilitas (K), efisiensi, *gain*, bias DC, *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*, *power input* dan *power output*. Komponen aktif yang digunakan dalam merancang HPA yaitu MIC GALI 2+. Perancangan dan simulasi HPA dilakukan dengan *software Advanced Design System (ADS)*. Hasil simulasi HPA pada frekuensi 5,6 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.

2. Dasar Teori

2.1 Radar Cuaca

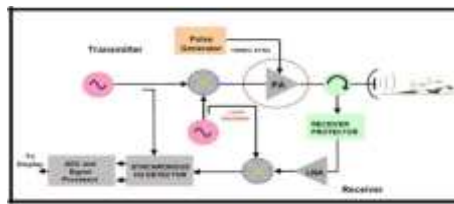
Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak dan informasi cuaca/hujan. Gelombang radio/sinyal yang dipancarkan dari suatu benda dapat ditangkap oleh radar kemudian dianalisa untuk mengetahui lokasi dan bahkan jenis benda tersebut. [14]

Radar cuaca memiliki kemampuan untuk mendeteksi intensitas curah hujan dan cuaca buruk, misalnya badai. Radar cuaca memiliki fungsi untuk mendeteksi kondisi cuaca secara kuantitatif, mengetahui letaknya serta mengikuti pegerakannya, mendeteksi aktifitas cuaca yang hebat dan memperkirakan posisi dan intensitasnya, mengestimasi tipe-tipe dari cuaca (hujan, salju, hujan es), menganalisa struktur badai dan potensinya, melakukan prakiraan cuaca jangka pendek (sampai dengan 6 jam kedepan) dan menyediakan data untuk model hydrological. [4]

2.1.1 Diagram Blok Radar

Sistem radar terbagi atas dua bagian utama yaitu *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (Penerima). Hasil deteksi radar akan ditampilkan oleh *display* unit yang mengolah sinyal yang diterima dari bagian *receiver* menjadi suatu gambar yang dapat di interpretasikan dan dimanfaatkan

untuk beragam kepentingan. Salah satu bagian dari sistem radar adalah *High Power Amplifier* (HPA) yang berfungsi untuk memperkuat sinyal *input* untuk ditransmisikan [1][10].

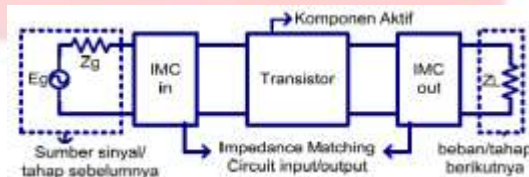


Gambar 1. Blok Diagram Filter

Power amplifier merupakan penguat daya pada gelombang RF dengan daya yang dikeluarkan cukup besar dengan fungsi meningkatkan level daya sinyal pada masukan di rentang frekuensi yang telah ditentukan sampai dengan level daya yang diinginkan keluarannya [3][7][8]

2.2 Penguat Daya

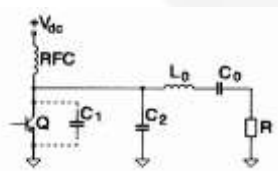
Penguat daya berfungsi untuk meningkatkan level daya sinyal pada masukan di rentang frekuensi yang telah di tentukan sampai dengan level daya yang di inginkan pada keluarannya [3] [7][8]. Penguat menerima daya *inputan* lalu daya tersebut diperkuat untuk dapat mengoperasikan suatu perangkat sehingga daya yang ditransmisikan bisa diterima pada sisi yang lain (*receiver*) dengan maksimal.[7][12].



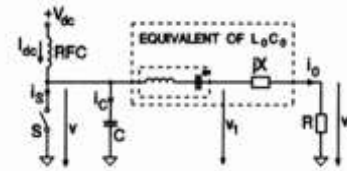
Gambar 2. Penguat Daya

2.2.1 Penguat Daya Kelas E

Penguat kelas E adalah penguat daya yang memiliki komponen aktif berperan sebagai *on-off switch*. Penguat daya kelas E terdiri atas *Zero-Voltage Switching* (ZVS) dan *Zero-Current Switching* (ZCS), penguat daya kelas E memiliki efisiensi yang tinggi dengan rangkaian resonansi LC. Penguat daya kelas E memiliki efisiensi tinggi, sehingga penguat ini cocok digunakan pada aplikasi frekuensi radio (*RF Amplifier*).



