

DESAIN DAN REALISASI *DOUBLE STAGE LOW NOISE AMPLIFIER* PADA FREKUENSI *C-BAND 5.6 GHZ* UNTUK APLIKASI RADAR CUACA

DESIGN AND REALIZATION OF *DOUBLE STAGE LOW NOISE AMPLIFIER* ON *C-BAND 5.6 GHZ* FREQUENCY FOR WEATHER RADAR APPLICATIONS

Galuh Entin Oktavia¹, Dr. Bambang Setia Nugroho, S.T., M.T.², Yaya Sulaeman, S.T.³

¹Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

²Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

³PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

galuhvalentin808.gv@gmail.com, bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id, yaya@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Pentingnya mempelajari iklim dan cuaca di Indonesia menggunakan instrumen pemantau cuaca dengan cakupan wilayah yang luas sangat diperlukan. Instrumen pemantau cuaca yang paling efektif untuk jangkauan wilayah yang luas adalah menggunakan radar. Radar cuaca adalah radar yang mampu mendeteksi tetes hujan dengan ukuran diameter sangat kecil. Radar cuaca juga mampu memantau pergerakan hujan dan awan. Salah satu kendala yang dihadapi pada sistem radar yaitu sinyal pantulan yang memiliki daya yang rendah sehingga kualitas penerimaan menjadi kurang baik. Untuk mengatasi kendala tersebut, sinyal perlu diperkuat lagi oleh *low noise amplifier* (LNA) agar sinyal memiliki level daya yang cukup besar dengan *noise* yang rendah agar dapat diproses oleh *stage* selanjutnya.

Pada Tugas Akhir ini dirancang dan direalisasikan LNA yang dapat bekerja pada frekuensi 5.500-5.700 Ghz. Spesifikasi LNA yang dirancang adalah memiliki *gain* sebesar ≥ 20 dB dan *noise figure* sebesar ≤ 5 dB. Dalam perancangan dan simulasi LNA digunakan *software Agilent's Advanced Design System 2015* dengan komponen aktif yang digunakan adalah BFP740 ESD dari *Infineon*.

Pengujian kinerja LNA dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan spesifikasi awal perancangan. Hasil simulasi LNA pada frekuensi 5,6 GHz menghasilkan *gain* sebesar 31,146, dB, *noise figure* 1,643 dB, sementara VSWR *input* dan VSWR *output* yaitu 1,109 dan 1,042. Dari hasil pengukuran diperoleh *gain* yang dihasilkan pada frekuensi 5,6 GHz adalah 24,5 dB dengan *noise figure* 4,019 dB. VSWR *input* dan VSWR *output* 2,222 dan 2,103. Setelah penambahan kapasitor trimming hasil VSWR *input* dan VSWR *output* adalah 1,442 dan 1,371. Berdasarkan hasil pengukuran LNA yang dirancang sudah memenuhi spesifikasi untuk aplikasi radar cuaca.

Kata kunci : Radar Cuaca, LNA, *gain*, *noise figure*, VSWR

Abstract

The importance of studying climate and weather in Indonesia using instruments of weather monitoring with a wide area coverage is very necessary. The most effective weather monitoring instrument for a wide area is using radar. Weather radar is a radar that can detect rain drops with very small diameter sizes. Weather radar is also able to monitor the movement of rain and clouds. One of the obstacles faced by radar systems is reflected signals that have low power so that the reception quality is not good. To overcome this problem, the signal needs to be reinforced by a low noise amplifier (LNA) so that the signal has a large enough power level with low noise so that it can be processed by the next stage.

In this Final Project LNA is designed and realized which can work at a frequency of 5,500-5,700 Ghz. The LNA specification designed is having a gain of ≥ 20 dB and a noise figure of ≤ 5 dB. In the design and simulation of LNA, the Agilent's Advanced Design System 2015 software was used with the active component being used was BFP740 ESD from Infineon.

