

PERANCANGAN DAN REALISASI *LOW NOISE AMPLIFIER* FREKUENSI *S-BAND* (2,425 GHz) UNTUK APLIKASI STASIUN BUMI SATELIT NANO

DESIGN AND REALIZATION OF *LOW NOISE AMPLIFIER S-BAND FREQUENCY* (2,425 GHz) FOR GROUND STATION NANO SATELLITE APPLICATION

Andzaz Zilfa Millatisilmi¹, Ir. Mas Sarwoko Suraatmadja, MSc.², Ir. Yuyu Wahyu, ST.MT.³

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

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

³ PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

¹andzazzilfa@gmail.com, ²swkknk@telkomuniversity.ac.id, ³yuyuwahyuas@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Satelit nano merupakan satelit berukuran kecil (< 10 kg) yang bekerja pada frekuensi 2.4 – 2.45 GHz dengan ketinggian sekitar 700 km. Satelit tersebut akan mengirimkan sinyal informasi ke stasiun bumi penerima satelit nano. Jarak pengiriman yang begitu jauh dan banyaknya gangguan yang terjadi di lingkungan sekitar luar angkasa menyebabkan sinyal informasi yang dikirimkan memiliki daya yang sangat lemah. Oleh karena itu, setelah sinyal informasi diterima dan dikuatkan oleh antena penerima dibutuhkan sebuah *low noise amplifier* (LNA) agar level daya yang dikirimkan cukup besar dengan menekan *noise* yang dihasilkan sehingga dapat diproses oleh *stage* selanjutnya.

Pada tugas akhir ini dirancang dan direalisasikan LNA yang dapat bekerja pada frekuensi 2.4-2.45 GHz dengan spesifikasi *gain* ≥ 15 dB dan *noise figure* ≤ 2 dB. LNA tersebut dirancang dengan menggunakan mikrostrip dimana komponen aktif penyusunnya berupa transistor jenis *e-pHEMT* yaitu ATF 55413. *Gain* maksimum yang akan dihasilkan pada transistor ini sekitar 21 dB sedangkan *noise figure* minimum yang dihasilkan sekitar 0.5 dB sehingga dalam perancangan LNA menggunakan metode *single stage amplifier* dengan *bilateral design*.

Pengujian kinerja LNA dilakukan dengan membandingkan hasil yang didapat dari pengukuran dengan spesifikasi perancangan. Dari hasil pengukuran diketahui realisasi rangkaian LNA pada frekuensi 2.425 GHz menghasilkan *gain* sebesar 15.63 dB sedangkan perhitungan *noise figure* yang dihasilkan sebesar 3.02 dB.

Kata Kunci : LNA, *Gain*, *Noise Figure*

Abstract

Nano satellite is small-sized satellite (< 10 kg) that works at the frequency 2.4-2.45 GHz with an altitude of about 700 km. The satellite will transmit information signal to the ground station receiver nano satellite. Long distance of transmissions and the amount of disturbance in the space environment cause the transmitted information signal has a very weak power. Therefore, after the information signal is received and amplified by the receiver antenna requiring a low noise amplifier (LNA) so the level of power transmitted is appreciable by suppressing generated noise so that it can be processed by the next stage.

In this final assignment, LNA is designed and realized that can work at the frequency 2.4-2.45 GHz with specifications gain ≥ 15 dB and noise figure ≤ 2 dB. The LNA is design by using microstrip line in which active component consisting of e-pHEMT transistor types namely ATF 55143. From the simulation using ADS software, this transistor generated maximum gain is approximately 21 dB and the minimum noise figure around 0.5 dB so that the design of LNA using single stage amplifier with bilateral design.

Performance test of the low noise amplifier has been conducted by comparing the result from the measurement and the design specification. From the measurement it's known that the realization of LNA at frequency 2.425 GHz has gain of 15.63 dB and the noise figure according to calculation measurement is 3.02 dB.