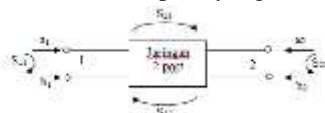
Gambar 3 Sirkuit Sederhana Kelas E



Gambar 4. Sirkuit Ideal Ekuivalen Kelas E

2.3 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 memiliki dua kutub yaitu masukan dan keluaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. [8]



Gambar 5. Rangkaian dua Port dan Parameter S

Gambar 5 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 .

2.4 Persamaan Penguat Daya

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 P_{AVS} dan daya maksimum yang dapat dikirim dari port output untuk terhubung dengan beban disebut P_{AVN} . [8] Penguatan Daya Transduser (*Transducer Power Gain*):

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

Penguatan transduser akan maksimal jika $\Gamma_{in} = \Gamma_s^*$, $\Gamma_{out} = \Gamma_L^*$ maka ketiga *gain* akan sama menjadi sama $G_T = G_A = G_P$.

Dari syarat kestabilan, maka akan terdefinisi *Maximum Stable Gain (MSG)*, yaitu penguatan maksimum yang dicapai pada saat $K = 1$

$$G_{MSG} = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \tag{2.6}$$

Koefisien pantul sumber dan beban dalam kondisi *Matched simultaneously*, masing-masing dinyatakan sebagai :

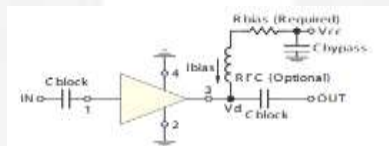
$$\Gamma_{LM} = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2} \tag{2.7}$$

$$\Gamma_{SM} = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1}$$

Dimana : $B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$, $B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2$ (2.8)

2.5 Komponen Aktif dan Rangkaian Bias

MIC merupakan 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 MMIC GALI 2+, substrat yang digunakan merupakan bahan semikonduktor dan beberapa lapisan logam, dielektrik dan resitif film yang digunakan. [6] [12]



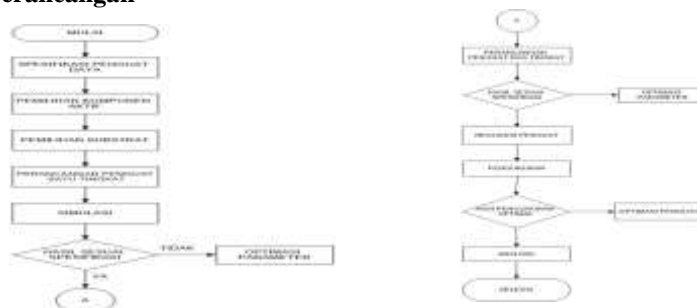
Gambar 6. Rangkaian Prategangan

2.6 Penyepadan Impedansi

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

3. Perancangan dan Sistem

3.1 Diagram Alir Perancangan



Gambar 7. Diagram Alir Perancangan dan Realisasi HPA

3.2 Spesifikasi Perancangan

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

- a) Frekuensi kerja : 5.5 GHz – 5.7 GHz
- b) Frekuensi tengah : 5.6 GHz
- c) Daya *input* : 5 dBm
- d) Daya *Output* : 0,5 Watt
- e) Penguatan satu tingkat : ≥ 10 dB
- f) Penguatan dua tingkat : ≥ 20 dB
- g) Impedansi : 50 Ω
- h) VSWR : ≤ 2
- i) *Return Loss Input* : ≤ -10 dB
- j) *Return Loss Output* : ≤ -10 dB

3.3 Pemilihan Substrat

Pada tugas akhir ini untuk merancang penguat daya pada frekuensi 5,5 - 5,7 GHz, substrat yang digunakan adalah substrat dengan bahan *FR4*. Spesifikasi *FR4* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Substrat FR4

Parameter	Nilai
Tebal Konduktor (t)	0.035 mm
Tinggi Substrat (h)	1 mm
Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	4,7 mm
Faktor Disipasi ($\tan \delta$)	0,025

