JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 6, No. 2, Desember 2021, Hal. 215-224
Terakreditasi "**Peringkat 3**" oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v6.i2.2021.215-224
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Realisasi Penguat 3 GHz Menggunakan Penyesuai Impedansi *Stub* Tunggal Paralel Ujung Terbuka

Priyanka Alleeka Amarissa[1#], Sutrisno[2], Hanny Madiawati[3], Yaya Sulaeman[4]
[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung 40559, Indonesia
[4]Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Sangkuriang Komplek LIPI Gd. 20, Bandung 40135, Indonesia
[#]priyanka.alleeka.tkom18@polban.ac.id

Abstrak

Penguat adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengatur dan memperkuat sinyal-sinyal *radio frequency* (RF) pada frekuensi tertentu dan memiliki level daya keluaran yang relatif kecil. Alat ini digunakan untuk mendorong daya ke rangkaian penguat daya tinggi agar antena pemancar dapat mengirimkan sinyal informasi dengan jarak jangkauan yang jauh sehingga masih dapat diterima dengan baik oleh sisi penerima. Pada penelitian ini, telah berhasil direalisasikan penguat 3 GHz dengan metoda penyesuai impedansi *stub* tunggal paralel ujung terbuka dengan nilai penguatan 7,31 dB dengan level daya masukan yang diberikan -30 dBm dan diperoleh level daya keluaran sebesar -22,69 dB, serta redaman kabel 1,5 dB sehingga penguatan total 8,81 dB. Nilai *return loss input* 25,4 dB, *return loss output* 19,8 dB, VSWR *input* 1,11, dan VSWR *output* 1,22. Hasil penelitian menunjukkan nilai penguatan tidak sesuai dengan spesifikasi perancangan dimana terjadi penurunan sebesar 6,404 dB. Hal ini disebabkan oleh faktor toleransi komponen dan kualitas komponen yang digunakan.

Kata kunci: penguat, *return loss*, *stub* tunggal paralel ujung terbuka

Abstract

Amplifier is a device that functions to regulate and amplify radio frequency (RF) signals at a certain frequency and has a relatively small output power level. This tool is used to push power to a high power amplifier circuit so that the transmitting antenna can transmit information signals with a long range so that it can still be received well by the receiving side. In this study, a 3 GHz amplifier has been successfully realized with an open end parallel single stub impedance adjustment method with a gain value of 7.31 dB with a given input power level of -30 dBm and an output power level of -22.69 dB, and cable attenuation have been obtained 1.5 dB, so that the total gain is 8.81 dB. The value of the input return loss is 25.4 dB, the output return loss is 19.8 dB, the input VSWR is 1.11, and the output VSWR is 1.22. The results showed that the gain value was not in accordance with the design specifications where there was a decrease of 6.404 dB. This is caused by the tolerance factor of the components and the quality of the components used.

Keywords: *amplifier, return loss, single stub parallel open circuit*

I. PENDAHULUAN

Rangkaian penguat daya RF secara umum tersusun dari dua blok rangkaian utama yaitu blok penguat dan blok penyesuai impedansi. Blok penguat terdiri dari 3 (tiga) rangkaian penguatan yaitu *buffer*, *driver*, dan final [1]. Blok penguat ini berfungsi untuk memperkuat sinyal sebelum dipancarkan oleh antena pemancar pada sisi pengirim. Blok penyesuai impedansi pada rangkaian penguat berfungsi untuk menyesuaikan impedansi antara rangkaian masukan dan keluaran penguat dengan saluran transmisi untuk memperoleh sistem yang sesuai (*match*). Jadi pada sistem pengirim dan penerima, dibutuhkan rangkaian penguatan awal untuk mendorong daya ke rangkaian penguat daya tinggi.

Ada beberapa metode dan teknik penyesuai impedansi untuk merancang suatu penguat. Pada penelitian sebelumnya sudah banyak yang berhasil

Diterima: 9 Agustus 2021; Direvisi: 2 Desember 2021; Disetujui: 10 Desember 2021
JTERA, Vol. 6, No. 2, Desember 2021

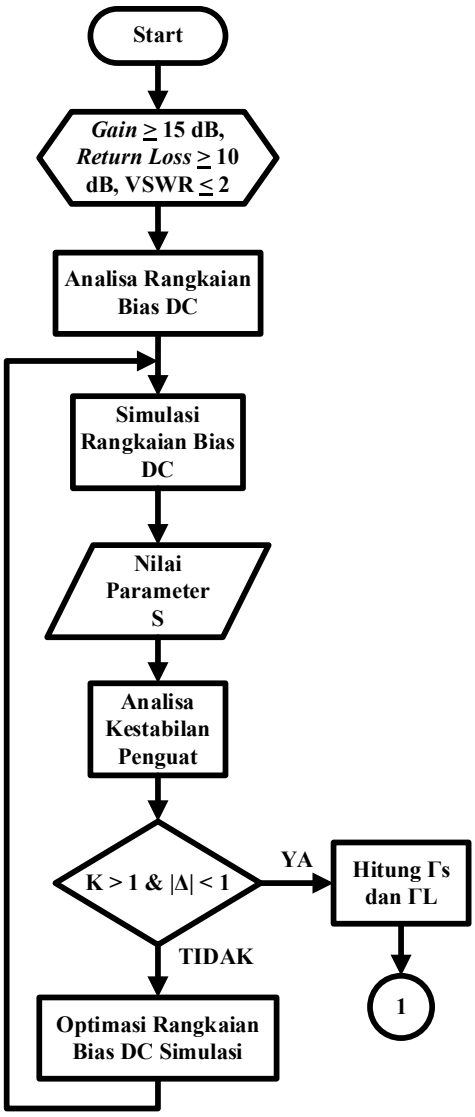
© 2021 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

merancang dan merealisasikan penguat. Penguat dua tingkat pada frekuensi 5,6 GHz telah berhasil dirancang untuk radar cuaca menggunakan MMIC Gali-2+ dan PCB bahan FR4. Teknik penyesuai impedansi menggunakan *single stub paralel open circuit* dan direalisasikan dengan saluran mikrostrip [2]. Penguat dua tingkat untuk radar *coastal* pada frekuensi 2,9 GHz menggunakan MMIC Gali-84+ dan PCB bahan *rogers duroid* 5870 juga telah berhasil dirancang dan direalisasikan. Teknik penyesuai impedansi menggunakan *single stub* dan direalisasikan dengan saluran mikrostrip [3]. Penguat daya menggunakan MMIC dengan rangkaian *linearizer* pada frekuensi tinggi 5,2 GHz dan saluran transmisi menggunakan teknologi struktur *coplanar waveguide* juga telah dirancang pada [4]. Kemudian, penguat daya dua tingkat menggunakan teknik penyesuai impedansi *lumped element* dan komponen yang digunakan transistor jenis pHEMT pada frekuensi 5,8 GHz berhasil dirancang penelitian [5]. Terakhir, penguat daya yang sangat linear dengan transistor tipe GaN HEMT yang bekerja pada rentang frekuensi 1 MHz sampai 3,4 GHz menggunakan teknik penyesuai impedansi *lumped element* juga telah berhasil dirancang oleh [6].

