

Perancangan Low Noise Amplifier Menggunakan Metode T-Junction pada Frekuensi 3 GHz

Atik Charisma, Alni Muflighati

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Jendral Sudirman, Cimahi, Jawa Barat 40285, Indonesia
atikcharisma@gmail.com

Abstrak

Radar *Coastal S-Band* adalah sebuah radar maritim buatan dalam negeri yang dibuat untuk dapat diaplikasikan di kapal dan pantai. Pengembangan radar memanfaatkan *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW). Berdasarkan kesesuaian dan polarisasi radar, maka penelitian ini akan merancang sebuah radar *Coastal S-Band* pada *receiver* dengan merancang sebuah *Low Noise Amplifier* (LNA) yang akan diaplikasikan pada sebuah permukaan kapal biasa (non-kapal perang). Penelitian dilakukan dengan metode pemodelan sistem melalui pendekatan simulasi. Peneliti memilih mikrostrip dengan metode *T-Junction* menggunakan transistor ATF-34143. Perancangan dimulai dari mengidentifikasi spesifikasi dari LNA kemudian memilih transistor yang akan dipakai untuk menyimpan data pada rangkaian. Setelah itu, membuat rangkaian DC bias yang telah ditentukan selanjutnya menentukan rangkaian penyesuaian impedansi dan melakukan tahap optimasi hingga memperoleh hasil perancangan yang sesuai spesifikasi. Berdasarkan hasil simulasi dari perancangan LNA pada frekuensi 3 GHz, diperoleh parameter *gain* (S_{21}) sebesar 14,641 dB, penyesuaian impedansi pada parameter S_{11} sebesar -11,714 dB, dan S_{22} sebesar -10,756 dB. Selain itu, hasil simulasi juga menunjukkan faktor kestabilan sebesar 1,117, *noise figure* sebesar 1,499, serta VSWR kurang dari dua pada masukan dan keluaran.

Kata kunci: LNA, faktor kestabilan, *noise figure*, *return loss*, *gain*

Abstract

Radar Coastal S-Band is a domestically made maritime radar made to be applied on ships and beaches. The development of this radar utilizes Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW). Based on radar suitability and polarization, this study will design a Coastal S-Band radar on the receiver by designing a Low Noise Amplifier (LNA) which will be applied to a surface of an ordinary ship (non-warship). The research was carried out by system modeling methods through a simulation approach. Researchers chose microstrip with the T-Junction method using the ATF-34143 transistor. The design starts from identifying the specifications of the LNA then selecting the transistor that will be used to store the data in the circuit. After that make a predetermined DC bias circuit then determine the impedance adjustment circuit (matching impedance) and perform the optimization stage to obtain the design results that are suitable for specification. Based on the simulation results from LNA design at 3 GHz frequency, it was obtained gain parameter (S_{21}) is 14.641 dB, impedance adjustment in S_{11} parameter is -11.714 dB and S_{22} is -10.756 dB. In addition, the simulation results also show a stability factor of 1.117, noise figure of 1.499, and less than two VSWR on input and output.

Keywords: LNA, stability factor, *noise figure*, *return loss*, *gain*

I. PENDAHULUAN

Radio Detection Ranging (Radar) merupakan sistem pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi, mengukur jarak, dan membuat peta benda-benda seperti pesawat terbang, kapal laut, kendaraan bermotor, dan informasi cuaca. Radar *Coastal S-Band* adalah