3.4 Perhitungan Rangkaian Penguat dan Rangkaian DC Bias

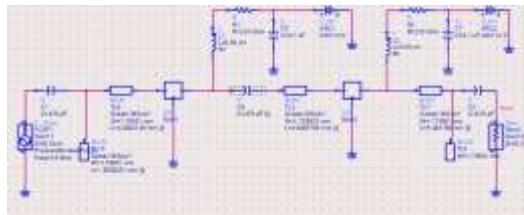
Pada rangkaian penguat, nilai C ditentukan dengan persamaan (2.16), sehingga didapatkan nilai C sebesar 5,6841 pF, sedangkan nilai L_{RFC} ditentukan dengan persamaan (2.18) sehingga didapatkan nilai $L_{RFC} = 14,21$ nH namun karena komponen yang sesuai dengan perhitungan matematis tidak tersedia di pasaran maka digunakan komponen yang ada dipasaran yaitu C sebesar 470 pF dan L_{RFC} sebesar 0,56 uH, kemudian untuk nilai kapasitor *bypass* (C_b) sudah terdapat di datasheet sebesar 0,1 μ F dan nilai VDD pada rangkaian DC bias ini sebesar 12 Volt, temperature $+25^{\circ}$ Icc sebesar 40mA

Tabel 2. Dimensi Rangkaian

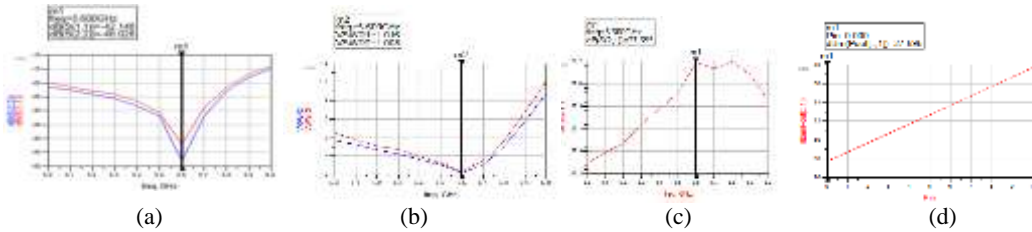
Parameter	Komponen	Simbol	Nilai
Rangkaian Penguat	Kapasitor DC <i>Block</i>	C_B	5,684 pF
	Integrated Circuit	MIC	GALI 2+
Rangkaian DC Bias	Kapasitor <i>Bypass</i>	C_b	0,1 μ F
	Resistor	R	215 Ω
	Induktor	L	14,21 nH
	Catu Daya DC	V_{DD}	12 Volt
Penyepadan Impedansi	Lebar <i>Stub Input</i>	W_1	1,789 mm
	Panjang <i>Stub Input</i>	L_{IN}	0,914 mm
	Panjang Mikrostrip <i>Input</i>	d_1	3,973 mm
	Lebar <i>Stub Output</i>	W_1	1,789 mm
	Panjang <i>Stub Output</i>	L_{OUT}	7,545 mm
	Panjang Mikrostrip <i>Output</i>	d_{OUT}	6,231 mm

3.5 Perancangan Penguat

Setelah menyelesaikan dan mendapatkan hasil pada simulasi desain satu tingkat maka langkah berikutnya adalah mendesain rangkaian dua tingkat, untuk membuat rangkaian penguat daya secara keseluruhan hasil desain dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skematik Dua Tingkat

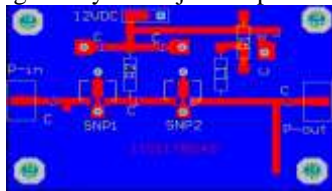


Gambar 9. Hasil Simulasi Dua Tingkat (a) return loss (b) VSWR (c) Gain (d) Power Out

Hasil simulasi desain dua tingkat didapatkan nilai parameter *return loss input* (S11) sebesar -42,148 dB, *return loss output* (S22) sebesar -48,028 dB, *VSWR_{in}* sebesar 1,016, *VSWR_{Out}* sebesar 1,008 dan gain 27,695 dB dan power output sebesar 27,695 dBm. Hasil optimasi tersebut telah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan untuk perancangan penguat daya pada frekuensi 5,5-5,7 GHz maka dapat dilakukan proses fabrikasi.

