

PERANCANGAN DAN REALISASI *LOW NOISE AMPLIFIER* (LNA) 1,265-1,275 GHz UNTUK APLIKASI *SYNTHETIC APERTURE RADAR* (SAR)

Destia Rahmawati¹, Dr. Heroe Wijanto, Ir., MT.², Budi Syihabuddin ST., MT.³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹destia_rahmawati@yahoo.com, ²heroe.wijanto@gmail.com, ³bsyihabuddin@gmail.com

Abstrak

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah salah satu teknologi radar yang dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan *optical camera* yang telah lebih dahulu digunakan untuk aplikasi penginderaan permukaan bumi dalam jarak jauh (*remote sensing*), yang memanfaatkan prinsip kerja gelombang elektromagnetik sebagai sarana pengambilan data. SAR ini bekerja pada frekuensi 1,265-1,275 GHz (L-Band), dengan frekuensi tengah 1,27 GHz. Sinyal yang dikirimkan oleh SAR mengenai permukaan bumi dan dipantulkan sehingga diterima kembali oleh SAR dan diproses di dalam *receiver*. Karena level daya sinyal yang sangat lemah ketika diterima oleh antena penerima, maka setelah dikuatkan oleh antena penerima, 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 sebuah LNA yang dapat bekerja pada frekuensi 1,265-1,275 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 2011.10* (ADS 2011.10). Komponen aktif yang digunakan adalah *Hetero Junction Field Effect Transistor* (HJ-FET) tipe NE3508M04 yang memiliki *gain* maksimum sebesar 21,757 dB pada frekuensi 1,27 GHz, sehingga digunakan metode *single stage amplifier* dengan *bilateral design* dalam perancangan dan realisasi LNA.

Pengujian kinerja LNA dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan spesifikasi awal perancangan. Dari hasil pengukuran diperoleh *gain* yang dihasilkan pada frekuensi 1,27 GHz adalah 17,53 dB dengan *noise figure* 10,7 dB. VSWR input 16,336 dan VSWR output 1,595, serta impedansi *input* (6,842 - j55,03) Ω dan impedansi *output* (56,3 - j24,15) Ω .

Kata kunci: *Low Noise Amplifier* (LNA), *Gain*, *Noise Figure*, *Synthetic Aperture Radar* (SAR), *Agilent's Advanced Design System 2011.10* (ADS 2011.10)

Abstract

Synthetic Aperture Radar (SAR) is one of the radar technology that was developed to overcome the limitations of optical cameras, which had previously been used for earth surface observation or remote sensing application, which utilizes the working principle of electromagnetic waves for data collection. This SAR work at frequency range 1.265-1.275 GHz (L-Band), with a center frequency of 1.27 GHz. Signal transmitted by SAR on the earth's surface and reflected back, then received and processed by SAR receiver. Because of the received signal power level is very low when it is received by the receiving antenna, then after being amplified by the receiver antenna, the signal needs to be re-amplified by the low noise amplifier (LNA) in order to have high enough power level with low noise level that can be processed by the next stage.

In this Final Project, LNA is designed and realized that can work at frequency range 1.265-1.275 GHz. The LNA specification is assigned as follow: *gain* of ≥ 20 dB and *noise figure* of ≤ 5 dB. The *Agilent's Advanced Design System 2011.10* (ADS 2011.10) is used for the LNA design and simulation. The *Hetero Junction Field Effect Transistor* (HJ-FET) NE3508M04 is used as the active component which has 21.757 dB of maximum *gain* at 1.27 GHz, so it is used the *single stage amplifier* method with *bilateral design* in the LNA design and realization.

Performance test of the LNA has been done by comparing the measurement result and the design specification. From the measurement result it is known that the LNA at frequency 1.27 GHz has *gain* of 17.53 dB and *noise figure* of 10.7 dB. Input VSWR of 16.336 and output VSWR of 1.595, with input impedance of (6.842 - j55.03) Ω and output impedance of (56.3 - j24.15) Ω .

Keywords: *Low Noise Amplifier* (LNA), *Gain*, *Noise Figure*, *Synthetic Aperture Radar* (SAR), *Agilent's Advanced Design System 2011.10* (ADS 2011.10)

1. Pendahuluan

Salah satu proyek dari Aerospace and eXploration Center (AXC) Universitas Telkom adalah akan mengembangkan satelit mikro yang mengorbit pada orbit LEO dengan ketinggian 600 hingga 700 km, sebagai wahana pembelajaran *space engineering*. Namun, sebelum mengembangkan satelit mikro tersebut, terlebih

dahulu dimulai dengan pengembangan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) pada ketinggian 1 hingga 4 km, sebagai uji coba sistem sebelum satelit mikro tersebut diluncurkan. Salah satu sub sistem (*payload*) yang terdapat pada satelit mikro maupun UAV ini adalah *Synthetic Aperture Radar* (SAR). SAR adalah salah satu teknologi radar yang dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan

optical camera yang telah lebih dahulu digunakan untuk aplikasi penginderaan permukaan bumi dalam jarak jauh (*remote sensing*), yang memanfaatkan prinsip kerja gelombang elektromagnetik sebagai sarana pengambilan data, yang bekerja pada frekuensi 1,265-1,275 GHz (L-Band), dengan frekuensi tengah 1,27 GHz.