LNA performance testing is done by comparing the measurement data with the initial specifications of the design. The simulation results of LNA on the 5.6 GHz frequency produce a gain of 31,146, dB, noise figure 1,643 dB, while the VSWR input and VSWR output are 1,109 and 1,042. From the measurement results obtained the gain generated at the frequency of 5.6 GHz is 24.5 dB with a noise figure of 4.019 dB. VSWR input and VSWR outputs are 2,222 and 2,103. After the addition of the trimming capacitor the output of VSWR input and VSWR output is 1.442 and 1.371. Based on the measurement results of several parameters, the LNA designed has met the specifications so that it is suitable for weather radar applications at C-band frequencies of 5,500-5,700 Ghz.

Keywords: weather radar, LNA, *noise figure*, *gain*, VSWR

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pentingnya mempelajari iklim dan cuaca di Indonesia menggunakan instrumen pemantau cuaca dengan cakupan wilayah yang luas sangat diperlukan. Instrumen pemantau cuaca yang paling efektif untuk jangkauan wilayah yang luas adalah menggunakan radar. Radar cuaca adalah radar yang mampu mendeteksi tetes hujan dengan ukuran diameter sangat kecil.^[2] Salah satu kendala yang dihadapi pada sistem radar adalah sinyal pantulan yang memiliki daya yang rendah sehingga kualitas penerimaan menjadi kurang baik. Untuk mengatasi kendala tersebut dibutuhkan penguat daya pada sistem penerima yaitu *Low Noise Amplifier* (LNA), disini sinyal yang diterima beserta *noise-noisenya* dengan level yang sangat lemah dapat dikuatkan hingga mencapai level dimana sinyal tersebut dapat diolah untuk mendapatkan informasi yang ditransmisikan.

Pada Tugas Akhir ini dirancang dan direalisasikan LNA dua tingkat yang dapat bekerja pada frekuensi center 5,6 GHz. Transistor yang digunakan untuk merancang LNA yaitu *Infineon BFP740ESD* dengan menggunakan substrat *Roger 5880*. LNA yang dirancang mempunyai spesifikasi $gain \geq 20$ dB, $noise\ figure \leq 5$ dB dan $VSWR\ input \leq 2$ dan $VSWR\ output \leq 2$.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mendesain dan merealisasikan LNA yang digunakan untuk aplikasi radar cuaca
2. Menganalisis pengaruh penggunaan komponen terhadap $gain$, $noise\ figure$, $VSWR\ input$ dan $VSWR\ output$.
3. Mendukung sistem aplikasi radar cuaca agar dapat bekerja dengan optimal.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menentukan spesifikasi perangkat LNA yaitu frekuensi operasi, $noise\ figure$, $gain$, $VSWR$ yang akan diimplementasikan sebagai perangkat pada aplikasi radar cuaca ?
2. Bagaimana membuat LNA agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan tersebut ?
3. Bagaimana hasil pengujian realisasi LNA tersebut?
4. Bagaimana perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil realisasi LNA tersebut ?

1.4 Batasan Masalah

1. Perancangan dan realisasi hanya terfokus pada LNA, tidak membahas perangkat *receiver* yang lain.
2. Transistor yang digunakan pada perancangan LNA ini yaitu *Infineon BFP 740ESD* baik pada tingkat 1 maupun tingkat 2.
3. Menggunakan bahan substrat *Roger 5880*.
4. LNA tidak diuji secara langsung pada sistem radar cuaca.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini yaitu studi literatur, perancangan dan simulasi, realisasi dan pengukuran, analisis.

Studi literatur yaitu memahami beberapa literatur seperti *text book* ataupun jurnal ilmiah yang digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir ini. Tahap selanjutnya yaitu perancangan dan simulasi dimana membuat rancangan rangkaian LNA yang akan direalisasikan dan mensimulasikan hasil rancangan LNA menggunakan *software ADS*. Setelah melakukan perancangan LNA, maka LNA akan direalisasikan dan diukur parameter dari karakteristik penguat daya tersebut. Setelah melakukan realisasi dan pengukuran, maka LNA tersebut siap dianalisis.