Pada penelitian ini, penguat yang dirancang memiliki perbedaan dengan beberapa penelitian yang telah dibuat sebelumnya yaitu dari spesifikasi perancangan dan teknik penyesuai impedansi yang digunakan. Penelitian ini menggunakan metode *single stub* sebagai penyesuai impedansi. Keuntungan menggunakan metode *single stub* ini karena memiliki sifat yang dapat me-*matching*-kan impedansi beban dengan nilai yang ditetapkan oleh perancang. Pada perancangan ini ditetapkan impedansi 50 ohm sehingga dimensi ukuran PCB yang dirancang akan semakin kecil jika dibandingkan dengan transformator *lambda* per empat. Selain itu, penguat akan direalisasikan pada saluran mikrostrip di mana lebih mudah digunakan *stub* ujung terbuka karena jika hubung singkat akan sulit membuat saluran ke bidang tanah. Dalam makalah ini akan dibahas mengenai perancangan dan realisasi penguat 3 GHz menggunakan penyesuai impedansi *stub* tunggal paralel ujung terbuka yang dapat diaplikasikan untuk S-*Band* karena S-*Band* beroperasi pada rentang frekuensi 2 sampai 4 GHz. Penguat yang dirancang diharapkan mampu bekerja pada frekuensi 3 GHz dengan *gain* lebih dari 15 dB, faktor kestabilan penguat lebih dari 1, *return loss input* lebih dari 10 dB, *return loss output* lebih dari 10 dB, VSWR *input* kurang dari 2, dan VSWR *output* kurang dari 2.

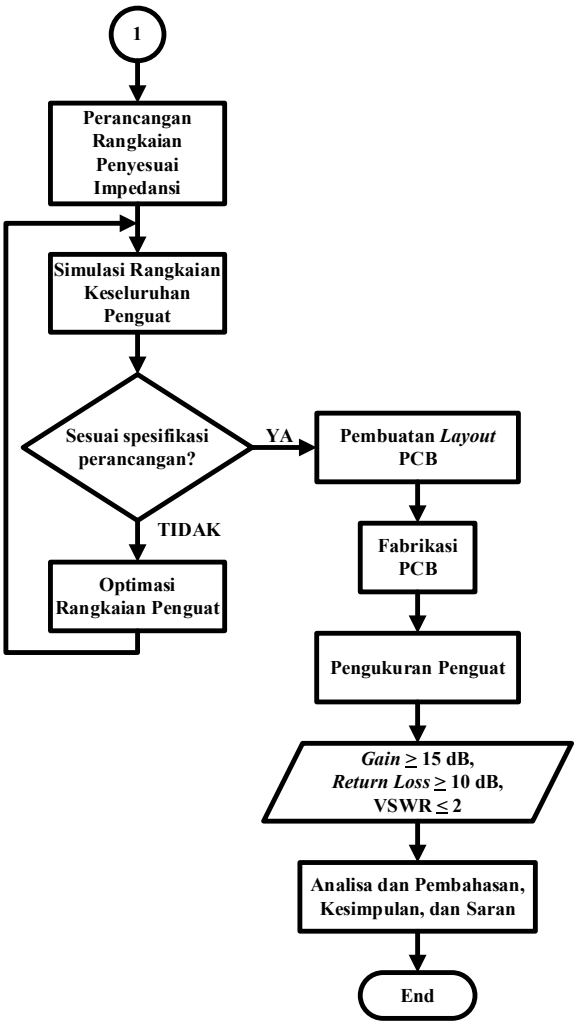
II. METODE PENELITIAN

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir perancangan penguat

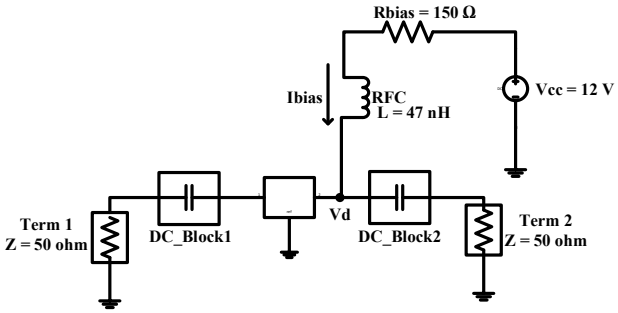
Penguat pada frekuensi 3 GHz terlebih dahulu disimulasikan pada perangkat lunak ADS 2017, tujuannya yaitu untuk memperoleh gambaran dari apa yang dirancang. Penguat dirancang menggunakan komponen aktif MMIC GALI-51+ dengan komponen pasif R, L, dan C. Teknik penyesuai impedansi yang digunakan yaitu *stub* tunggal ujung terbuka dengan saluran mikrostrip sebagai saluran transmisinya. Penguat direalisasikan dicetak di atas PCB dengan bahan substrat FR4 *Epoxy* dan komponen yang digunakan yaitu jenis *Surface Mounting Devices* (SMD).



Gambar 2. Diagram alir perancangan penguat (lanjutan)

A. Rangkaian Prategangan

Rangkaian prategangan pada perancangan penguat sangat penting karena jika kebutuhan *direct current* (DC) dari komponen aktif yang digunakan tidak terpenuhi maka transistor tidak akan bekerja secara maksimal. Salah satu acuan untuk merancang rangkaian bias DC selain teori adalah *datasheet* dari komponen aktif yang akan digunakan. Dari *datasheet* MMIC GALI-51+ [6] diketahui jika tegangan DC yang diberikan 12 V dan R_{bias} yang digunakan 113 ohm. Ketika disimulasikan, diperoleh nilai I_{bias} yang tidak memenuhi *recommended operating current* MMIC tersebut di mana syaratnya pada 65 mA sampai 85 mA, sehingga untuk memperoleh I_{bias} yang direkomendasikan dan untuk mempermudah ketika pencarian komponen ketika realisasi maka besar R_{bias} di-*tuning* menjadi 150 ohm.



Gambar 3. Rangkaian skematik prategangan penguat

Gambar 3 merupakan rangkaian skematik prategangan penguat yang disimulasikan pada perangkat lunak ADS 2017 yang akan menghasilkan nilai parameter S, faktor kestabilan penguat, dan *maximum available gain*.

B. DC Block dan DC Feed

DC *Block* dan DC *Feed* pada rangkaian penguat sangat penting karena kapasitor dan induktor ini berperan agar penguat yang dirancang tetap stabil. DC *block* artinya kapasitor akan memblok sinyal DC agar sinyal DC tidak keluar dari rangkaian prategangan dan menyalurkan sinyal AC sedangkan DC *Feed* artinya induktor akan memblok sinyal AC agar sinyal AC tidak masuk ke rangkaian prategangan dan menyalurkan sinyal DC. Pada frekuensi tinggi, terdapat syarat untuk nilai reaktansi induktif yaitu $X_L > 500$ ohm dan nilai reaktansi kapasitif yaitu $X_C < 2$ ohm [7]. Berikut adalah persamaan nya.