SAR ini secara umum tersusun oleh *transmitter*, *receiver*, *onboard signal processing*, *S-band transmitter* dan *ground station*. *Transmitter* terdiri dari *chirp generator*, *bandpass filter* (BPF), *local oscillator* (LO), *power amplifier* (PA), switch untuk pemilihan jenis polarisasi antena dan antena pengirim dengan polarisasi sirkular. Di dalam *transmitter* ini, sinyal diproses dan kemudian dikirimkan oleh antena pengirim yang akan mengenai permukaan bumi. Setelah mengenai permukaan bumi, sinyal akan dipantulkan kembali dan diterima oleh antena penerima dengan polarisasi sirkular pada bagian *receiver*, yang selanjutnya diproses kembali oleh *low noise amplifier* (LNA), *bandpass filter* (BPF), *I/Q demodulator*, *analog to digital converter* (ADC), *temporary memory*, *onboard signal processing* (OSP) dan data dikirimkan ke *ground station* oleh *S-band transmitter*^[12]. Karena level daya sinyal yang sangat lemah ketika diterima oleh antena penerima pada bagian *receiver*, maka setelah dikuatkan oleh antena penerima, 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.

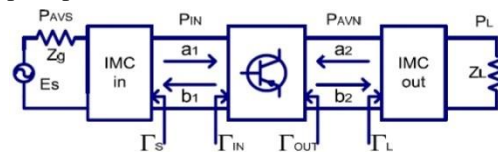
Berdasarkan permasalahan di atas, maka pada Tugas Akhir ini penulis merancang dan merealisasikan salah satu perangkat pendukung, yaitu *low noise amplifier* (LNA) untuk SAR tersebut. LNA yang dirancang dan direalisasikan bekerja pada frekuensi 1,265-1,275 GHz dengan *gain* sebesar ≥ 20 dB dan *noise figure* ≤ 5 dB.

2. Dasar Teori

2.1 Low Noise Amplifier (LNA)

Low Noise Amplifier (LNA) adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memperkuat sinyal yang diterima dari antena penerima serta meredam *noise* yang terjadi pada sinyal tersebut. Artinya ketika dilakukan penguatan pada daya sinyal, tidak diiringi dengan penguatan pada daya *noise*. LNA merupakan sebuah komponen penting pada bagian *receiver* dalam realisasi sistem komunikasi nirkabel, satelit, maupun teknologi radar^[11]. Dalam sistem komunikasi tersebut, sinyal yang ditangkap oleh antena penerima merupakan sinyal yang sangat lemah yang sudah terinterferensi oleh *noise*. Oleh karena itu, dibutuhkan LNA yang berfungsi untuk menguatkan level daya sinyal yang sangat lemah yang ditangkap oleh antena penerima, dengan hanya menambahkan *noise* yang sangat kecil (*noise figure*nya kecil)^[7]. Parameter yang

perlu diperhatikan dalam perancangan LNA yaitu *gain*, *noise figure*, *input* dan *output matching impedance*, serta kestabilan^[3]. Secara umum, LNA terdiri dari blok komponen aktif dan rangkaian *matching impedance* pada input maupun output, seperti pada Gambar 2.1.

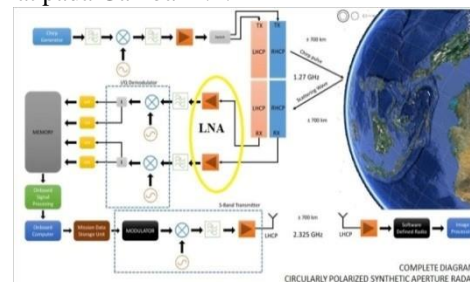


Gambar 2.1 Blok Diagram LNA^[1]

2.2 LNA pada Synthetic Aperture Radar (SAR)

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah salah satu teknologi radar yang dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan *optical camera* yang telah lebih dahulu digunakan untuk aplikasi penginderaan permukaan bumi dalam jarak jauh (*remote sensing*), yang memanfaatkan prinsip kerja gelombang elektromagnetik sebagai sarana pengambilan data.