2. Dasar Teori

2.1 Dasar Teori

a. Radar Cuaca

Radar cuaca sebagai remote sensing yang digunakan untuk mengobservasi kondisi atmosfer. Radar cuaca dapat mendeteksi dan melakukan tracking target cuaca di atmosfer dalam real time. Target yang diperhatikan oleh radar cuaca adalah *hydrometeors* seperti *hailstones*, *snowflakes*, *sleetparticles*, dan lain-lain.^[9]

b. LNA

Low noise amplifier (LNA) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem komunikasi radio. Pemasangan biasanya diletakkan pada sistem *receiver* tepat setelah antenna. LNA berfungsi sebagai penguat sinyal dengan batas tertentu dengan *noise* yang rendah, sehingga sinyal yang ditransmisikan bisa diterima pada perangkat selanjutnya.

c. Stabilitas Penguat Daya

Stabilitas adalah hal pertama yang harus diperhatikan dalam perancangan sebuah penguat. Stabilitas atau ketahanan transistor terhadap *osilasi* dalam rangkaian gelombang mikro dapat diukur dengan data parameter S transistor tersebut.^[14] Perhitungan stabilitas bahkan dapat dilakukan sebelum penguat dibuat. Selain itu, stabilitas dapat digunakan sebagai parameter untuk mencari transistor yang sesuai dengan aplikasi yang akan dibuat.

d. Penyesuaian Impedansi

Apabila impedansi pada sebuah saluran tidak sama dengan saluran lain yang terhubung dengan saluran tersebut, maka akan menimbulkan rugi-rugi seperti adanya daya pantul sehingga menyebabkan transfer daya menjadi tidak maksimum. Oleh karena itu, untuk mengatasinya harus dilakukan penyesuaian impedansi (*matching impedance*).^[12]

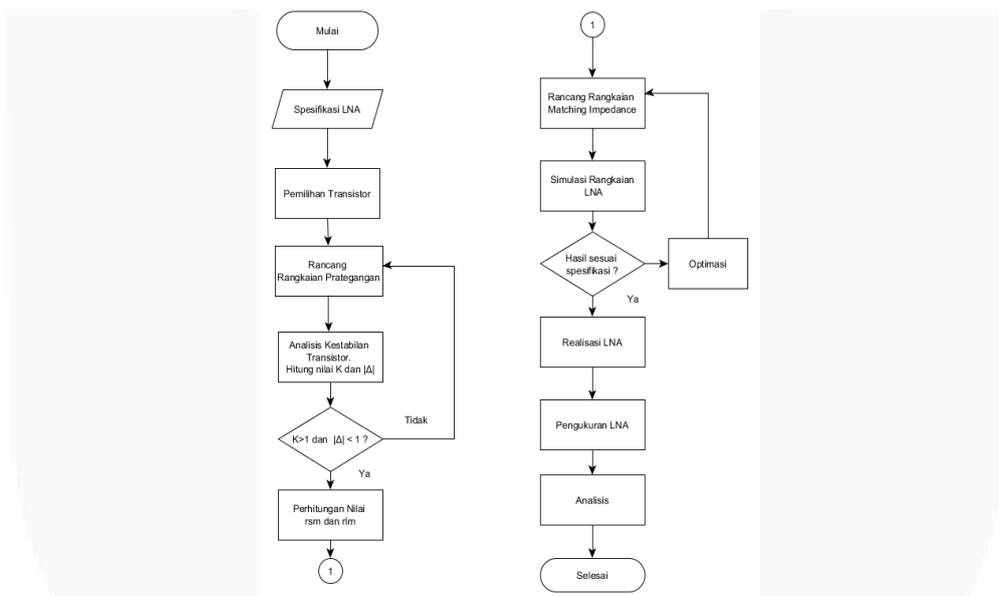
e. Saluran Transmisi Mikrostrip

Saluran mikrostrip merupakan saluran transmisi yang terdiri dari strip konduktor dan *ground plane* yang dipisahkan oleh bahan dielektrik yang memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) tertentu. Saluran mikrostrip ini banyak digunakan pada pembuatan penguat daya gelombang mikro karena mudah dalam fabrikasinya.^[12]

3. Desain LNA

3.1 Diagram alir perancangan

Perancangan dan implementasi *Low Noise Amplifier* ini memiliki beberapa tahapan yang nantinya harus dipersiapkan dan dilakukan. Berikut ini adalah flowchart sebagai panduan dari langkah-langkah pengerjaan untuk mempermudah pengerjaan pada tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Flowchart Sistem