Keywords : LNA, *Gain*, *Noise Figure*

1. Pendahuluan

Teknologi satelit nano merupakan teknologi satelit yang berukuran kecil dimana beratnya kurang dari 10 kg. Satelit nano ini bekerja pada frekuensi *S-Band* (2-4 GHz) pada ketinggian sekitar 700 km. Pada teknologi satelit terdapat

bagian penerima yang dinamakan *ground segment*. Pada *ground segment* terdiri dari salah satu nya sistem penerima *Radio Frequency* (RF). Sinyal yang dikirim dari satelit biasanya sangat lemah sehingga diperlukan penguat pada bagian penerima. *Low noise amplifier* (LNA) merupakan salah satu blok rangkaian dalam sistem penerima RF yang

digunakan untuk memperkuat sinyal. Dalam komunikasi nirkabel, LNA harus menerima sinyal yang sangat lemah dari pengirim dan harus mampu memperkuat sinyal tersebut sampai beberapa puluh dB agar dapat dicapai level yang cukup untuk diberikan ke perangkat penerima dimana *noise* yang dihasilkan perangkat tersebut harus seminimal mungkin. Oleh karena itu, parameter yang perlu diperhatikan dalam merancang LNA yaitu *gain*, *noise figure*, masukan dan keluaran rangkaian penyesuaian impedansi dan kestabilan^[1].

Berdasarkan permasalahan diatas, peneliti akan merancang dan merealisasikan LNA untuk mendukung pengembangan satelit nano khususnya di *ground segment* sebagai penerima informasi yang dititik beratkan pada frekuensi 2.425 GHz dengan menggunakan jenis transistor e-PHEMT yang direalisasikan dengan metode *single stage amplifier* dengan *bilateral design*.

2. Landasan Teori

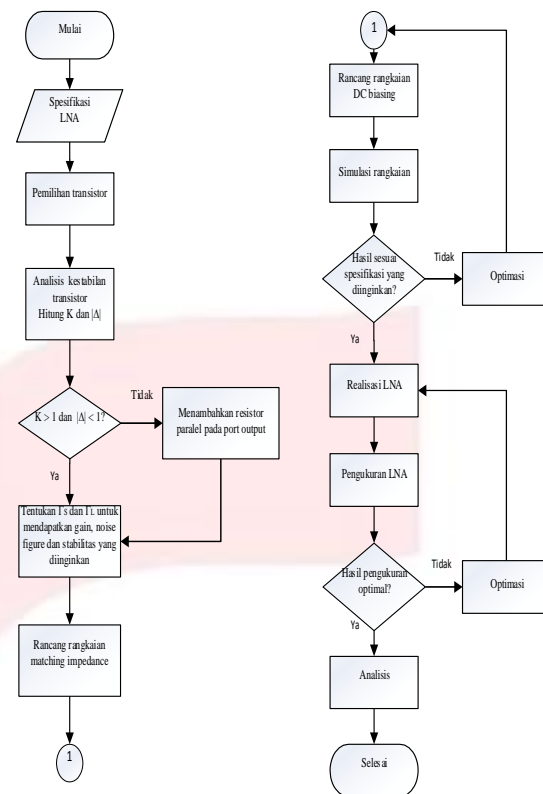
2.1 Low Noise Amplifier

LNA merupakan suatu penguat yang digunakan dalam sistem telekomunikasi pada sisi *receiver* untuk menguatkan sinyal yang lemah yang diterima oleh suatu antenna dengan meminimalkan *noise* pada perangkat tersebut. Parameter yang perlu diperhatikan dalam perancangan LNA yaitu *gain*, *noise figure*, *input* dan *output impedance matching* serta kestabilan^{[3][4]}. Arsitektur LNA terdiri dari tiga tahap perancangan. Tahap pertama adalah dibutuhkan transformasi impedansi sumber ke sebuah impedansi yang *match* dengan impedansi *input* atau *optimal noise impedance*. Tahap kedua adalah sebuah penguat dengan *noise* yang rendah, dalam perancangan ini menggunakan transistor. Dan tahap terakhir adalah transformasi impedansi *output* ke sebuah impedansi yang *match* dengan impedansi beban^[2]. Pada rangkaian LNA dibutuhkan rangkaian DC biasing supaya transistor yang digunakan sebagai penguat dapat bekerja sesuai titik kerjanya.