SAR ini secara umum tersusun oleh *transmitter*, *receiver*, *onboard signal processing*, *S-band transmitter* dan *ground station*. *Transmitter* terdiri dari *chirp generator*, *bandpass filter* (BPF), *local oscillator* (LO), *power amplifier* (PA), switch untuk pemilihan jenis polarisasi antena dan antena pengirim dengan polarisasi sirkular. Di dalam *transmitter* ini, sinyal diproses dan kemudian dikirimkan oleh antena pengirim yang akan mengenai permukaan bumi. Setelah mengenai permukaan bumi, sinyal akan dipantulkan kembali dan diterima oleh antena penerima dengan polarisasi sirkular pada bagian *receiver*, yang selanjutnya diproses kembali oleh *low noise amplifier* (LNA), *bandpass filter* (BPF), *I/Q demodulator*, *analog to digital converter* (ADC), *temporary memory*, *onboard signal processing* (OSP) dan data dikirimkan ke *ground station* oleh *S-band transmitter*^[12]. Karena level daya sinyal yang sangat lemah ketika diterima oleh antena penerima pada bagian *receiver*, maka setelah dikuatkan oleh antena penerima, 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. Blok diagram sistem SAR dapat dilihat pada Gambar 2.2.

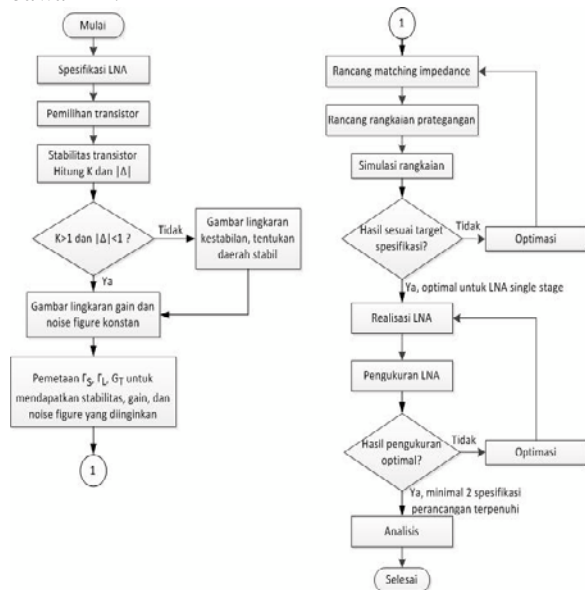


Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem SAR^[12]

3. Perancangan dan Realisasi LNA

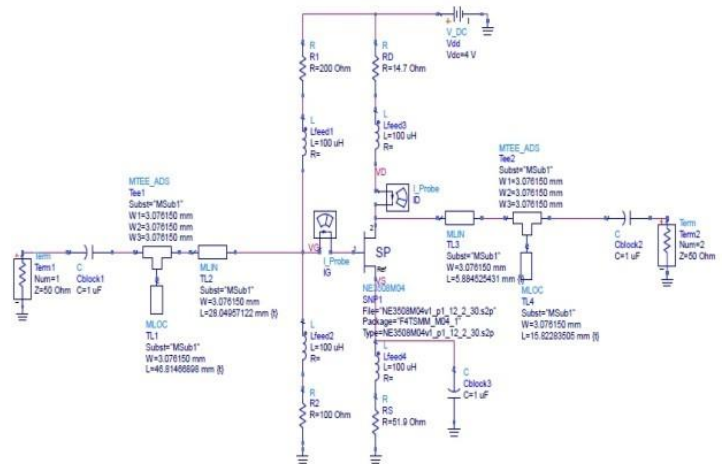
3.1 Diagram Alir Perancangan

Langkah-langkah dalam perancangan dan realisasi LNA 1,27 GHz secara keseluruhan dapat dijelaskan dengan diagram alir pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan dan Realisasi LNA 1,27 GHz

yang dihasilkan pada frekuensi 1,27 GHz adalah 15,375 dB dengan *noise figure* 0,936 dB dan *VSWR input* 10,245 serta *VSWR output* 1,849, yang berarti nilai ini belum memenuhi nilai awal perancangan. Yaitu pada frekuensi 1,27 GHz diinginkan LNA memiliki *gain* sebesar 20 dB dengan *noise figure* ≤ 5 dB dan *VSWR input* maupun *output* $\leq 1,5$, sehingga perlu dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan sesuai dengan target spesifikasi awal perancangan tersebut.