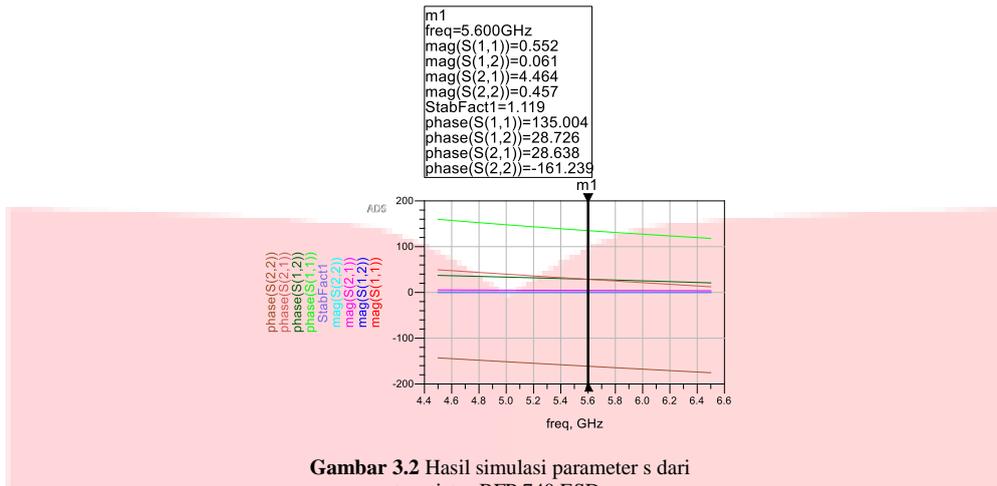
3.2 Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi LNA yang dirancang pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Frekuensi tengah : 5,600 GHz
2. Gain : ≥ 20 dB
3. Noise Figure : ≤ 5 dB
4. VSWR Input : ≤ 2
5. VSWR Output : ≤ 2

3.3 Pemilihan Transistor

Dalam perancangan ini transistor yang digunakan sebagai komponen aktif penguat adalah BFP 740ESD dengan $V_{cc} = 5V$, $I_c = 15mA$, $H_{fe} = 200$, $V_{be} = 0,7 V$, $V_{ce} = 2,5$. Adapun parameter S pada transistor yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Hasil simulasi parameter s dari transistor BFP 740 ESD.

Faktor kestabilan merupakan parameter penting dalam perancangan penguat yang digunakan untuk mencegah terjadinya osilasi. Berdasarkan persamaan berikut :

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (3.1)$$

$$K = \frac{1 + |\Delta| + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{21}||S_{12}|} \quad (3.2)$$

didapatkan nilai $\Delta = 0,3499 < -76,893$ dan $K = 1,119$ yang artinya kondisi transistor stabil (*Unconditional stable*) karena $\Delta < 1$ dan $K > 1$.

3.4 Matching Impedance

Disini metode yang digunakan adalah matching impedance adalah trafo 1/4. Dimana impedansi sumber sebagai impedansi input dan impedansi bebas sebagai impedansi output. Dalam penyepadanan ini menggunakan bantuan smithchart.

Penyepadanan Impedansi Input Penyepadanan Antartingkat Penyepadanan Impedansi Output.