3. Simulasi dan Realisasi LNA

3.1 Diagram alir perancangan

Berikut merupakan diagram alir proses perancangan dan realisasi LNA :



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan dan realisasi LNA

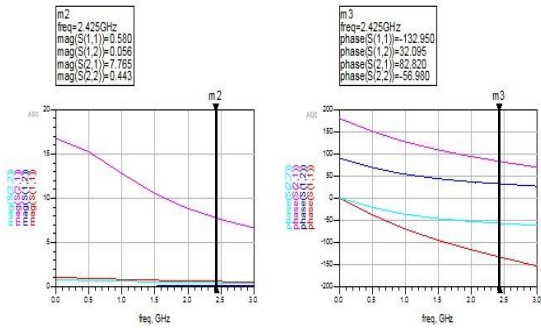
3.2 Spesifikasi LNA

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

1. Frekuensi kerja : 2.4-2.45 GHz
2. Frekuensi tengah : 2.425 GHz
3. *Bandwidth* : 0.05 GHz
4. *Gain* : ≥ 15 dB
5. *Noise Figure* : ≤ 2 dB
6. Faktor kestabilan : > 1
7. *Input dan Output Return Loss* : < -10 dB

3.3 Pemilihan Transistor

Dalam perancangan ini transistor yang digunakan sebagai komponen aktif penguat adalah ATF 55143 dengan DC bias $V_{DS} = 3V$, $I_{DS} = 30mA$ dan transistor akan bekerja sesuai titik kerjanya apabila diberi $V_{GS} = 0.56V$. Pada frekuensi 2.425 GHz, *gain* maksimal yang dihasilkan oleh transistor ini sekitar 21.4 dB sedangkan *noise figure* yang dihasilkan sekitar 0.494 dB dimana sudah sesuai dengan spesifikasi *gain* dan *noise figure* yang diinginkan. Adapun parameter S pada transistor yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Hasil simulasi parameter s dari transistor ATF 55143

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

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

$$1 + \Delta^2 - S_{11}^2 - S_{22}^2$$

$$K = \frac{|S_{21}|^2}{|S_{11}|^2 |S_{22}|^2} \quad (3.2)$$

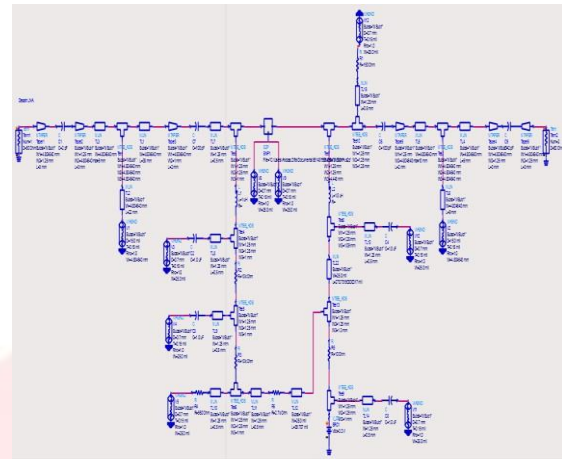
didapatkan nilai $\Delta = 0.36 \angle -101.268$ dan $K=0.686$

yang artinya kondisi transistor tidak stabil (*potentially unstable*) karena $\Delta < 1$ dan $K < 1$. Nilai kestabilan dapat dinaikkan dengan menambahkan resistor paralel pada port *output* (kaki *drain*). Pada perancangan ini digunakan resistor bernilai 150 Ω sehingga didapatkan paramater S yang berbeda yang menghasilkan $\Delta=0.187 \angle -84.472$ dan $K=1.003$ sehingga

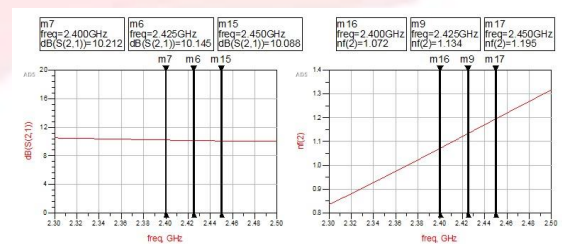
transistor menjadi *unconditionally stable*.