Gambar 3.2 Desain LNA

3.2 Spesifikasi LNA

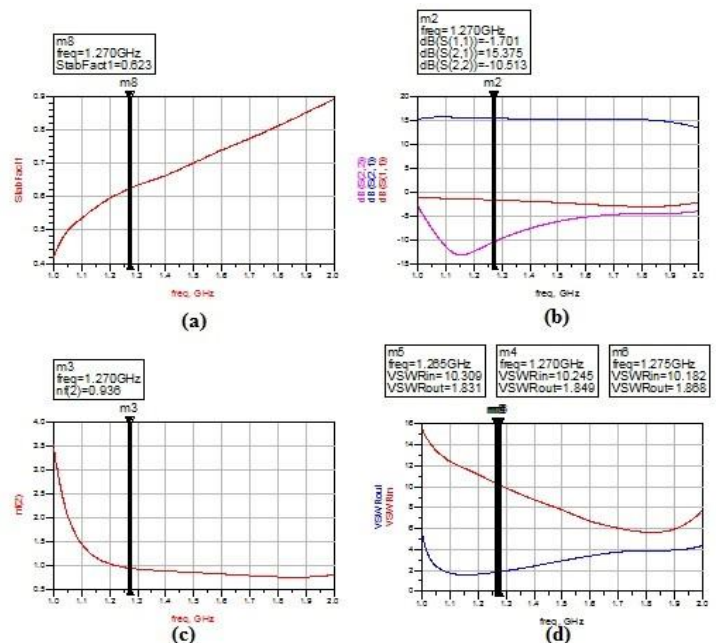
Single stage LNA yang dirancang adalah mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Bapak Josaphat Tetuko Sri Sumantyo di Chiba University, Jepang. Yaitu dengan spesifikasi sebagai berikut^[12]:

1. Frekuensi kerja : 1,265-1,275 GHz
2. Frekuensi tengah : 1,27 GHz
3. Impedansi *input* : 50 Ω
4. Impedansi *output* : 50 Ω
5. *VSWR input* : $\leq 1,5$
6. *VSWR output* : $\leq 1,5$
7. *Gain* : ≥ 20 dB
8. *Noise figure* : ≤ 5 dB

3.3 Simulasi Desain LNA

LNA *single stage* dirancang dengan metode *bilateral design*, yaitu tidak mengasumsikan $S_{12}=0$, yang kemudian nilai Γ_s dipilih dari persinggungan antara lingkaran *gain* konstan dan lingkaran *noise figure* konstan, dan nilai Γ_L diperoleh dari hasil perhitungan, yang digunakan untuk membuat rangkaian *matching impedance*. Desain rangkaian LNA *single stage* dengan simulasi ADS dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Dari hasil simulasi pada Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa faktor kestabilan LNA bernilai 0,623 yang artinya kemungkinan dapat menyebabkan terjadinya ketidakstabilan pada transistor karena syarat kestabilan adalah nilai $K > 1$. Selain itu, *gain*

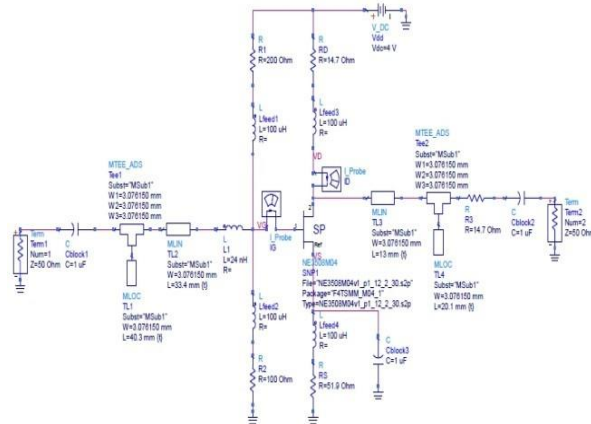


Gambar 3.3 Hasil Simulasi Desain LNA (a) Faktor Kestabilan; (b) *Gain*; (c) *Noise Figure*; (d) *VSWR*

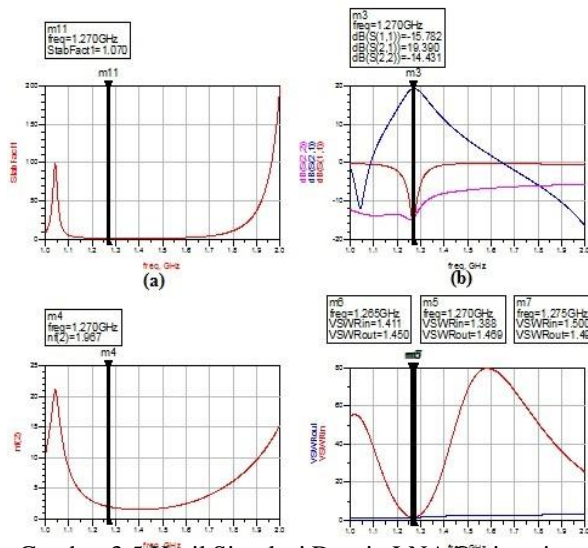
3.4 Optimasi Desain LNA

Optimasi yang dilakukan pertama kali adalah dengan meningkatkan nilai faktor kestabilan agar menjadi $K > 1$, yaitu dengan menambahkan resistor sebesar 14,7 Ω pada *input* rangkaian dengan cara perhitungan dengan bantuan *smith chart*^{[3][5]} dan pada *output* rangkaian dengan menambahkan induktor sebesar 24 nH dengan

metode *trial and error*^[4]. Setelah faktor kestabilan diperoleh $K > 1$, optimasi yang dilakukan adalah dengan melakukan penyesuaian panjang saluran (d) serta panjang stub (l) baik pada *input* maupun *output* rangkaian *matching impedance*, yaitu agar diperoleh nilai *gain*, *noise figure* maupun *VSWR* yang sesuai dengan nilai awal perancangan dan optimal untuk sebuah LNA *single stage*. Desain rangkaian LNA setelah dilakukan optimasi dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan hasil simulasinya pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Desain LNA Optimasi