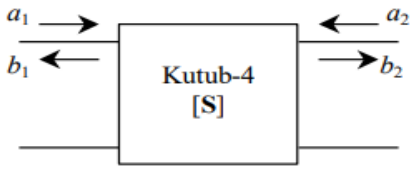
$$X_L = 2\pi f L \quad (1)$$

$$Xc = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2)$$

Dari persamaan (1) dan persamaan (2) di atas diperoleh reaktansi induktif sebesar 885,9 **Ω** dengan nilai L sebesar 47 nH dan reaktansi kapasitif diperoleh sebesar 0,53 **Ω** dengan nilai C sebesar 100 pF.

C. Parameter S (Scattering)

Parameter S adalah bagian dari parameter hamburan dimana pada pengukuran frekuensi tinggi parameter S diukur menggunakan konsep magnitudo dan fasa dari gelombang jalan yaitu gelombang datang dan gelombang pantul. Parameter S untuk rangkaian dua *port* terdiri dari S_{11}, S_{12}, S_{21}, dan S_{22}.



Gambar 4. Parameter S untuk rangkaian dua *port*

Pada Gambar 4, parameter S dapat diukur pada keadaan *match* (sesuai) dan tidak lagi hubung singkat atau hubung terbuka. Dengan keadaan sesuai, pemakaian saluran transmisi menjadi tidak masalah, karena selama beban sesuai dengan saluran maka pada jarak berapapun impedansi itu tetap atau tidak berubah.

D. Faktor Kestabilan Penguat

Kestabilan penguat merupakan hal pertama yang harus diperhatikan ketika perancang memilih sebuah komponen aktif atau transistor sebab syarat kestabilan untuk penguat sifatnya harus stabil mutlak (*absolutely stable*) di mana pada kondisi ini nilai K > 1 dan $|\Delta| < 1$. Untuk menghitung nilai kestabilan (K) dan determinasi parameter S (Δ) menggunakan persamaan (3) dan persamaan (4) dibawah ini.

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} > 1 \quad (3)$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (4)$$

E. Maximum Available Gain (MAG)

Maximum available gain merupakan batas maksimum penguatan yang dapat dihasilkan dari transistor pada frekuensi tertentu. Perancang tidak dapat merancang penguat dengan *gain* yang lebih besar dari *gain* maksimum transistor. Setelah penguat dalam keadaan stabil mutlak, dapat diketahui dari hasil simulasi dan dihitung *maximum available gain*-nya dengan menggunakan persamaan (5) berikut.

$$G_{pmax} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}\left[K - \sqrt{K^2 - 1}\right] \quad (5)$$

F. Penyesuai Impedansi

Penyesuai impedansi dalam suatu rangkaian penguat terdapat pada bagian *input* dan *output*. Fungsi rangkaian penyesuai impedansi yaitu untuk menyesuaikan impedansi saluran transmisi dengan saluran impedansi *input* dan saluran impedansi *output* penguat agar memperoleh sistem yang sesuai (*match*), artinya terjadi transfer daya maksimum. Teknik penyesuai impedansi *single stub paralel open circuit* dilakukan dengan cara grafis menggunakan *smith chart*. Sebelum memplot pada *smith chart*, diperlukan nilai koefisien pantul sisi sumber dan koefisien pantul sisi beban untuk disimulasikan pada perangkat lunak ADS 2017 menggunakan persamaan (6) dan persamaan (7) dengan persamaan (8), persamaan (9), persamaan (10), dan persamaan (11) dapat dihitung dengan substitusi nilai-nilai paramater S hasil simulasi.

Tabel 1. Spesifikasi PCB FR4 *Epoxy*

Parameter	Nilai
Konstanta dielektrik (ε_r)	4,7
Ketebalan substrat (h)	1,6 mm
Ketebalan konduktor (T)	0,05 mm
Impedansi karakteristik Z_0	50 ohm

$$\Gamma_{sm} = C_s * \left[B_s \pm \sqrt{\frac{B_s^2 - 4|C_S|^2}{2|C_S|^2}}\right] \quad (6)$$

$$\Gamma_{Lm} = C_L * \left[B_L \pm \sqrt{\frac{B_L^2 - 4|C_L|^2}{2|C_L|^2}}\right] \quad (7)$$

dimana

$$C_S = S_{11} - \Delta S_{22}^* \quad (8)$$
$$C_s^* = S_{11}^* - \Delta^* S_{22}$$

$$B_s = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \quad (9)$$

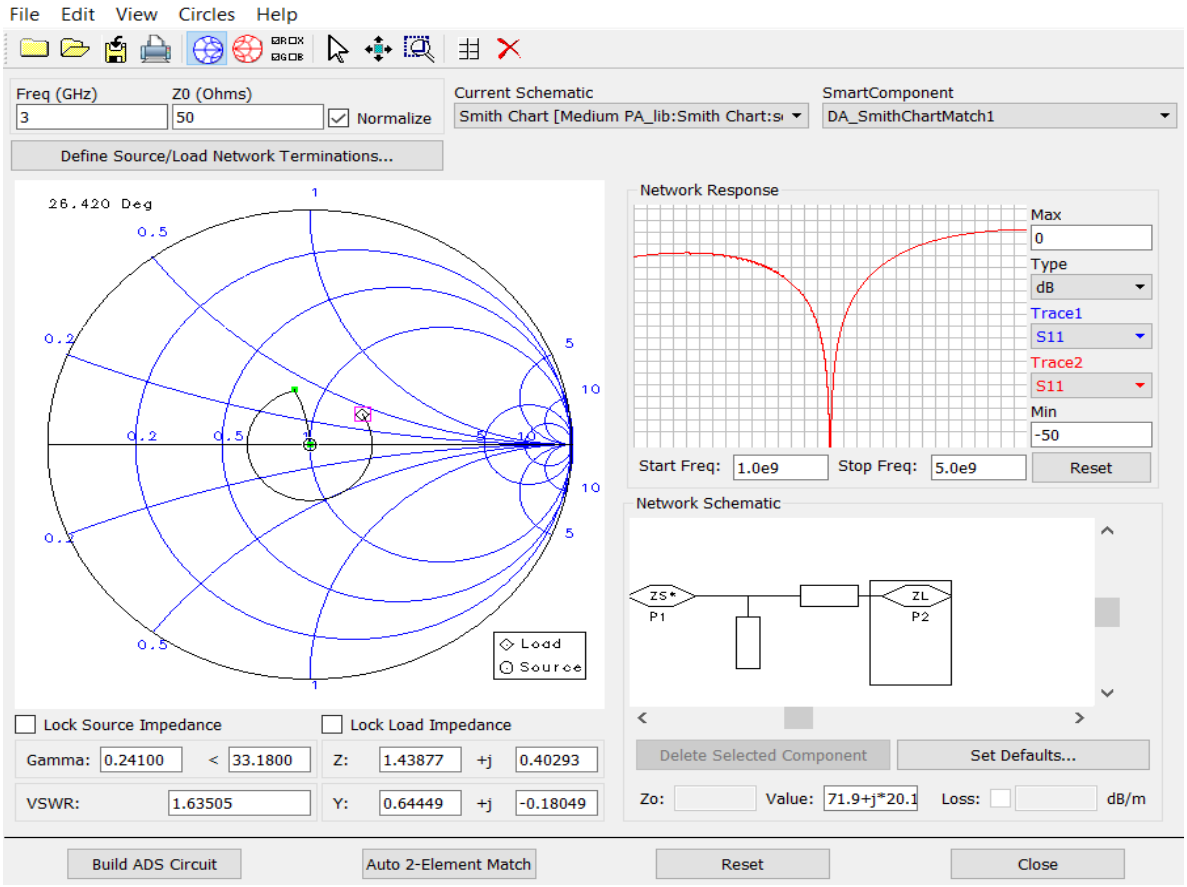
$$C_L = S_{22} - \Delta S_{11}^* \quad (10)$$
$$C_s^* = S_{22}^* - \Delta^* S_{11}$$