3.4 Simulasi Desain LNA

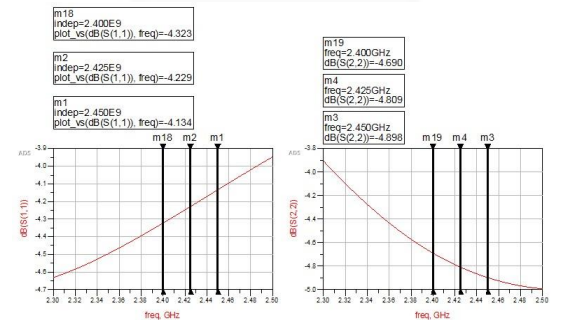
Pada tugas akhir ini, LNA dirancang menggunakan metode *single stage amplifier* dengan *bilateral design*. Rangkaian LNA membutuhkan penyepadanan baik dari Z_s ke Z_o maupun Z_L ke Z_o . Nilai Z_s dan Z_L didapatkan dari simulasi pada kondisi *simultaneous conjugate match*. Pada gambar 3.2 dapat dilihat rangkaian LNA secara keseluruhan yang terdiri dari rangkaian *stub matching*, rangkaian DC *biasing* dan transistor ATF 55143. Dan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 3.3.



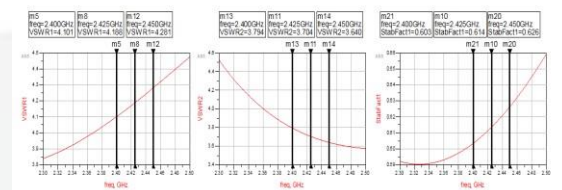
Gambar 3.3 rangkaian LNA pada skematik



(a)



(b)



(c)

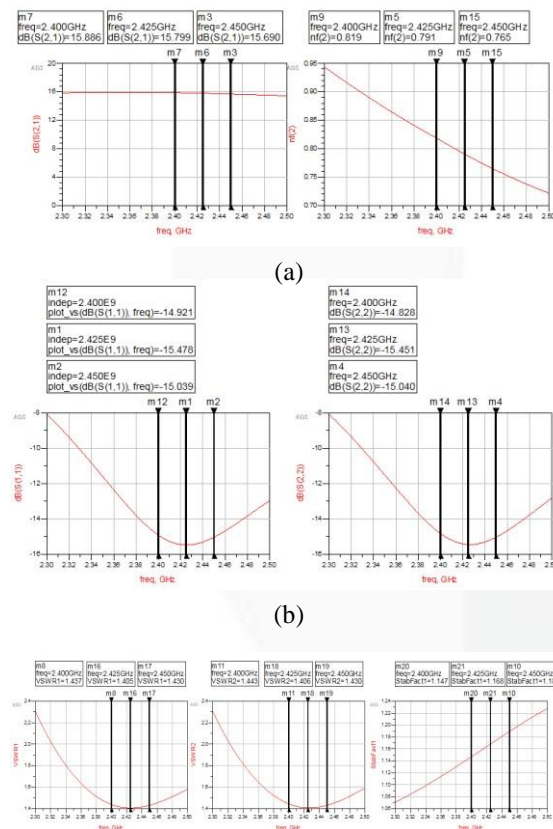
Gambar 3.4 Hasil Simulasi Rangkaian LNA
(a) Gain dan noise figure (b) input dan output return loss (c) VSWRin, VSWRout dan faktor kestabilan

Hasil simulasi pada gambar 3.4 masih belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dimana *gain* yang dihasilkan pada frekuensi operasi (2.425 GHz) hanya 10.145 dB, sedangkan *noise figure* yang dihasilkan sebesar 1.134 dB. *VSWR input* dan *output* > 2 yang artinya jauh dari spesifikasi yang

telah ditentukan . Sedangkan untuk faktor kestabilan menjadi < 1 sehingga resistor 150 Ω perlu diganti nilainya karena juga berpengaruh pada rangkaian DC *biasing* yang membuat transistor tidak bekerja sesuai titik kerjanya.