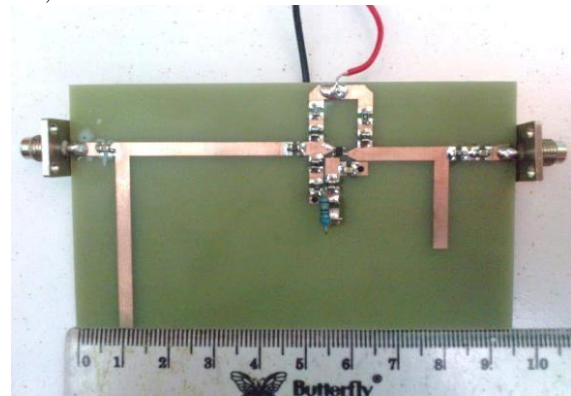
Gambar 3.5 Hasil Simulasi Desain LNA Optimasi (a) Faktor Kestabilan; (b) Gain; (c) Noise Figure; (d) VSWR

Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa hasil simulasi setelah dilakukan optimasi rangkaian menjadi lebih baik. Pada frekuensi 1,27 GHz terlihat bahwa faktor kestabilan $K > 1$ yaitu sebesar 1,070, *gain* yang dapat dicapai adalah sebesar 19,390 dB dan *noise figure* sebesar 1,967 dB. Meskipun *gain* yang diperoleh setelah optimasi masih kurang di bawah target spesifikasi yang diinginkan yaitu *gain* sebesar 20 dB, namun besarnya *gain* dan *noise figure* ini sudah optimal

untuk sebuah LNA *single stage*. Dan dilihat dari hasil simulasi, *VSWR* pada frekuensi 1,265-1,275 GHz ini memiliki nilai $\leq 1,5$ dimana telah sesuai dengan spesifikasi awal perancangan, sehingga desain LNA ini dapat digunakan untuk LNA *single stage*.

3.5 Realisasi LNA

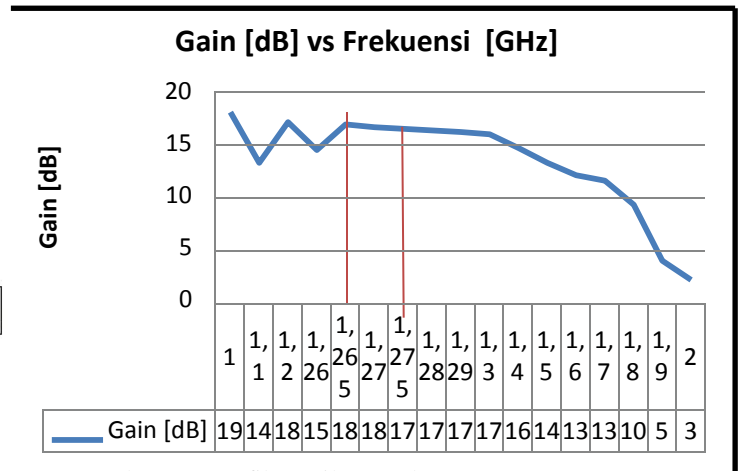
Hasil realisasi rangkaian LNA secara fisik dapat dilihat pada Gambar 3.6 dengan dimensi 9,5 x 5,6 cm.



Gambar 3.6 Realisasi LNA

4. Pengukuran dan Analisis

4.1 Hasil Pengukuran dan Analisis Gain



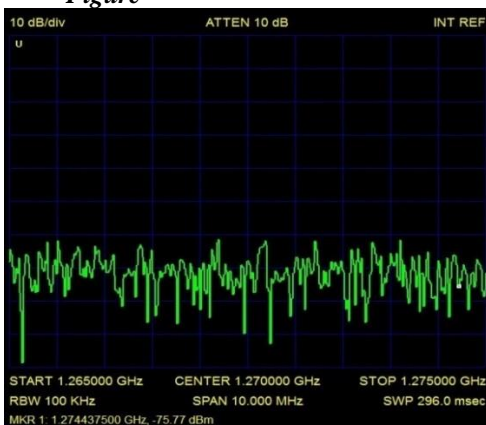
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengukuran Gain Rata-rata

Dari hasil pengukuran pada Gambar 4.1, dari grafik dapat dilihat bahwa LNA menghasilkan *gain* yang maksimum pada frekuensi 1 GHz yaitu sebesar 18,93 dB. Setelah itu terjadi penurunan *gain* pada frekuensi 1,1 GHz dan 1,26 GHz. Pada frekuensi 1,265-1,4 GHz LNA menghasilkan *gain* rata-rata di atas 15 dB dan di atas frekuensi 1,4 GHz *gain* terus mengalami penurunan hingga frekuensi 2 GHz.