$$B_L = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 \quad (11)$$

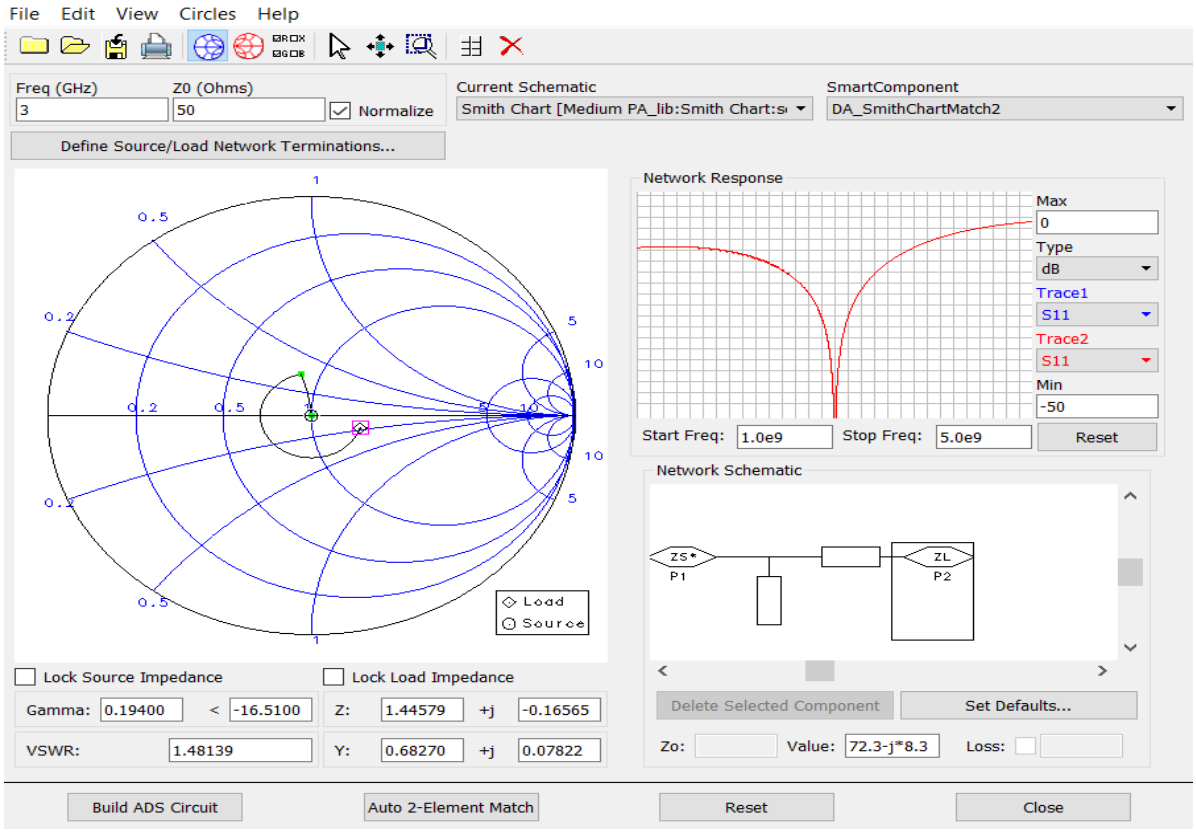
Dari hasil perhitungan persamaan (6) diperoleh nilai koefisien pantul sisi sumber $0{,}241 \angle 33.18°$ dan nilai koefisien pantul sisi beban $0{,}194 \angle -16.51°$. Nilai-nilai tersebut akan di-*plot* pada *smith chart* menggunakan perangkat lunak ADS 2017 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

G. Saluran Mikrostrip

Saluran mikrostip merupakan saluran transmisi yang bentuk fisiknya kaku dan terdiri dari dua konduktor yaitu satu konduktor berlaku sebagai saluran dan konduktor lain sebagai bidang tanah yang dipisahkan oleh substrat yang memiliki konstanta dielektrik tertentu tergantung dari merk dagang. Penguat yang dirancang dan direalisasikan menggunakan PCB dengan substrat FR4 *Epoxy* yang memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 1 sebagai berikut.



Gambar 5. Penyesuai impedansi sisi sumber pada ADS 2017



Gambar 6. Penyesuai impedansi sisi beban pada ADS 2017

Untuk keperluan perancangan, jika diketahui impedansi karakteristik (Z_0) dan konstanta dielektrik (ε_r), lebar saluran mikrostrip (W) dan panjang gelombang (λ) dapat diketahui dengan menghitung persamaan-persamaan berikut.

$$\frac{W}{h}\begin{cases}\dfrac{8e^A}{e^{2A}-2} & \frac{W}{h}<2\\ \dfrac{2}{\pi}\left[B-1-\ln(2B-1)+\dfrac{\varepsilon_r-1}{2\varepsilon_r}\left(\ln(B-1)+0{,}39-\dfrac{0{,}61}{\varepsilon_r}\right)\right] & \frac{W}{h}>2\end{cases} \quad (12)$$

dengan

$$A=\frac{Z_0}{60}\sqrt{\frac{\varepsilon_r+1}{2}}+\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_{r+1}}\left(0{,}23+\frac{0{,}11}{\varepsilon_r}\right) \quad (13)$$

$$B=\frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (14)$$

Konstanta dielektrik efektif

$$\varepsilon_{eff}\begin{cases}\dfrac{\varepsilon_r+1}{2}+\dfrac{\varepsilon_r-1}{2}\left(\left[1+\dfrac{12h}{W}\right]^{\frac{-1}{2}}+0{,}04\left[1-\dfrac{W}{h}\right]^2\right) & \frac{w}{h}\le 1\\ \dfrac{\varepsilon_r+1}{2}+\dfrac{\varepsilon_r-1}{2}\left[1+\dfrac{12h}{W}\right]^{\frac{-1}{2}} & \frac{W}{h}>1\end{cases} \quad (15)$$

$$\lambda_g=\frac{C}{f\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (16)$$