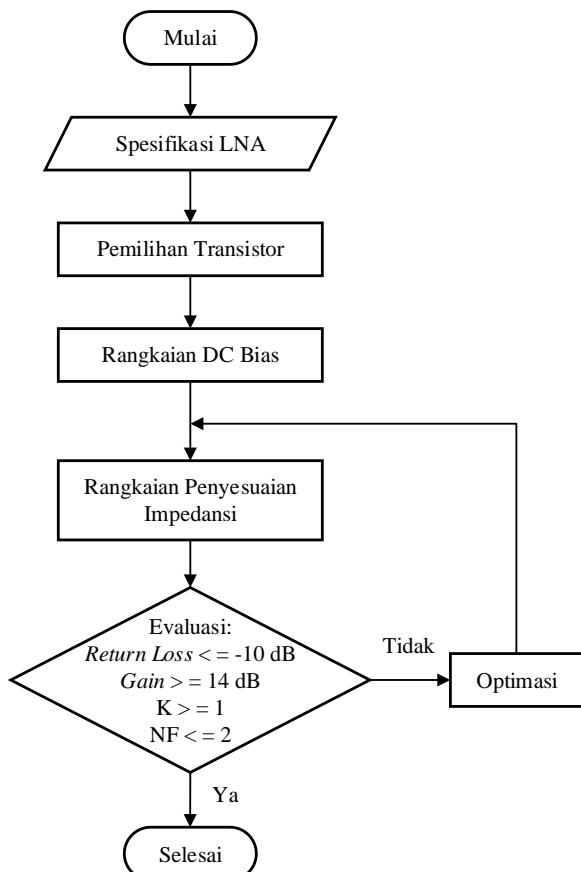
sebuah radar maritim buatan dalam negeri yang dibuat untuk dapat diaplikasikan di kapal dan pantai. Pengembangan radar ini memanfaatkan *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW), yaitu suatu teknologi yang menghasilkan jarak jangkauan radar dengan daya pancar sangat rendah [1]. Subsistem yang mendukung komponen radar *Coastal* diantaranya penguat daya pada bagian pengirim yaitu *High Power Amplifier* (HPA) dan bagian

penerima yaitu *Low Noise Amplifier* (LNA). Pada penelitian sebelumnya, telah dirancang dan direalisasikan HPA pada frekuensi *S-Band* untuk radar pengawas pantai. Pada perancangannya, penguat daya yang digunakan adalah komponen aktif berupa *Microwave Integrated Circuit*. Penguat dibuat dengan dua tingkat dengan menggunakan komponen aktif yang sama [1]. Salah satu kendala yang dihadapi pada sistem radar ini adalah sinyal pantulan yang memiliki daya rendah sehingga kualitas penerimaan menjadi kurang baik [2]. Penguat daya pada bagian penerima yaitu LNA dibutuhkan untuk mengatasi kendala tersebut. LNA dapat digunakan pada bagian *front end* penavigasian sinyal yang diterima salah satunya diterapkan pada sinyal *Indian Regional Navigation Satellite System* (IRNSS). LNA dalam teknologi *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) dirancang sebagai tahap *cascode*. Konfigurasi rangkaian yang dipilih harus tepat berdasarkan spesifikasi LNA yang akan dirancang sesuai kebutuhan atau aplikasinya. Konfigurasi LNA yaitu *Common Source* (CS) dan *Common Gate* (CG), *cascode* LNA dan *single stage* dan *multi stage*. Salah satu komponen penting dalam perancangan LNA adalah sebuah transistor. Transistor merupakan komponen elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor yang banyak dipakai sebagai penguat, *switching*, stabilitas tegangan, modulasi sinyal, dan berbagai fungsi yang lainnya. Berdasarkan arus masukanya, transistor terbagi menjadi dua kategori yaitu *Bipolar Junction Transistor* (BJT) dan *Field Effect Transistor* (FET).