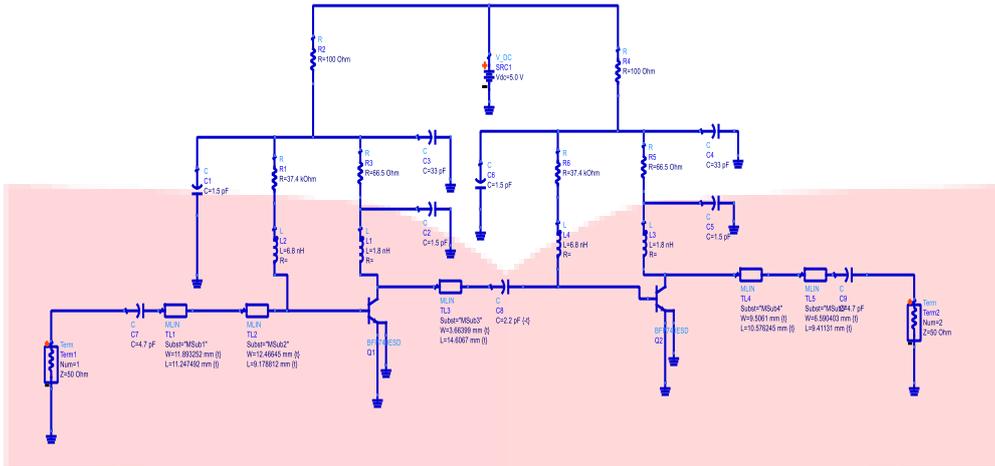
$Z_S = (0,153 - j0,259) \Omega$
 $Z_{in} = 0,150 \times 50$
 $= 7,5$
 $W = 24,894300 \text{ mm}$
 $L = 7,6507452 \text{ mm}$
 $ZT = \sqrt{Z_{in} \times Z_0}$
 $= \sqrt{7,65 \times 50}$
 $= 19,36$
 $W = 12,712300 \text{ mm}$
 $L = 7,517200 \text{ mm}$

$W = 12,712300 \text{ mm}$
 $L = 7,517200 \text{ mm}$

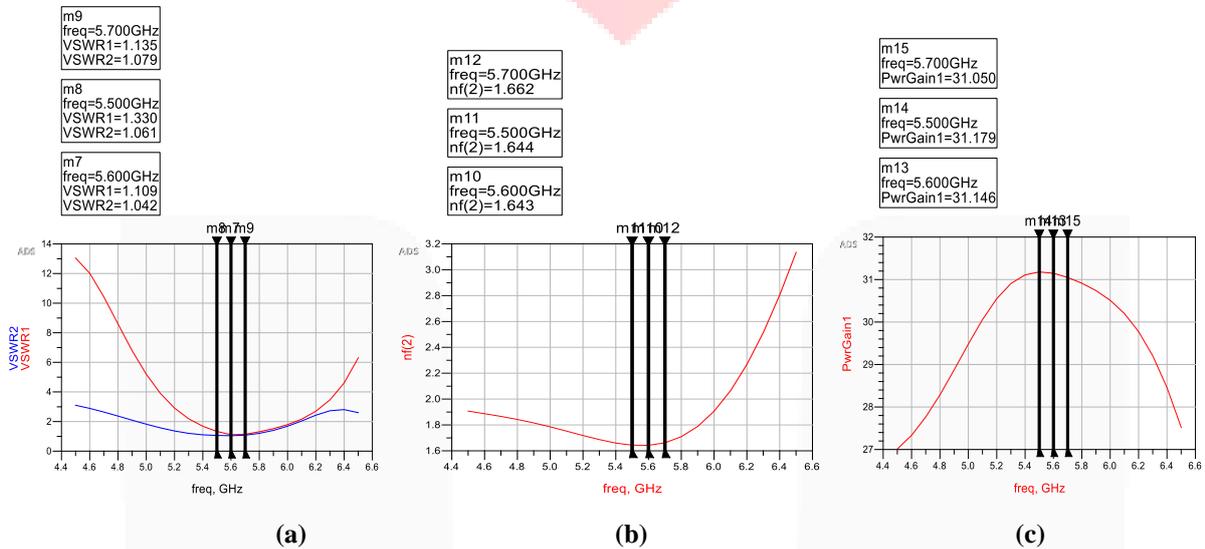
$Z_S = (0,206 - j0,376) \Omega$
 $Z_{in} = 0,192 \times 50$
 $= 9,6$
 $W = 18,762184 \text{ mm}$
 $L = 7,0524266 \text{ mm}$
 $ZT = \sqrt{Z_{in} \times Z_0}$
 $= \sqrt{9,6 \times 50}$
 $= 21,90$
 $W = 10,557500 \text{ mm}$
 $L = 7,575180 \text{ mm}$

3.5 Simulasi Desain LNA

Setelah membuat rangkaian penyepadanan impedansi, maka desain LNA telah selesai. Langkah selanjutnya yaitu melakukan simulasi desain LNA pada software ADS. Simulasi desain LNA bertujuan untuk mengetahui apakah LNA yang sudah dirancang sesuai dengan spesifikasi LNA yang diinginkan atau tidak.