Untuk menghitung lebar mikrostrip (W) digunakan persamaan (12) karena $\frac{W}{h} < 2$ maka dicari terlebih dahulu persamaan (14) untuk memperoleh nilai A. Kemudian untuk mencari nilai panjang gelombang saluran mikrostrip menggunakan persamaan (15), karena $\frac{W}{h} > 1$ sehingga diperoleh panjang gelombang sebesar 53,29 mm. Dari hasil perhitungan diperoleh lebar mikrostrip sebesar 2,91 mm sedangkan pada simulasi diperoleh 2,88 mm. Hal ini dikarenakan perbedaan penggunaan angka dibelakang koma di mana pada simulasi perhitungan akan lebih teliti dan hasil lebih akurat dibandingkan perhitungan manual. Penguat yang dirancang dan direalisasikan diharapkan memiliki spesifikasi seperti Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi perancangan penguat

Parameter	Nilai
Frekuensi	3 GHz
Kestabilan Penguat	> 1
Gain	≥ 15 dB
Return Loss Input	≥ 10 dB
Return Loss Output	≥ 10 dB
VSWR *Input*	≤ 2
VSWR *Output*	≤ 2

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi

Simulasi rangkaian penguat dilakukan menggunakan perangkat lunak ADS 2017. Frekuensi diatur dari *start* frekuensi di 2 GHz hingga *stop* frekuensi di 4 GHz agar diperoleh *center* frekuensi di 3 GHz.

Data hasil simulasi pada Tabel 3 dan Tabel 4 diperoleh dari rangkaian *bias* DC yang telah disimulasikan pada perangkat lunak ADS 2017. Hasil faktor kestabilan penguat telah memenuhi spesifikasi perancangan yaitu faktor kestabilan > 1 yang artinya penguat pada frekuensi 3 GHz telah stabil mutlak dan *maximum available gain* diperoleh 15,557 dB telah memenuhi spesifikasi perancangan yaitu *gain* ≥ 15 dB.

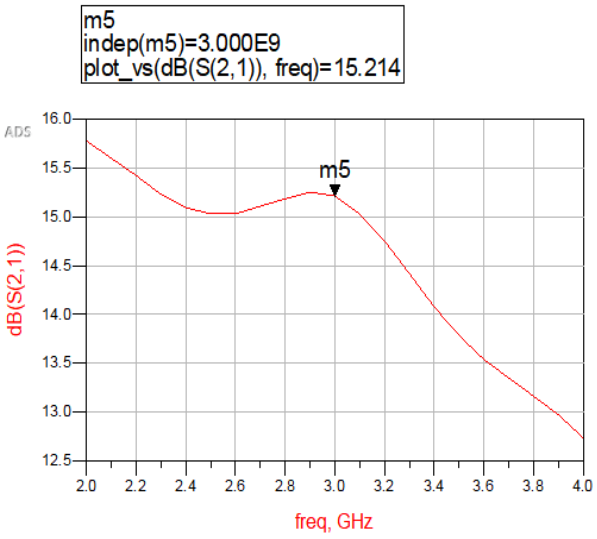
S_{21} merupakan parameter untuk *power gain*. Kurva *gain* terhadap frekuensi pada 3 GHz yang ditunjukkan pada Gambar 7 nilai *gain* diperoleh sebesar 15,214 dB dimana nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi perancangan karena nilai *gain* ini tidak boleh melebihi nilai dari MAG.

Tabel 3. Parameter S pada frekuensi 3 GHz

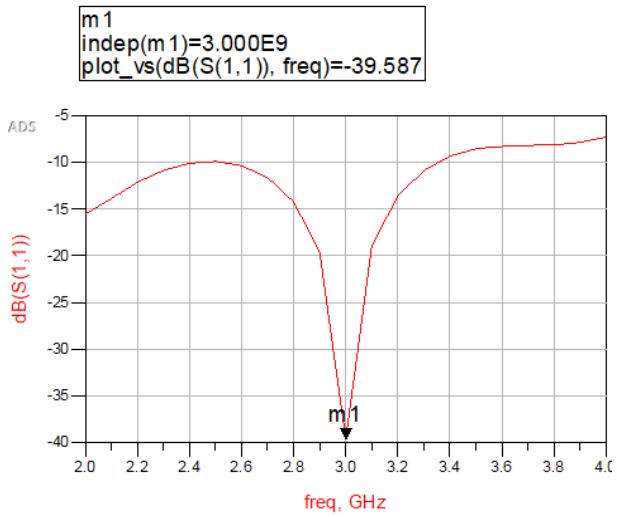
Parameter	Nilai
S_{11}	$0{,}164 \angle 42{,}610°$
S_{12}	$0{,}074 \angle 131{,}252°$
S_{21}	$5{,}823 \angle -133{,}269°$
S_{22}	$0{,}098 \angle 3{,}894°$

Tabel 4. Parameter S pada frekuensi 3 GHz

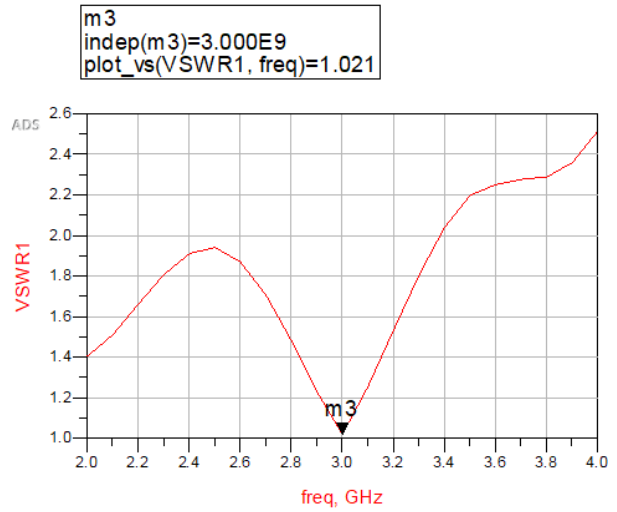
Frekuensi (GHz)	Faktor kestabilan	*Maximum Available Gain* (dB)
3	1,324	15,557