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *gain* yang dihasilkan pada frekuensi 1,27 GHz adalah sebesar 17,53 dB. *Gain* sebesar 17,53 dB pada frekuensi 1,27 GHz ini masih jauh dari nilai yang diinginkan saat perancangan, yaitu sebesar 20 dB

dan hasil optimasi sebesar 19,390 dB. Hal ini dapat disebabkan karena perubahan nilai titik pategangan yang diakibatkan nilai toleransi komponen pasif, sehingga berubahnya titik pategangan juga mengakibatkan terjadinya perubahan nilai parameter S yang dimiliki oleh transistor pada frekuensi 1,27 GHz yang menyebabkan terjadinya pergeseran *gain* maksimum yaitu pada frekuensi 1 GHz. Namun *gain* sebesar 17,53 dB untuk *single stage* LNA dapat dikatakan sudah optimal.

4.2 Hasil Pengukuran dan Analisis Noise Figure



Gambar 4.2 Tampilan Daya Noise Total pada Frekuensi 1,27 GHz

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa daya *noise output* total pada frekuensi 1,27 GHz dengan *bandwidth* 10 MHz adalah -75,77 dBm. Dari pengukuran *gain* yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh *gain* pada frekuensi 1,27 GHz adalah sebesar 17,53 dB. Sehingga besarnya *noise figure* LNA pada frekuensi 1,27 GHz dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut^[13]:

$$\begin{aligned} NF &= P_{NOUT} - (-174 \text{ dBm/Hz} + 10 \cdot \log_{10}(BW) + \text{gain}) \\ &= -75,77 \text{ dBm} - (-174 \text{ dBm/Hz} + 10 \cdot \log_{10}(10 \times 10^6) + 17,53) \\ &= 10,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dari hasil pendekatan perhitungan *noise figure* dengan metode *gain*, diperoleh bahwa *noise figure* pada frekuensi 1,27 GHz adalah sebesar 10,7 dB. Nilai *noise figure* ini sangat besar dari nilai yang diinginkan saat perancangan yaitu di bawah 5 dB. Tingginya nilai *noise figure* hasil realisasi ini dapat disebabkan karena penggunaan komponen *lumped element* pada rangkaian pategangan. Dimana resistor yang digunakan menghasilkan panas sehingga menambah daya *noise* yang terdapat pada LNA. Selain itu dapat juga disebabkan karena jalur mikrostrip yang digunakan, terutama pada bagian *input matching impedance* dimana jalur mikrostrip yang digunakan untuk *input matching impedance* cukup panjang, dimana semakin panjang (semakin besar) jalur mikrostrip

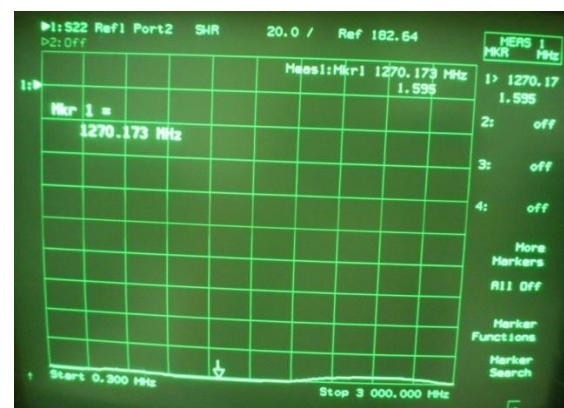
yang digunakan dapat menambah besarnya daya *noise* pada LNA.

4.3 Hasil Pengukuran dan Analisis VSWR serta Impedansi

Pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 terlihat bahwa pada frekuensi 1,27 GHz nilai VSWR *input* dan VSWR *output* memiliki nilai yang lebih besar dari spesifikasi perancangan, karena pada perancangan diinginkan nilai VSWR $\leq 1,5$. Pada frekuensi 1,27 GHz nilai VSWR *input* = 16,336 dan VSWR *output* = 1,595. Karena nilai VSWR *input* sebesar 16,336, maka pada bagian *input* LNA memiliki koefisien pantul sebesar 0,7825 dan koefisien transmisi sebesar 0,2174. Jika terdapat daya yang diterima pada LNA, maka daya yang diteruskan hanya 0,2174 kali dari daya yang diterima pada port *input*. Sehingga pada frekuensi 1,27 GHz, *gain* yang dapat dihasilkan adalah 0,2174 dari *gain* yang diperoleh dari hasil pengukuran, yaitu menjadi sebesar 10,854 dB. Nilai VSWR *input* terbaik berada pada frekuensi 2,14 GHz yaitu sebesar 2,607 dan nilai VSWR *output* terbaik berada pada frekuensi 1,366 GHz sebesar 1,574.