3.5 Optimasi Desain LNA

Pada optimasi desain LNA yang perlu diperhatikan yaitu rangkaian *impedance matching* baik *input* maupun *output*. Optimasi rangkaian dengan mengubah-ubah panjang stub atau jarak stub dari transistor. Setelah dilakukan optimasi untuk rangkaian *impedance matching*, hal yang perlu diperhatikan selanjutnya ada rangkaian DC *biasing*. Ketika dilakukan analisis DC, resistor 150 Ω yang digunakan untuk meningkatkan nilai kestabilan transistor menyebabkan transistor tidak bekerja sesuai titik kerjanya sehingga perlu diganti dengan resistor 10 k Ω yang telah diperiksa tidak mempengaruhi rangkaian DC *biasing*. Berikut hasil simulasi rangkaian LNA yang telah dioptimasi :



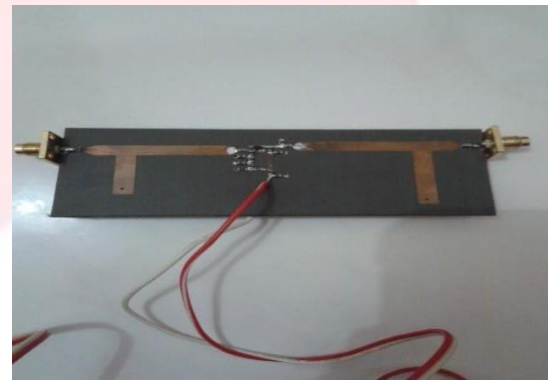
Gambar 3.5 Hasil simulasi rangkaian LNA optimasi (a) *Gain* dan *noise figure* (b) *input* dan *output return loss* (c) *VSWRin*, *VSWRout* dan faktor kestabilan

Dari hasil simulasi pada gambar 3.7, dihasilkan *gain* sebesar 15.799 dB, *noise figure* sebesar 0.791 dB, *VSWR input* sebesar 1.405 dan *VSWR output*

sebesar 1.406 serta nilai faktor kestabilannya 1.168 Sehingga dapat dikatakan bahwa perancangan simulasi sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

3.6 Realisasi LNA

Berikut adalah gambar realisasi yang sudah dirancang :



Gambar 3.6 Realisasi rangkaian LNA

LNA tersebut memiliki dimensi 10.2 x 4.2 cm.

3.7 Pengujian Realisasi Rangkaian LNA

Pengujian ini dilakukan setelah dilakukan optimasi pada rangkaian realisasi LNA yaitu dengan memeriksa rangkaian DC *biasing* dimana nilai R2 diubah menjadi 2.4 k Ω karena transistor bekerja tidak sesuai dengan titik kerja yang telah ditentukan. Pengukuran parameter LNA dilakukan menggunakan *spectrum analyzer*.

a. Gain

Pada pengujian ini, rangkaian LNA diberi *input* sebesar 0 dBm dari *signal generator* karena sebelum *port input* LNA diletakkan *attenuator* sebesar 20 dB dan dilakukan *sweep* frekuensi dari 2.37 GHz sampai 2.5 GHz serta dicatu dengan tegangan 3.3 volt dari *power DC supply*.