Gambar 7. Kurva *gain* terhadap frekuensi



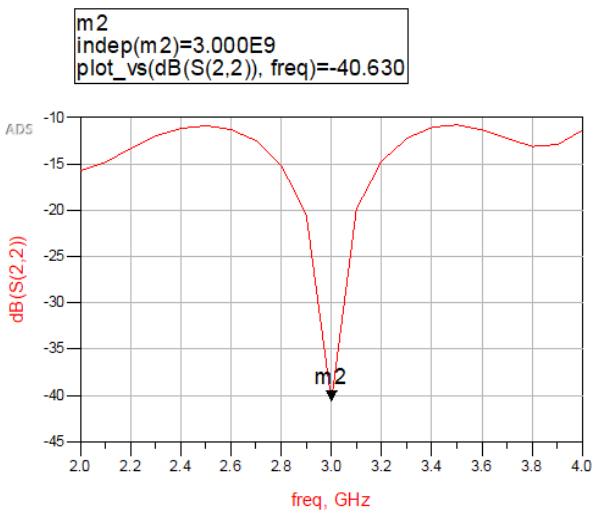
Gambar 8. Kurva *return loss input*



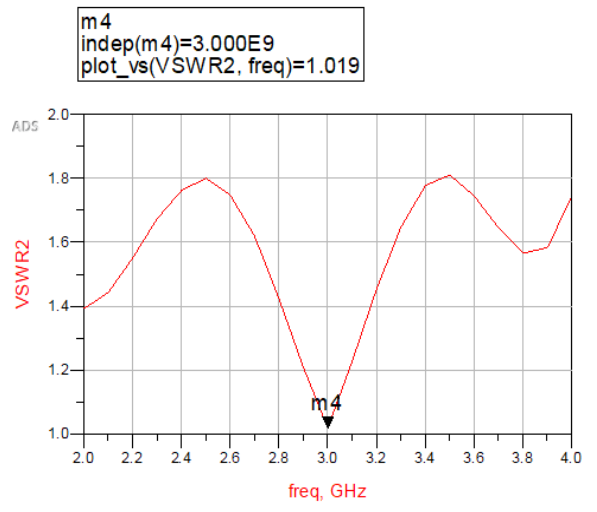
Gambar 9. Kurva VSWR *input*

S_{11} merupakan parameter dari *return loss input*. Pada Gambar 8 diperoleh nilai *return loss input* yang telah memenuhi spesifikasi perancangan ≥ 10 dB yaitu 39,587 dB sedangkan pada Gambar 9 diperoleh nilai VSWR *input* sebesar 1,021.

S_{22} merupakan parameter dari *return loss output*. Pada Gambar 10 diperoleh nilai *return loss output* yang telah memenuhi spesifikasi perancangan ≥ 10 dB yaitu 40,630 dB sedangkan pada Gambar 11 diperoleh nilai VSWR *output* sebesar 1,019. Dari hasil simulasi kurva *return loss* dan kurva VSWR dapat diperoleh hubungan antara keduanya yaitu semakin besar nilai *return loss* maka akan semakin kecil nilai VSWR. Pada kondisi VSWR = 1 atau pada hasil simulasi ini nilai VSWR sangat mendekati 1 artinya impedansi saluran transmisi pada sisi *input* dan *output* yang terhubung ke rangkaian penguat sudah sesuai (*match*) perancangan dan dapat dilanjutkan ke tahap realisasi.



Gambar 10. Kurva *return loss output*

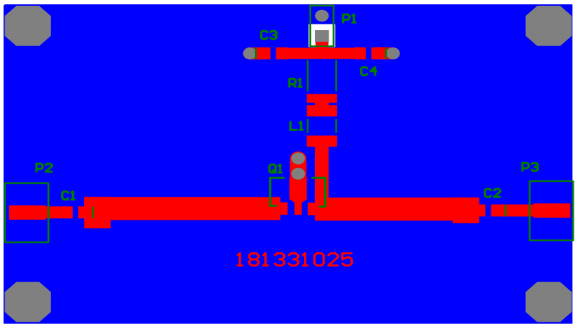


Gambar 11. Kurva VSWR *output*

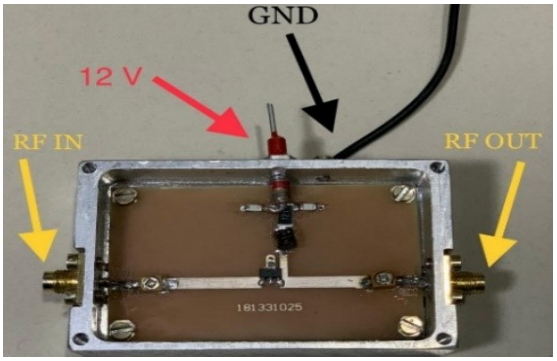
B. Hasil Realisasi

Ketika melakukan realisasi, hal penting yang harus diperhatikan yaitu ketersediaan komponen yang akan dipakai ketika realisasi apakah terdapat dipasaran atau tidak. Tujuannya yaitu untuk efisiensi waktu perancangan penguat agar selesai tepat waktu.

Gambar 12 menunjukkan desain *layout* PCB yang telah dibuat pada perangkat lunak Altium Designer 2018 dengan ukuran panjang 65 mm x lebar 40 mm. Komponen-komponen yang akan disolder di atas PCB dan kebutuhan kemasan PCB lainnya seperti, konektor, *feed thru*, dan kabel serabut untuk *ground* harus sudah disiapkan sebelum membuat desain *layout* PCB pada perangkat lunak Altium *Designer* 2018 karena ukuran dimensi *footprint* harus disesuaikan dengan ukuran bentuk fisik aslinya untuk memudahkan ketika penyolderan.



Gambar 12. Desain *layout* PCB

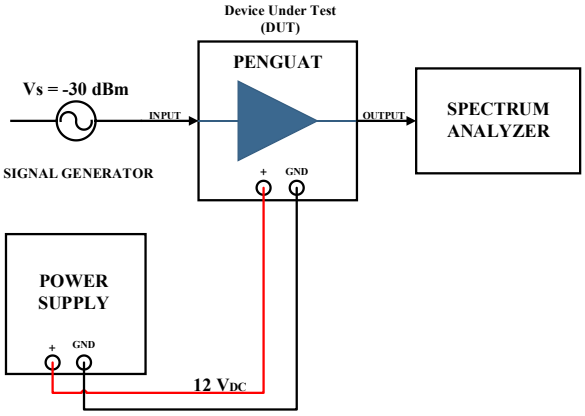


Gambar 13. Realisasi penguat

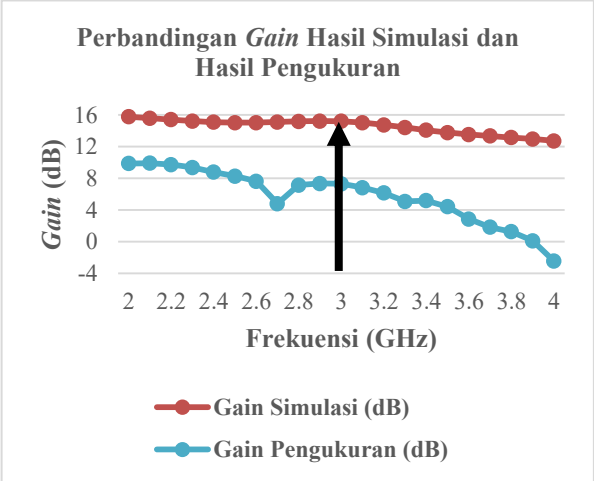
Modul penguat direalisasikan menggunakan PCB substrat bahan FR4 *Epoxy* karena harganya relatif murah, tersedia di tempat percetakan PCB, dan memiliki daya serap air yang rendah serta tahan terhadap suhu sampai 140°C. Gambar 13 menunjukkan PCB yang telah dikemas menggunakan *casing* dengan bahan alumunium dural. Pada bagian RF *input* dan RF *output* dipasang konektor *chassis* 4 lubang. Tegangan DC yang diberikan 12 V_{DC} menggunakan *feed thru* yang di-*drat* pada *body casing* yang berfungsi untuk mem-*filter* jika ada DC yang bocor sedangkan untuk *ground* dipasang kabel hitam dan di lilit pada *body casing*.