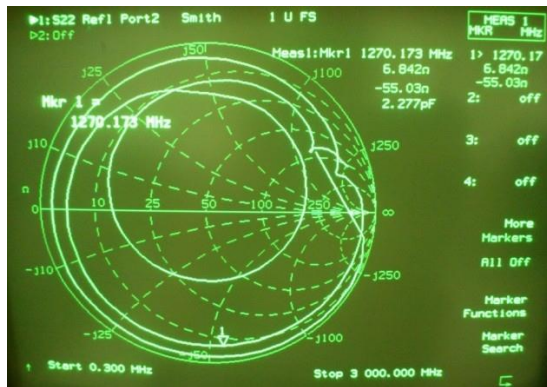
Gambar 4.3 VSWR Input pada Frekuensi 1,27 GHz



Gambar 4.4 VSWR Output pada Frekuensi 1,27 GHz

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 juga terlihat bahwa pada frekuensi 1,27 GHz besarnya impedansi baik pada port *input* maupun pada port

output masih belum memenuhi spesifikasi awal perancangan yaitu sebesar 50Ω . Nilai impedansi *input* pada frekuensi 1,27 GHz sebesar $(6,842 - j55,03) \Omega$ dan nilai impedansi *output* sebesar $(56,3 - j24,15) \Omega$. Nilai impedansi *input* terbaik diperoleh pada frekuensi 1,92 GHz sebesar $(50,01 + j91,59) \Omega$ dan pada frekuensi 2,786 GHz sebesar $(50,16 + j124,7) \Omega$. Sedangkan nilai impedansi *output* terbaik diperoleh pada frekuensi 1,314 GHz sebesar $(50,05 - j21,65) \Omega$, pada frekuensi 2,348 GHz sebesar $(50,1 + j111,5) \Omega$ dan pada frekuensi 2,838 GHz $(50,37 - j88,91) \Omega$.



Gambar 4.5 Impedansi *Input* pada Frekuensi 1,27 GHz



Gambar 4.6 Impedansi *Output* pada Frekuensi 1,27 GHz

Ketidaksesuaian nilai VSWR maupun impedansi hasil realisasi dengan spesifikasi ini berawal karena berubahnya nilai titik pratengahan yang disebabkan nilai toleransi komponen pasif, sehingga menyebabkan berubahnya nilai parameter S pada frekuensi 1,27 GHz. Perubahan nilai parameter S ini tentu menyebabkan nilai yang seharusnya untuk Γ_S dan Γ_L yang telah dipilih dan digunakan untuk merancang rangkaian *matching impedance* juga turut berubah, sehingga rangkaian *matching impedance* yang telah dirancang sebelumnya menjadi tidak tepat. Ketidaksesuaian juga dapat diakibatkan karena faktor penyolderan dan pembuatan jalur mikrostrip terutama dalam pembuatan *pad* untuk komponen SMD (*lumped element*).

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Hasil realisasi LNA masih belum sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh SAR. Namun dari hasil pengukuran diketahui bahwa LNA dapat bekerja pada frekuensi 1,265-1,275 GHz, dimana pada frekuensi 1,27 GHz LNA dapat menghasilkan *gain* sebesar 17,53 dB.
2. *Noise figure* yang dihasilkan pada frekuensi 1,27 GHz sangat besar yaitu 10,7 dB.
3. VSWR *input* pada frekuensi 1,27 GHz sebesar 16,336 dan VSWR *output* sebesar 1,595. Sedangkan VSWR *input* terbaik berada pada frekuensi 2,14 GHz yaitu sebesar 2,607 dan nilai VSWR *output* terbaik berada pada frekuensi 1,366 GHz sebesar 1,574.
4. Impedansi *input* pada frekuensi 1,27 GHz sebesar $(6,842 - j55,03) \Omega$ dan impedansi *output* sebesar $(56,3 - j24,15) \Omega$. Impedansi *input* terbaik diperoleh pada frekuensi 1,92 GHz sebesar $(50,01 + j91,59) \Omega$ dan pada frekuensi 2,786 GHz sebesar $(50,16 + j124,7) \Omega$. Sedangkan impedansi *output* terbaik pada frekuensi 1,314 GHz sebesar $(50,05 - j21,65) \Omega$, pada frekuensi 2,348 GHz sebesar $(50,1 + j111,5) \Omega$ dan pada frekuensi 2,838 GHz $(50,37 - j88,91) \Omega$.
5. Pergeseran *gain* maksimum yang dihasilkan, *noise figure*, VSWR maupun impedansi disebabkan karena berubahnya titik pratengahan yang merupakan poin penting dalam merancang sebuah LNA, yaitu bagaimana membuat sebuah rangkaian yang dapat membuat transistor bekerja tanpa mengubah nilai parameter S yang merupakan karakteristik yang dimiliki oleh transistor pada frekuensi kerja yang diinginkan. Selain itu dikarenakan faktor penyolderan komponen terutama pada transistor yang menyebabkan kinerja transistor menurun.
6. Berdasarkan hasil simulasi, penambahan resistor secara seri sebesar $14,7 \Omega$ pada *output* rangkaian dan penambahan induktor secara seri sebesar 24 nH pada *input* rangkaian LNA dapat meningkatkan faktor kestabilan $K > 1$.
7. Berdasarkan hasil simulasi, nilai VSWR $\leq 1,5$ dapat diperoleh dengan melakukan penyesuaian panjang saluran maupun panjang stub pada rangkaian *matching impedance* baik pada bagian *input* maupun *output* rangkaian LNA.