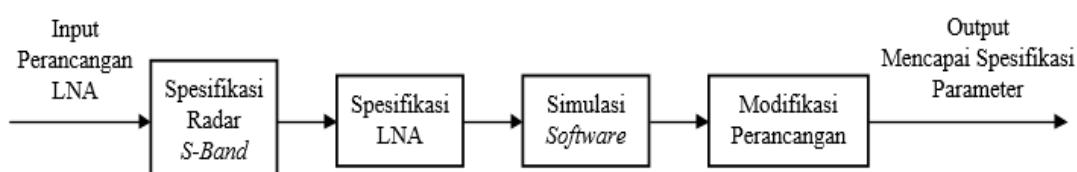
Berdasarkan permasalahan di atas, maka pada penelitian ini akan merancang sebuah LNA pada frekuensi 3 GHz di pita S-Band. Penelitian ini menggunakan tipe transistor BJT pada frekuensi 1,1 GHz dan 2,5 GHz [3]. Tipe transistor yang digunakan yaitu *High Electron Mobility Transistor* (HMET) yang merupakan bagian dari transistor FET. Transistor HMET merupakan sebuah transistor yang diciptakan dari hasil teknik doping – modulasi *GaAs* (*Gallium Arsenide*) – *AlGaAs* (*Alluminium Gallium Arsinide*) yang mempunyai struktur *heterojunction* tunggal. Performansi dari HMET menunjukkan *noise figure* yang rendah dan gain yang tinggi hingga frekuensi 70 GHz sehingga cocok untuk perancangan LNA [4].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode pemodelan sistem melalui pendekatan simulasi dengan bantuan *software ADS 2016*. Proses penelitian dimulai dari mengenali beberapa spesifikasi dari radar *Coastal S-Band*. Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai-nilai komponen dan panjang mikrostrip. Hasil perhitungan tersebut kemudian disimulasikan dengan bantuan *software ADS 2016*. Hasil simulasi akan memperlihatkan nilai-nilai dari parameter kinerja LNA tersebut. Apabila hasilnya tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan maka akan dioptimasi dengan bantuan *software ADS 2016*. Penjelasan lebih rinci akan diuraikan pada diagram alir tahap perancangan yang ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun diagram blok proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir perancangan penelitian



Gambar 2. Diagram blok proses penelitian

Pada komunikasi nirkabel, LNA harus mampu menerima sinyal yang sangat lemah dari pengirim dan memperkuat sinyal tersebut agar dapat mencapai level yang cukup untuk diberikan ke perangkat penerima. Oleh karena itu, parameter yang perlu diperhatikan dalam merancang LNA adalah faktor kestabilan, *noise figure*, *gain*, serta penyesuaian impedansi pada sisi masukan dan keluaran [5]. Parameter perancangan antena diperoleh dengan memperhitungkan beberapa hal. Hal-hal yang terkait tersebut yakni perancangan rangkaian DC bias dan metode penyesuaian impedansi yang digunakan serta panjang mikrostrip. Rangkaian DC bias merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain penguat dengan pengoperasian yang tepat. Rangkaian DC bias terdiri dari bias pasif dan bias aktif. Penelitian ini menggunakan bias pasif dengan komponen resistor, konduktor, dan kapasitor. Bias pasif ini menggunakan resistor yang membentuk rangkaian pembagi tegangan yang dihubungkan ke *gate* (G) dan *drain* (D) pada HMET seperti pada Gambar 3 dengan persamaan (1) sampai (3) berikut ini [6].

$$R_1 = \frac{V_{GS}}{I_{BB}} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{V_{DS} - V_{GS}}{I_{BB}} \quad (2)$$

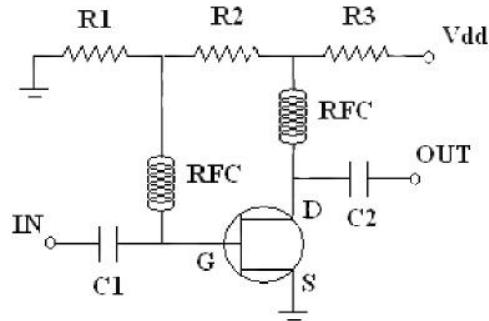
$$R_3 = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_{DS} + I_{BB}} \quad (3)$$

Pembagi tegangan berupa hambatan R_1 dan R_2 , sedangkan hambatan R_3 berfungsi menjaga arus *drain* tetap konstan. Nilai V_{DD} merupakan sumber tegangan sedangkan V_{DS} , V_{GS} , I_{DS} , dan I_{BB} nilainya diperoleh dari *datasheet* transistor. Induktor yang terhubung pada *gate* dan *drain* disebut juga *Radio Frequency Chokes* (RFC) yang mempunyai nilai hambatan yang rendah untuk bias *direct current* dan impedansi yang sangat tinggi pada *Radio Frequency* (RF) untuk mencegah hubungan pendek. Dua kapasitor pada rangkaian disebut juga *DC block capacitor* yang berfungsi untuk memblok arus DC dan melewatkannya sinyal *microwave* [7].