Gambar 3.3 rangkaian LNA pada skematik



(a)

(b)

(c)

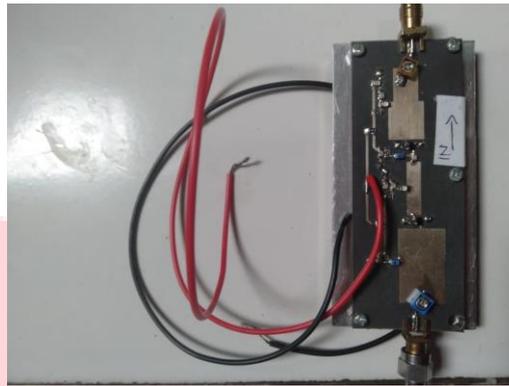
Gambar 3.4 Hasil Simulasi Rangkaian LNA

(a) VSWR In, VSWR Out dan faktor kestabilan (b) Noise Figure (c) Gain

Pada Gambar 3.4 (a) terlihat VSWR input = 1,109 dan VSWR output = 1,042 pada frekuensi 5,600 GHz. Hasil ini sudah memenuhi spesifikasi LNA dimana VSWR input dan output kurang dari 2.. Pada Gambar 3.4 (b) noise figure pada frekuensi 5,600 GHz yaitu 1,643 dB. Hasil ini sudah sesuai spesifikasi LNA yaitu dibawah 5 dB. Gain yang dihasilkan pada frekuensi 5,600 GHz yaitu 31,146 dB, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4 (c). Hasil ini sudah sesuai dengan spesifikasi gain LNA yaitu diatas 20 dB.

4.1 Realisasi LNA

Setelah simulasi rangkaian LNA dan hasilnya sudah sesuai dengan spesifikasi, maka langkah selanjutnya ialah merealisasikan LNA ke bentuk PCB. Dan berikut gambar hasil realisasi LNA

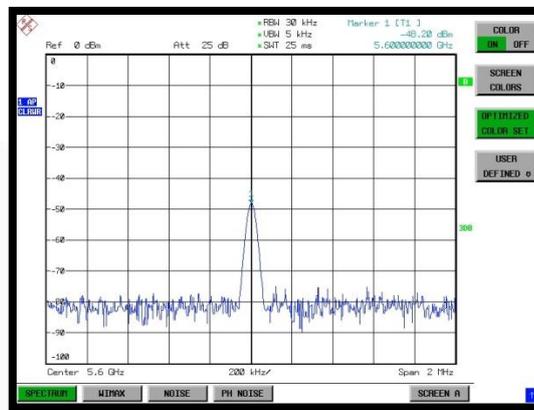


Gambar 4.1 Hasil realisasi LNA

4.2 Pengujian Perangkat

4.2.1 Pengukuran Gain

Pada pengukuran *gain*, LNA diberi level daya *input* oleh *signal generator* sebesar -70 dBm dan dicatu tegangan 5 volt dari *DC power supply* . Pengukuran *gain* dilakukan pada frekuensi 5-6 GHz .



Gambar 4.1 Hasil pengukuran level daya *output* pada frekuensi 5,6 GHz

4.2.2 Pengukuran *Noise Figure*

Pada pengukuran *noise figure*, LNA dipasang *noise source* yang berfungsi sebagai sumber *noise* untuk melihat nilai *noise* LNA dan dicatu dengan tegangan 5 volt. Pengukuran *noise figure* dilakukan pada frekuensi 5-6 GHz.