5.2 Saran

Untuk perbaikan dan pengembangan penelitian mengenai Tugas Akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis berikan yaitu:

1. Sebaiknya pilih transistor dengan faktor kestabilan $K > 1$ atau gunakan *Monolithic Microwave Integrated Circuits* (MMIC) agar lebih stabil dan pastikan bahwa MMIC yang

- digunakan memiliki *tools* (model) dan parameter yang lengkap untuk digunakan dalam perancangan LNA pada software ADS, yaitu parameter untuk simulasi rangkaian prategangan, *gain*, *noise figure* maupun VSWR. Kemudian cek apakah data parameter S dan parameter *noise* pada ADS transistor model sesuai dengan yang terdapat pada *datasheet*.
2. Pemilihan komponen pasif SMD sebaiknya dilakukan melalui pemesanan agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu dengan nilai toleransi yang minimal.
 3. Usahakan jangan menyentuh komponen secara langsung dengan tangan, terutama untuk transistor karena merupakan komponen yang sangat sensitif terhadap pelepasan elektrostatis (*electrostatic discharge*) dan gunakan gelang elektrostatis saat penyolderan transistor.
 4. Perhatikan lamanya penyolderan komponen SMD terutama dalam penyolderan transistor, karena proses penyolderan yang terlalu lama dapat menimbulkan panas berlebih yang akan mempengaruhi kinerja dari transistor dan berubahnya karakteristik transistor.
 5. Untuk meminimalisasi penggunaan komponen pasif SMD (*lumped element*) dan faktor penyolderan, rangkaian prategangan yang digunakan dapat diganti dengan mengkonversikan nilai-nilai pada komponen tersebut ke jalur mikrostrip, yaitu dengan menggunakan *radial stub*.
 6. Untuk mendapatkan nilai VSWR yang lebih optimal dapat digunakan *tapered matching impedance* sebagai rangkaian *matching impedance* baik pada *input* maupun *output*.
 7. Pelajari kembali cara pembuatan jalur mikrostrip menggunakan *layout* pada simulasi ADS agar mendapatkan dimensi seminimal mungkin.
 8. Untuk pembuatan jalur mikrostrip, dapat digunakan substrat dengan nilai ϵ_r yang lebih tinggi agar diperoleh hasil yang lebih baik. Karena jika nilai ϵ_r semakin tinggi maka dimensi akan semakin kecil dan rugi-rugi/ *loss* yang dihasilkan juga semakin kecil.
 9. Pengukuran *noise figure* sebaiknya dilakukan dengan menggunakan *noise figure analyzer* agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- [3] Gonzales, Guilermo. 1997. *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design*. 2nd Edition. Prentice-Hall.
- [4] Kumar, P. Raj. Study Phase Report: *Design of L-Band Low Noise Amplifier*.
- [5] Panchal, Reena K. dan Jayesh P. Pabari. 2013. *Design of Power Amplifier and Low Noise Amplifier for 2.4 GHz RF Front End in Wireless Sensor Network*. IJESR Vol 04, Issue 02; March-April 2013 page 851.
- [6] Pozar, David M. 2011. *Microwave Engineering*. 4th Edition. John Wiley & Sons.
- [7] 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.
- [8] Ramdhani, Mohamad. *Elektronika I*. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [9] Rosu, Iulian. *LNA Design*. <http://www.qsl.net/va3iul/>
- [10] Singla, Shrey. 2012. *Design of A Three Stage Microwave Low Noise Amplifier at 10 GHz*. Northridge: California State University.
- [11] Song, Junlin dan Haoquan Hu. 2012. *L Band Low Noise Amplifier*. IEEE, ICCP2012 Proceedings page 414.
- [12] Sri Sumantyo, Josaphat Tetuko. 2011. *Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR) Onboard Small Satellite*. PIERS Proceedings, Marrakesh, MOROCCO, March 20-23, 2011 page 334.
- [13] Tutorial 2875: *Three Methods of Noise Figure Measurement*. Nov 21, 2003. Maxim Integrated Products, Inc. <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/2875>

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angriani, Wiwit Emilia. 2013. *Perancangan dan Realisasi High Power Amplifier (HPA) pada Frekuensi 2,4-2,45 GHz untuk Aplikasi Remote Sensing Payload Nanosatelit*. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [2] Bowick, Chris. 1997. *RF Circuit Design*. 2nd Edition. Newnes.