3.6 Perancangan Dan Realisasi

Setelah hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi maka langkah selanjutnya adalah melakukan realisasi penguat daya ditunjukkan pada Gambar 10

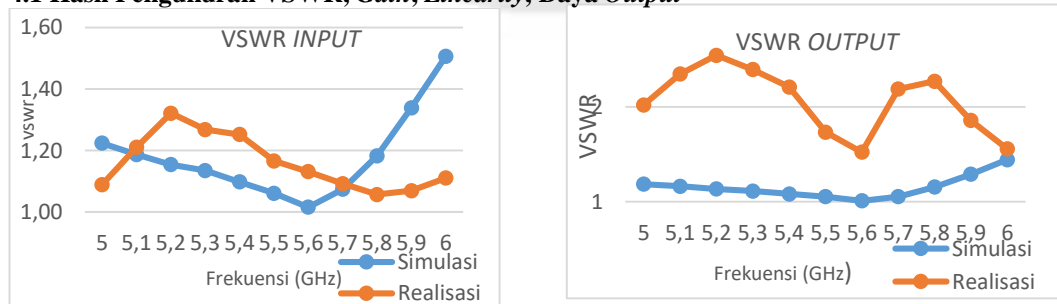


(a) (b)
Gambar 10. Realisasi Penguat (a)Desain Altium (b) Realisasi

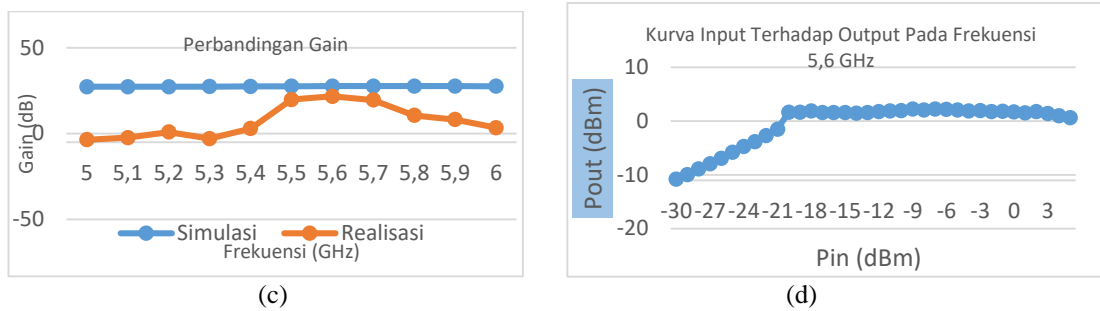
4. Pengukuran Dan Analisis

Pengukuran dilakukan bertujuan untuk mengukur beberapa parameter penguat tersebut seperti *power output*, penguatan, VSWR, dan efisiensi dari HPA yang telah direalisasikan. Hasil dari pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil simulasi dan realisasi

4.1 Hasil Pengukuran VSWR, Gain, Linearity, Daya Output



(a) (b)



Gambar 11. Perbandingan Simulasi dan Realisasi (a) VSWR *input* (b) VSWR *Output* (c) *Gain* (d) *Linearity*

Gain hasil simulasi sebesar 27,695 dB dan hasil pengukuran realisasi sebesar 25,470 dB terdapat selisih antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran realisasi sebesar 2,225 dB. Hasil simulasi dan pengukuran realisasi sudah sesuai dengan spesifikasi awal yaitu sebesar ≥ 20 dB.

VSWR *input* hasil simulasi didapatkan nilai sebesar 1,016 dan hasil pengukuran realisasi didapatkan nilai VSWR *input* 1,131. Hal ini menunjukkan hasil simulasi dan hasil pengukuran realisasi sudah sesuai dengan hasil spesifikasi awal yaitu ≤ 2 .

VSWR *output* hasil simulasi didapatkan nilai sebesar 1,008 dan hasil pengukuran realisasi didapatkan nilai VSWR *output* sebesar 1,522. Hal ini menunjukkan hasil simulasi dan hasil pengukuran realisasi sudah sesuai dengan hasil spesifikasi awal yaitu ≤ 2 .

Hasil pengukuran kurva *input* terhadap *output* pada frekuensi 5,6 GHz menunjukkan bahwa hasil yang didapatkan masih linearan dari *input* -30 dBm sampai dengan -17 dBm, lebih dari -19 dBm penguat daya yang direalisasikan sudah tidak dapat lagi menguatkan yang disebut sebagai 1 dB *Compression*.