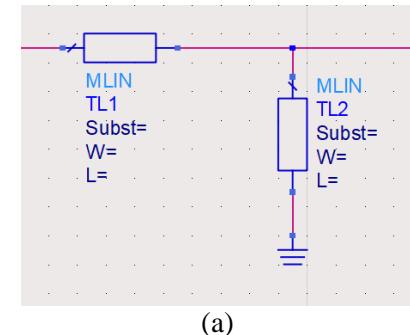
Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, rangkaian penyesuaian impedansi juga menjadi hal yang sangat penting untuk diperhitungkan. Rangkaian impedansi pada penguat merupakan hal yang penting sebagai penyepadan impedansi penguat tersebut dengan impedansi saluran. Penyepadan ini perlu dilakukan supaya terjadi transfer daya maksimum dari sumber penguat atau sebaliknya. Impedansi suatu saluran ditentukan oleh

ukuran, konstruksi fisik dan bahan serta frekuensi kerja penguat tersebut.

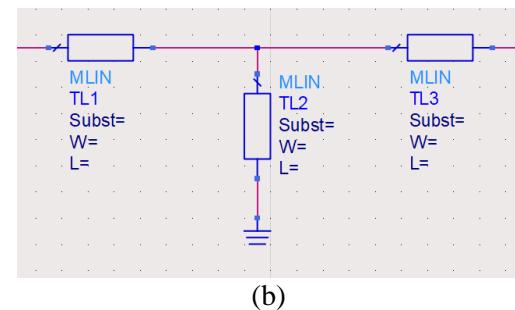
Penyesuaian impedansi memiliki beberapa teknik menggunakan mikrostrip yang terdiri dari *single stub* maupun *multi stub*. Pada penyesuaian impedansi terdapat tiga metode perancangan yaitu *L-Junction*, *T-Junction* dan *π-Junction* seperti pada Gambar 4.



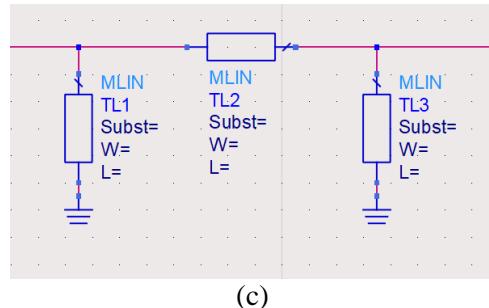
Gambar 3. Rangkaian DC bias transistor [6]



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Model stub pada: (a) *L-Junction*, (b) *T-Junction*, (c) *π-Junction*

Rangkaian pada sisi masukan memerlukan transformasi 50Ω dalam bentuk Y_s menggunakan persamaan (4) dengan masukan saluran seri (5) dan parallel (6).

$$Y_s = \frac{1}{50} \left(\frac{1 - \Gamma_s}{1 + \Gamma_s} \right) \quad (4)$$

$$Z_0 = \sqrt{50 \left(\frac{1}{(\text{Re}) Y_s} \right)} \quad (5)$$

$$Z_0 = \frac{1}{(\text{Im}) Y_s} \quad (6)$$

Pada rangkaian penyesuaian impedansi keluaran, juga memerlukan transformasi 50Ω ke bentuk Y_L menggunakan persamaan (7) dan (8) dengan keluaran saluran seri (9) dan paralel (10).

$$\Gamma_L = S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_{opt}}{1 - S_{11} \Gamma_{opt}} \quad (7)$$

$$Y_L = \frac{1}{50} \left(\frac{1 - \Gamma_L}{1 + \Gamma_L} \right) \quad (8)$$

$$Z_0 = \sqrt{50 \left(\frac{1}{(\text{Re}) Y_L} \right)} \quad (9)$$

$$Z_0 = \frac{1}{(\text{Im}) Y_L} \quad (10)$$

Penentuan lebar saluran mikrostrip yang akan dipakai dapat dihitung dengan persamaan (11) sampai (14).