NOISE & GAIN					
Direct	1 MHz	RF Atten	0 dB	2nd Stage Corr	Off
Average	T	Auto Ref Level	On	Image Rejection	---
Current Value					
RF	5 GHz	ENR	14.45 dB	NF	4.4 dB
LO	---	Loss In	0 dB	Noise Temp.	500.86 K
F	---	Loss Out	0 dB	Gain	21.63 dB
Frequency List Results					
RF	NF	Noise Temp	Gain		
5.000 GHz	4.401 dB	508.857 K	21.634 dB		
5.100 GHz	6.099 dB	891.006 K	20.467 dB		
5.200 GHz	5.831 dB	820.467 K	19.976 dB		
5.300 GHz	5.000 dB	627.115 K	19.636 dB		
5.400 GHz	4.868 dB	559.557 K	20.578 dB		
5.500 GHz	4.186 dB	470.320 K	20.916 dB		
5.600 GHz	4.019 dB	441.712 K	22.163 dB		
5.700 GHz	3.765 dB	400.120 K	24.249 dB		
5.800 GHz	3.693 dB	388.790 K	26.063 dB		
5.900 GHz	5.264 dB	684.590 K	21.454 dB		
6.000 GHz	7.631 dB	1390.850 K	17.006 dB		

Gambar 4.5 Hasil pengukuran *noise figure* pada frekuensi 5,6 GHz

4.3 Pengukuran VSWR

Pada pengukuran VSWR *input* dan VSWR *output*, LNA dihubungkan ke *Network Analyzer* dan dicatu tegangan 5 volt. Pengukuran dilakukan pada frekuensi 5,6 GHz.



Gambar 4.6 (a) VSWR *input* b) VSWR *output*

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil pengukuran nilai VSWR Input maupun Output belum memenuhi spesifikasi LNA, maka dilakukan penambahan kapasitor trimming dan dilakukan pengukuran ulang.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Setelah pengukuran dan analisis dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil realisasi *gain* pada frekuensi kerja 5,500 – 5,700 GHz sudah memenuhi spesifikasi LNA dimana *gain* yang dihasilkan pada frekuensi 5,600 GHz lebih besar dari 20 dB, yaitu 24,5 dB.
2. Hasil realisasi *noise figure* pada frekuensi kerja 5,500-5,700 GHz sudah memenuhi spesifikasi LNA dimana *noise figure* yang dihasilkan pada frekuensi 5,600 GHz lebih kecil dari 5 dB, yaitu 4,019 dB.
3. Nilai VSWR *output* pada frekuensi kerja 5,500-5,600 GHz lebih besar dari 2 sehingga tidak memenuhi spesifikasi LNA dimana nilai VSWR output pada frekuensi 5,600 GHz yaitu 2,103.
4. Nilai VSWR *input* pada frekuensi 5,500 GHz yaitu 1,369. Hasil ini sudah sesuai dengan spesifikasi perancangan LNA dimana VSWR input kurang dari 2. Tetapi pada frekuensi 5,600 dan 5,700 GHz, nilai VSWR *input*nya yaitu 2,222 dan 7,517 dimana hasil ini tidak sesuai dengan spesifikasi perancangan LNA karena nilainya lebih dari 2.
5. Perbedaan hasil simulasi dan hasil pengukuran terjadi karena perbedaan nilai *komponen* yang digunakan. Hal ini menyebabkan pergeseran titik kerja pada transistor yang dapat mengubah nilai parameter S yang terdapat pada simulasi. Ketika nilai parameter S berubah, maka rangkaian pun jadi kurang sepadan sehingga hasil realisasi LNA menjadi berbeda dengan hasil simulasi.
6. Hasil VSWR *input* maupun *output* setelah penambahan *capasitor trimmer* adalah 1,442 dan 1,371

4.2 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya gunakan transistor atau komponen yang asli dan kualitasnya bagus agar transistor yang digunakan sesuai dengan *datasheet*-nya dan titik kerja transistor yang dirancang.
2. Dalam perancangan LNA menggunakan *software* ADS, sebaiknya gunakan model transistor yang dapat diunduh di *website* perusahaan transistor yang digunakan sehingga hasil simulasi akurat dan jika direalisasikan hasilnya tidak berbeda jauh dengan hasil simulasi.
3. Perhatikan dalam penyolderan komponen agar hasil realisasi tidak berbeda jauh dengan hasil simulasi.
4. Sebelum melakukan realisasi, sebaiknya lakukan pemeriksaan atau pengukuran komponen terlebih dahulu sehingga saat merancang LNA nilai komponen tersebut yang dipakai