Hasil pengujian yang dilakukan pada realisasi rangkaian LNA yang telah dioptimasi adalah sebagai berikut:



Gambar 3.7 Hasil *output* optimasi rangkaian LNA pada *spectrum analyzer*

Pada gambar 3.7 dapat disimpulkan hasil *output* rangkaian LNA dalam tabel berikut :

Tabel 3.1 Hasil *ouput* rangkaian LNA

Frekuensi (GHz)	Input (dBm)	Output (dBm)
2.3936	-20	-15.84
2.4250	-20	-15.87
2.4501	-20	-15.83

Parameter *gain* didapatkan menggunakan persamaan berikut :

$$LNA_{out} = LNA_{in} - attenuator + Gain - attenuator - loss_{cable}$$

$$Gain = LNA_{out} - LNA_{in} + attenuator + attenuator + loss_{cable}$$

(3.3)

Pada pengujian ini digunakan kabel yang memiliki *loss* 1.5 dB dan *attenuator* sebesar 20 dB yang ditempatkan sebelum *port input* rangkaian LNA dan 10 dB setelah *port output* rangkaian LNA. Dengan persamaan (3.3) maka diperoleh *gain* pada masing-masing frekuensi *bandwidth* LNA:

Tabel 3.2 *Gain* yang dihasilkan pada realisasi rangkaian LNA

Frekuensi (GHz)	Gain (dB)
2.4	15.66
2.425	15.63
2.45	15.67

Hasil *gain* yang dihasilkan pada realisasi sudah sesuai dengan hasil simulasi menggunakan *software* ADS meskipun terdapat sedikit perbedaan sehingga *gain* yang dihasilkan pada realisasi rangkaian LNA sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dalam simulasi rangkaian LNA pada frekuensi yang dibutuhkan yaitu 2.425 GHz menghasilkan *gain* sebesar 15.799 dB sedangkan pada realisasi, *gain* yang dihasilkan hanya sebesar 15.63 dB. Perbedaan hasil realisasi dengan hasil simulasi rangkaian LNA

hanya sedikit yaitu sebesar 0.136 dB. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh dalam penyolderan pada komponen-komponen rangkaian LNA sehingga tidak mungkin dihasilkan parameter *gain* yang sama persis dengan hasil simulasi nya. Pada tabel 4.4, dapat disimpulkan nilai *gain* terbesar berada di frekuensi atas yaitu 2.45 GHz sebesar 15.67 dB dan nilai *gain* terendah berada di frekuensi tengah yaitu 2.425 GHz sebesar 15.67 dB.

b. Noise Figure (NF)

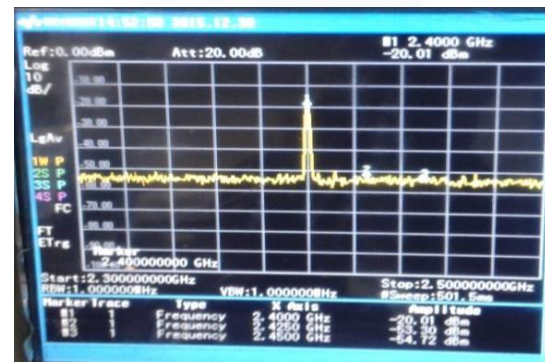
Paramater NF dapat dihitung dengan membandingkan *S/N input* dengan *S/N output* yang ditampilkan pada *spectrum analyzer*, sehingga dapat disimpulkan menggunakan persamaan berikut :

$$NF(dB) = SNR_{in} - SNR_{out} \tag{3.4}$$

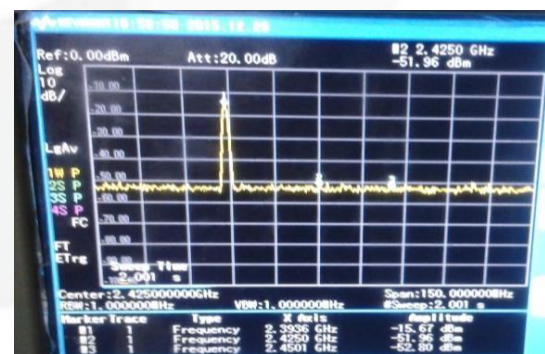
$$SNR_{in} = Input_{signal} - Input_{noise} \tag{3.5}$$

$$SNR_{out} = Output_{signal} - Output_{noise} \tag{3.6}$$

Analisis NF dilakukan per frekuensi pada *bandwidth* LNA. Berikut ini adalah hasil *input* dan *output* LNA *single frequency* pada *spectrum analyzer* :