C. Hasil Pengujian

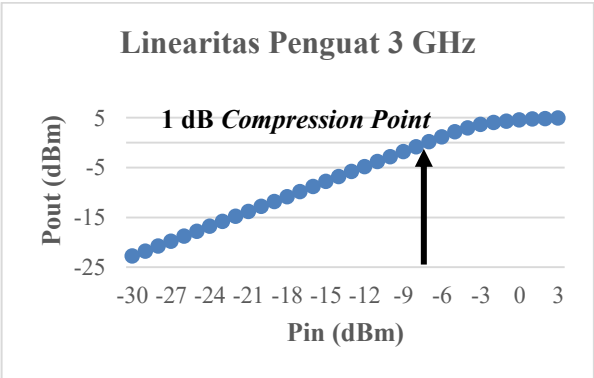
Pengukuran penguat dilakukan dengan dua macam parameter yang diukur yaitu pengukuran transmisi dan pengukuran impedansi. Pada pengukuran transmisi, parameter yang diukur merupakan kurva *gain* terhadap frekuensi dan tingkat kelinearitasan penguat tujuannya untuk melihat sebaikmana tingkat linearitas penguat dan melihat titik 1 dB *compression*, sedangkan pengukuran impedansi parameter yang diukurnya yaitu *return loss* yang bertujuan untuk melihat sebaikmana penyesuai impedansi saluran transmisi dengan saluran *input* dan saluran *output* penguat.



Gambar 14. *Set up* pengukuran transmisi

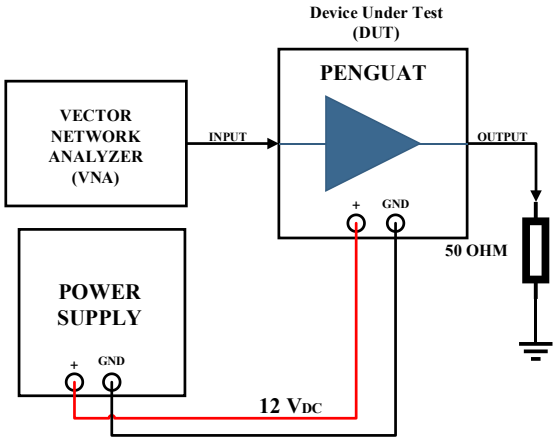


Gambar 15. Kurva perbandingan *gain* hasil simulasi dan hasil pengukuran terhadap frekuensi 2 – 4 GHz



Gambar 16. Kurva linearitas penguat pada frekuensi 3 GHz

Skematik untuk pengukuran transmisi dapat dilihat pada Gambar 14. Hasil pengukuran dari *set up* pengukuran diperoleh kurva *gain* terhadap frekuensi pada frekuensi 2-4 GHz dan kurva linearitas penguat yang ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16.



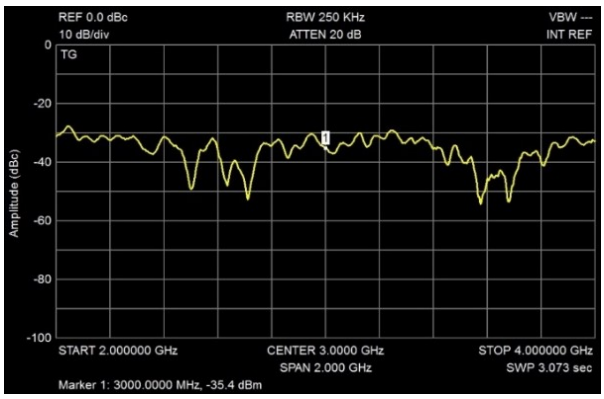
Gambar 17. *Set up* pengukuran impedansi

Pada Gambar 16 diperoleh nilai *gain* hasil pengukuran sebesar 7,31 dB dengan redaman kabel sebesar 1,5 dB sehingga total *gain* 8,81 dB sedangkan hasil simulasi diperoleh nilai *gain* sebesar 15,214 dB sesuai dengan perhitungan secara teori. Pengaruh dari adanya perbedaan nilai *gain* tersebut dikarenakan ketika simulasi semua komponen dalam keadaan ideal. Pada saat realisasi, kualitas komponen yang digunakan belum tentu nilai-nilai karakteristik nya sama dengan yang ada pada *datasheet* dan setiap komponen memiliki faktor toleransi sehingga memengaruhi penurunan nilai *gain* dari 15,214 dB menjadi 7,31 dB.

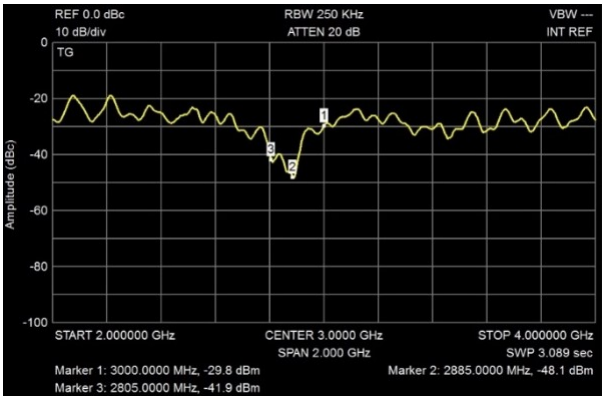
Dari pengukuran perbandingan daya *input* dan daya *output* pada Gambar 16 terdapat anak panah yang menunjukkan 1 dB *compression point*, di mana titik ini akan memperlihatkan sampai sejauh mana penguat memiliki penguatan konstan. Pada Gambar 16 juga menunjukkan penguat linear ketika diberi *input* mulai dari -30 dBm hingga -8 dBm sehingga titik 1 dB *compression* ketika *input* diberikan -7 dBm karena pada titik tersebut penguatan berkurang 1 dB dari normalnya dari 7,16 dB menjadi 6,84 dB.

Adapun skematik untuk pengukuran impedansi ditunjukkan Gambar 17. Hasil pengukuran diperoleh kurva *return loss input* dan *return loss output yang* ditunjukkan pada Gambar 18 dan Gambar 19.