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djalil, Amri. 2010. *Perancangan dan Realisasi Low Noise Amplifier Frekuensi 800 Mhz*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [2] Firmansyah, Teguh. 2013. *Perancangan Multiband Low Noise Amplifier (LNA) menggunakan Metode Multisection Impedance Transformer (MIT) Untuk Aplikasi GSM, WCDMA, dan LTE*. Depok : Universitas Indonesia.
- [3] Gozali, Mohammad. H. 2006. *Rancang Bangun dan Pengujian Penguat Berderau Rendah Berbasis Mikrostrip Pada Wilayah 2,4-2,484 Ghz*. Bandung : Universitas Telkom.
- [4] Millatisilmi, Andzaz Zilfa. 2016. *Perancangan Dan Realisasi Low Noise Amplifier Frekuensi S-Band (2,425 Ghz) Untuk Aplikasi Stasiun Bumi Satelit Nano*. Bandung: Universitas Telkom.
- [5] Purba, Holan.F. 2009. *Desain dan Realisasi Low Noise Amplifier Wilayah Frekuensi 200 Mhz Menggunakan Lumped Element untuk Perangkat Ground Penetrating Radar*. Bandung : Universitas Telkom.
- [6] Rahmawati, Destia. 2014. *Perancangan dan Realisasi Low Noise Amplifier (LNA) 1,265-1,275 GHz Untuk Aplikasi Synthetic Aperture Radar (SAR)*. Bandung:Universitas Telkom.
- [7] Reza, Muhammad. 2016. *Perancangan dan Realisasi Double Stage Low Noise Amplifier Pada Frekuensi 1,265-1,275 Ghz Untuk Aplikasi Synthetic Aperture Radar*. Bandung:Universitas Telkom.
- [8] Taryana, Yana, A.Munir, Y.Sulaeman, dan S.Hermana. 2014. *Two Stage Low Noise Amplifier 3 GHz Using Non Simultaneous Conjugate Match Technique*. ICRAMET Proceedings, Batam, Indonesia, May 7-8. page 125.
- [9] Wibisono, Gunawan. 2014. *Perancangan dan Simulasi Low Noise Amplifier untuk Penerima Automatic Picture Transmission dan High Resolution Picture Transmission*. Depok : Universitas Indonesia.
- [10] Budi, Agus Sri, dkk. 2014. *Weather Radar*. Depok : Universitas Indonesia.
- [11] Wardoyo, Eko. 2014. *Analisis Interferensi Frekuensi Radar Cuaca C-Band di Indonesia*. Jakarta : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
- [12] Iskander, Magdy F. 1992. *Electromagnetic Fields & Waves*. New Jersey: Prentice- Hall.
- [13] Application Note AN219. 2010. *BFP740ESD-Hardened SiGe : C Ultra Low Noise RF Transistor with 2KV ESD Ratig In 5-6 Ghz LNA Application 15 Db Gain, 1.3 dB Noise Figure dan < 100ns Turn-On/Turn Time*. Infineon Technologies, Munchen, Germany.
- [14] Rahmi, Mira Hanafiah. 2013. *Perancangan dan Implementasi Penguat Berderau Rendah untuk Aplikasi Stasiun Bumi Penerima Satelit Nano pada Frekuensi 2,4-2,45 Ghz Berbasis Mikrostrip*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [15] Hariwibowo, Sulisty. 2009. *Perancangan LNA Untuk Mobile Wimax Pada Pita Frekuensi 2,3 Ghz*. Depok : Universitas Indonesia.
- [16] Ritonga , Boy Stevan A. 2013. *Perancangan Low Noise Amplifier 1.5 Ghz – 8 Ghz*. Pekanbaru : Politeknik Caltex Riau
- [17] Supriyanto, Toto. 2014. *Perancangan Radio Frequency High Gain Low Noise Amplifier Pada Frekuensi 2,3 Ghz Untuk Mobile Wimax*. Depok : Universitas Indonesia.
- [18] Eka Wahyu Lestari, P. 2014. *Perancangan Dan Pembuatan Rangkaian RF Low Noise Amplifier (LNA) Untuk Payload Nano Satelit Frekuensi 145 Mhz Iinusat-01*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- [19] Ma'arang, Daverius. 2011. *Rancang Bangun Lna Untuk Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (Ads-B) Dengan Dual-Stub Matching*. Depok : Universitas Indonesia.