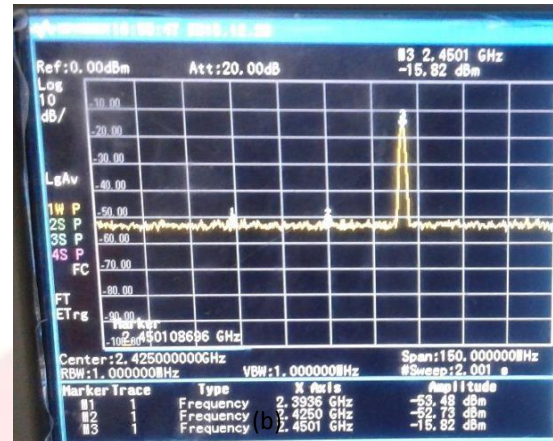
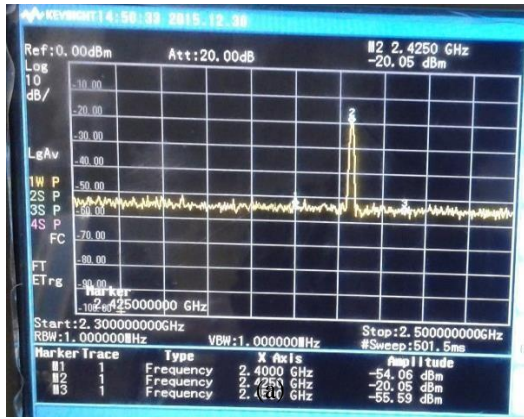
(a)



(b)

Gambar 3.8 Tipe level daya dan *noise* frekuensi 2.4 GHz

(a) *Input* LNA (b) *Output* LNA



Gambar 3.10 Tipe level daya dan noise frekuensi 2.45 GHz (a) Input LNA (b) Output LNA



Gambar 3.9 Tipe level daya dan noise frekuensi 2.425 GHz (a) Input LNA (b) Output LNA

Perhitungan NF menggunakan persamaan (3.4-3.6) berdasarkan hasil *input* dan *output* LNA pada gambar 3.8-3.10 dapat dilihat dalam tabel 3.3 :

Tabel 3.3 Perhitungan noise figure

Frekuensi (GHz)	Input (dBm)		Output (dBm)		SNR _{in} (dB)	SNR _{out} (dB)	NF (dB)
	Signal	Noise	Signal	Noise			
2.4	-20.01	-54.72	-15.67	-52.80	34.71	37.13	-2.42
2.425	-20.05	-55.59	-15.76	-54.32	35.54	38.56	-3.02
2.45	-20.00	-54.33	-15.82	-53.48	34.33	37.66	-3.33

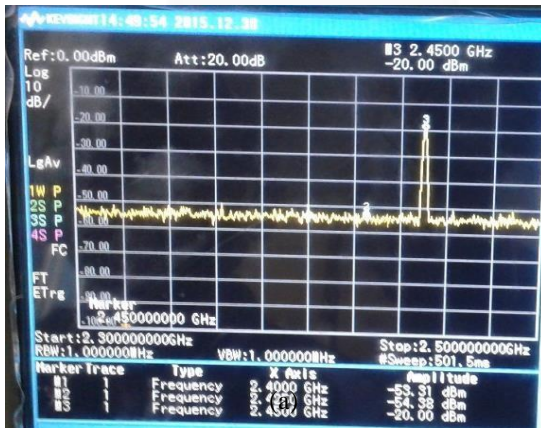
Pada tabel 3.3 NF memiliki nilai negatif yang artinya adalah *loss*. Pada hasil perhitungan NF pada masing-masing frekuensi tersebut bisa dibidang cukup besar karena pada spesifikasi yang diinginkan adalah kurang dari 2 dB sedangkan pada pengujian realisasi rangkaian LNA menghasilkan NF lebih dari 2 dB. Hasil perhitungan NF bisa dikatakan tidak akurat karena level daya *noise* yang dipilih bukan merupakan nilai rata-rata dari daya *noise* tersebut melainkan hanya nilai daya *noise* yang mendekati sebagaimana yang ditampilkan pada *spectrum analyzer*.