Kurva pengukuran *return loss input* pada Gambar 18 diperoleh daya *output* sebesar 35,4 dBm dimana nilai tersebut dikurangi oleh *coupling* 10 dB sehingga diperoleh nilai *return loss input* 25,4 dB. Begitupula pada Gambar 19 diperoleh daya *output* 29,8 dBm sehingga *return loss output* sebesar 19,8 dB. Dari hasil pengukuran *return loss* ini dapat dihitung VSWR menggunakan persamaan sebagai berikut.



Gambar 19. Kurva pengukuran *return loss input*



Gambar 20. Kurva pengukuran *return loss output*

$$RL\ (dB)\ = -20 \log |\rho| \quad (17)$$

$$\text{VSWR} = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|} \quad (18)$$

Dari persamaan (17) dan persamaan (18) diperoleh VSWR *input* 1,11 dan VSWR *output* 1,22.

Hasil perbandingan spesifikasi, hasil simulasi, dan realisasi ditunjukkan Tabel 4. Perbandingan hasil pengukuran transmisi simulasi dan realisasi pada frekuensi 3 GHz terjadi penurunan *gain* sebesar 7,904 dB dan *gain* hasil pengukuran realisasi tidak memenuhi spesifikasi perancangan yaitu *gain* $\geq$ 15 dB sedangkan hasil pengukuran impedansi terdapat perbedaan pada nilai *return loss input* dan *return loss output* namun perbedaan ini tidak masih dalam rentang toleransi dikarenakan spesifikasi perancangan *return loss* > 10 dB dan dapat dilihat dari perhitungan nilai VSWR pada sisi *input* maupun sisi *output* $\leq$ 2 artinya rangkaian penyesuai impedansi telah sesuai (*match*). Kedua hal tersebut dipengaruhi oleh toleransi komponen dan faktor kualitas komponen serta adanya pengaruh ketika penyolderan komponen. Semakin presisi penyolderan komponen terutama konektor yang dipasang pada bagian *input* dan bagian *output* dapat berpengaruh terhadap hasil pengukuran penyesuai impedansi.

Tabel 4. Perbandingan spesifikasi perancangan dengan hasil pengukuran simulasi dan realisasi

Parameter	Spesifikasi Perancangan	Hasil Simulasi	Hasil Realisasi
Frekuensi	3 GHz	3 GHz	3 GHz
Kestabilan Penguat	> 1	1,324	-
Gain	≥ 15 dB	15,214 dB	7,31 dB
Return Loss Input	≥ 10 dB	39,587 dB	25,4 dB
Return Loss Output	≥ 10 dB	40,630 dB	19,8 dB
VSWR *Input*	≤ 2	1,021	1,11
VSWR *Output*	≤ 2	1,019	1,22

IV. KESIMPULAN

Perancangan dan realisasi penguat 3 GHz untuk aplikasi radar S-*Band* menggunakan penyesuai impedansi *single stub* ini telah berhasil dilakukan. Penguat memiliki linearitas yang baik konstan dengan *gain* sebesar 7 dB pada *input* yang diberikan -30 dBm hingga -8 dBm. Pada pengukuran realisasi diperoleh daya *output* sebesar -22,69 dBm dengan daya *input* yang diberikan -30 dBm sehingga *gain* diperoleh 7,31 dB sedangkan hasil simulasi *gain* 15,214 dB. Perbedaan hasil simulasi dengan hasil pengukuran realisasi pada perancangan ini dikarenakan faktor toleransi dan kualitas komponen. Pada simulasi *library* komponen yang digunakan dalam keadaan ideal. Rangkaian penyesuai impedansi antara saluran transmisi dengan saluran *input* dan *output* penguat sudah sesuai (*match*) yang ditandai dengan hasil pengukuran *return loss* yang memenuhi spesifikasi perancangan. Oleh karena itu, disarankan untuk memerhatikan pemilihan komponen terutama induktor harus khusus frekuensi tinggi dan penggunakan kualitas konektor juga mempengaruhi terhadap penyesuai impedansi rangkaian penguat.

REFERENSI

[1] C. Bowick, J. Blyler, and C. Ajluni, RF Circuit Design Second Edition, NEWNES, 2008.

[2] A. A. F. S. Sidabutar, M. H. Wijanto, and S. Yaya Sulaeman, "Penguat Daya 500 Miliwatt Untuk Radar Cuaca 5,5-5,7 GHz," *e-Proceeding of Engineering,* vol. II, pp. 4393-4440, 2019.

[3] B. Mulyadi, A. A. Muayyadi and Y. Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Penguat Daya Pada Frekuensi S-Band untuk Radar Pengawas Pantai," *e-Proceeding of Engineering,* vol. 4, no. 1, pp. 255-262, April 2017.

[4] C. Wu, C. Chang, H. Liu, T. Ko, and H. Chiu, "High Linearity 5.2 GHz Power Amplifier MMIC Using the Linearizer Circuit," *Journal of Semiconductors,* vol. 31, no. 2, pp. 633-635, 2008.

[5] Y. Wang, High Linearity 5.8 Ghz Power Amplifier With An Internal Linearizer, vol. 10, *Florida: Electronic Theses and Dissertations*, 2011, pp. 4-78.

[6] A. Sayed and G. Boeck, "5W Highly Linear GaN Power Amplifier with GaN Power Amplifier with 3.4 GHz Bandwidth," in *Proceedings of the 37th European Microwave Conference*, Berlin, 2007.

[7] Mini-Circuits, "Datasheet MMIC GALI-51+," [Online]. Available: https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=GALI-51%2B. [Accessed 4 July 2021].

[8] Edaboard.com, "How to Define the Capacitor value for DC Block," [Online]. Available: https://www.edaboard.com/. [Accessed 4 Maret 2021].

[9] A. A. Fukuda, K. Kawai, T. Furuta, H. Okazaki, S. Oka, S. Narahashi and A. Murase, "A High Power and Highly Efficient Multi-band Power Amplifier for Mobile Terminals," *IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS),* pp. 45-48, 2010.

[10] I. J. Bahl, "0.7–2.7-GHz 12-W Power-Amplifier MMIC Developed Using MLP Technology," *IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques,* vol. 55, no. 2, pp. 222-229, 2007.

[11] J.-H. Tsai, H.-Y. Chang, P.-S. Wu, Y.-L. Lee, T.-W. Huang and H. Wang, "Design and Analysis of a 44-GHz MMIC Low-Loss Built-In Linearizer for High-Linearity Medium Power Amplifiers," *IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques,* vol. 54, no. 6, pp. 2487-2495, 2006.

[12] R. A. Wiyah, Suwadi and G. Hendrantoro, "Perancangan dan Pembuatan Tahap RF Downlink 2.4 GHz Untuk Pengiriman Citra Pada Sistem Komunikasi Satelit Nano," *Jurnal Teknik Pomits,* vol. II, no. 1, pp. 160-165, 2013.