Daya *Output* hasil simulasi didapatkan nilai sebesar 27,442 dBm dan daya *output* hasil pengukuran realisasi penguat daya didapatkan sebesar 1,72 dBm. Hasil pengukuran realisasi penguat daya belum sesuai dengan spesifikasi awal yaitu 0,5 watt atau 27 dBm.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil simulasi, realisasi sampai dengan pengujian power amplifier adalah :

1. Hasil realisasi penguat daya dapat bekerja pada frekuensi kerja 5,6 GHz dan bandwidth 200 MHz, sehingga penguat daya dapat bekerja pada radar cuaca C-Band.
2. Daya input yang diberikan pada power amplifier sebesar -20 dBm dan daya output yang dihasilkan sebesar 1,72 dBm dan redaman kabel 2,98 dB, sehingga mendapatkan penguatannya sebesar 25,470 dB.
3. Hasil realisasi penguat daya diperoleh nilai VSWR *input* sebesar 1,131 dan VSWR *output* sebesar 1,522.
4. Hasil Realisasi penguat daya menunjukkan bahwa penguat daya tingkat kelinearannya baik dan linear dari level daya input -30 dBm sampai -17 dBm
5. Power output belum sesuai dengan spesifikasi awal perancangan.
6. Hasil realisasi penguat daya memiliki efisiensi sebesar 39,15 %. Hasil tersebut tidak sesuai dengan spesifikasi penguat kelas E

5.2. Saran

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

1. Sebelum melakukan perancangan sebaiknya dilakukan pencarian referensi atau sumber yang lebih banyak, sehingga dapat menghasilkan penguat yang maksimal.
2. Menguasai software Advance Design System (ADS) agar hasil yang didapatkan lebih maksimal.
3. Pada rangkaian biasing juga harus menggunakan induktor khusus yang bekerja pada frekuensi tinggi.
4. Penggunaan komponennya harus original supaya menghasilkan penguat yang maksimal sesuai dengan perancangan dan menghasilkan faktor kualitas yang bagus.
5. Proses fabrikasi penguat daya sebaiknya dilakukan lebih teliti dan lebih presisi agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi

Daftar Pustaka:

- [1] Albulet, Mihai.” RF Power Amplifiers”,Library of Congress Cataloging-in Publication Data, United States Of America., 2001.
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika “ Spesifikasi Teknis Pembangunan Sistem Radar Cuaca C-Band”., 2014.
- [3] Budi, Agus Sri, dkk. “Weather Radar”. Depok : Universitas Indonesia. 2014.
- [4] Fulton, Caleb,dkk “Dual-Polarization Challenges in Weather Radar Requirements for Multifunction Phased Array Radar”.The University of Oklahoma Advanced Radar Research Center, Norman ,OK, fulton/shaya.karimkashi/guzhangl@ou.edu. MIT Lincoln Laboratories, Lexington, MA,herd@ll.mit.edu. National Severe Storms Laboratory, Norman,OK, dusan.zrnic@noaa.gov,2013
- [5] Malvino, Albert and David Bates “Electronic Principles”, Eight Edition, New York.,2016
- [6] Mini-Circuit Datasheet. Monolithic Amplifier GALI 2+. North America.
- [7] Paolo colantino and Ernesto, High Efficiency RF and Microwave Solid State Power Amplifier , United Kingdom: Jhon Wiley and Sons.Ltd.,2009
- [8] Pozar, David M. Microwave Engineering. 4 th Edition. John Wiley & Sons 2011
- [9] Sahu, Shridhar R and Dr. A. Y Deshkmukh, “Design Of High Efficiency Two Stage Power Amplifier 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
- [10] Surjono.Herman Dwi,Ph.D, “Elektronika Analog”.Jember,2008
- [11] Penn. Jhon E, “Monolitchic Microwave Integrated Circuit (MMIC) Broadband Power Amplifiers”. Army Research Laboratory, Adelphi, 2012
- [12] Politeknik Bosowa : “Elektronika Analog (03 12 EAN T)”, Makassar, 2015
- [13] Walker, John.L.B “Handbook of RF and Microwave Power Amplifiers”. The Cambridge RF and Microwave Engineering series, Integra Technologies.Inc,Cambridge University, 2012
- [14] Wardoyo, Eko.’Investigasi Dugaan Interferensi Frekuensi Radar Cuaca BMKG Study Kasus Radar Cuaca BMKG Baron VHDD 350 C Semarang dan DWSR 250 Tangerang”