4. Kesimpulan dan saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan analisis pada rangkaian LNA dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian dihasilkan *gain* pada frekuensi operasi (2.425 GHz) sebesar 15.63 dB yang mana sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.



2. Pada *bandwidth* LNA yang telah dirancang dari pengujian, *gain* tertinggi dihasilkan pada frekuensi atas yaitu frekuensi 2.45 GHz sebesar 15.67 dB sedangkan *gain* terendah dihasilkan pada frekuensi operasi yaitu 2.425 sebesar 15.63 dB.
3. Pada pengujian dilakukan perhitungan *noise figure* dengan membandingkan *SNR_{in}* dan *SNR_{out}*. Pada frekuensi 2.425 GHz, LNA menghasilkan *noise figure* sebesar 3.02 dB yang mana tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu ≤ 2 dB.
4. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa pada *bandwidth* LNA yang dirancang, *noise figure* tertinggi dihasilkan pada frekuensi bawah yaitu 2.45 GHz sebesar 3.33 dB sedangkan *noise figure* terendah dihasilkan pada frekuensi atas yaitu 2.45 GHz sebesar 2.42 dB.
5. Perancangan LNA menggunakan metode *simultaneous conjugate match* digunakan untuk menghasilkan *gain* maksimum sebesar 20.771 dB pada frekuensi 2.425 GHz tanpa mempertimbangkan besar *noise figure* yang dihasilkan.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada perancangan LNA yang perlu diperhatikan yaitu komponen transistor dimana komponen ini sangat sensitif sehingga harus dirancang dengan teliti agar dapat bekerja sesuai titik kerjanya supaya dapat menghasilkan *gain* dan *noise figure* sesuai spesifikasi yang diinginkan.
2. Menggunakan metode perancangan *matching* untuk *noise figure* supaya didapatkan *noise figure* minimal karena pada perancangan LNA yang perlu diperhatikan adalah *noise figure* yang dihasilkan seminimal mungkin.
3. Pengukuran LNA seharusnya dilakukan menggunakan *network analyzer*, supaya dapat diketahui nilai parameter S pada realisasi rangkaian LNA. Akan tetapi dibutuhkan DC *block module* supaya tidak ada arus bocor yang masuk ke alat ukur tersebut yang mana akan berakibat fatal.
4. Dibutuhkan alat ukur *noise figure analyzer* supaya hasil pengukuran *noise figure* lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putranto, Anton Nugroho Dwi. 2009. *Simulasi dan Desain LNA (Low Noise Amplifier) pada frekuensi 2,3 GHz*. Jakarta : Universitas Indonesia.

- [2] Mutmainah, Siti. 2013. *Perancangan dan Implementasi RF-Downlink pada S-Band Frekuensi 2400 MHz untuk Stasiun Bumi Satelit Nano*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- [3] 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.
- [4] Rahmawati, Destia. 2014. *Perancangan dan Realisasi Low Noise Amplifier (LNA) 1,265-1,275 GHz untuk Aplikasi Synthetic Aperture Radar (SAR)*. Bandung : Universitas Telkom
- [5] Gonzales, Guillermo. *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design 2nd Edition*, Prentice-Hall. 1997.
- [6] Chang, Kai. *Microwave Solid-State Circuit and Application*. John Wiley & Sons, USA. 1994.
- [7] Chang, Kai. *RF and Microwave Wireless Systems*. John Wiley & Sons, USA. 2000.
- [8] Agilent ATF-55143 *Low Noise Enhancement Mode Pseudomorphic HEMT in a Surface Mount Plastic Package*, Datasheet, Agilent Technologies.