$W/h \leq 2$:

$$W/h = 8e^A (e^{2A} - 1)^{-1} \quad (11)$$

$W/h > 2$:

$$W/h = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \left[\ln(B-1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (12)$$

dimana

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

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

Panjang saluran seri atau paralel dapat dihitung dengan persamaan (15) dan (16).

$W/h \geq 0,6$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0,63(\epsilon_r - 1)(W/h)^{0,1255}} \right]^{1/2} \quad (15)$$

$W/h < 0,6$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0,63(\epsilon_r - 1)(W/h)^{0,0297}} \right]^{1/2} \quad (16)$$

dengan:

W = ketebalan mikrostrip (mm)

h = ketebalan substrat FR4 yang digunakan (1,6 mm)

ϵ_r = konstanta dielektrik substrat FR4 (4,36)

Perancangan dimulai dari mengidentifikasi spesifikasi LNA kemudian memilih transistor. Setelah itu, membuat rangkaian DC bias yang telah dihitung nilai komponennya dan dilanjutkan dengan rangkaian penyesuaian impedansi. Selanjutnya, melakukan evaluasi dimana jika evaluasi telah berhasil maka selanjutnya ke tahap hasil yang sesuai dengan spesifikasi LNA yang telah ditentukan. Namun, jika pada tahap evaluasi belum dikatakan berhasil maka selanjutnya ke tahap optimasi dimana akan kembali ke tahap rangkaian penyesuaian impedansi yang ditetapkan setelah rangkaian DC bias. Jika semua tahap telah dilakukan tetapi belum mendapatkan parameter yang sesuai dengan perancangan LNA, maka kembali ke tahap pemilihan transistor dengan mengganti komponen transistor yang memenuhi kebutuhan. LNA yang akan dirancang pada frekuensi 3 GHz memenuhi spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Low Noise Amplifier

No.	Parameter	Spesifikasi LNA
1	Frekuensi	3 GHz
2	S_{11}	≤ -10 dB
3	S_{22}	≤ -10 dB
4	Gain (S_{21})	≥ 14 dB
5	Noise figure	< 2
6	Faktor kestabilan (K)	≥ 1
7	VSWR input	≤ 2
8	VSWR output	≤ 2

Tabel 2. Spesifikasi transistor ATF-34143

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Frekuensi	3 GHz
2	S_{11}	-3,479 dB
3	S_{22}	-14,425 dB
4	Gain (S_{21})	14,559 dB
5	Noise figure	0,607
6	Faktor kestabilan (K)	0,746
7	VSWR input	5,061
8	VSWR output	1,469

Transistor yang dipilih yaitu ATF-34143 yang memenuhi syarat untuk digunakan pada perancangan LNA. Adapun spesifikasi ATF-34143 dijabarkan pada Tabel 2. Berdasarkan *datasheet* dari transistor ATF-34143 diperoleh spesifikasi elektrik yang akan digunakan untuk menghitung nilai-nilai pada komponen rangkaian DC bias. Dengan menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) diperoleh nilai R_1 133Ω, R_2 1220Ω, dan R_3 31,746Ω.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa dengan menggunakan transistor ATF-34143 menemui kendala dengan nilai S_{11} yang masih tinggi yakni -3,479 dB. Nilai tersebut masih jauh dari spesifikasi LNA yang akan dirancang yakni ≤ -10 dB. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyesuaian impedansi pada sisi masukan. Penyesuaian impedansi ini menggunakan mikrostrip karena LNA bekerja pada frekuensi tinggi yang mana mikrostrip sangat cocok digunakan untuk pada frekuensi tinggi. Rangkaian penyesuaian impedansi menerapkan prinsip *Quarter Wave Transformer* dengan metode *T-Junction* pada sisi masukan menggunakan mikrostrip.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

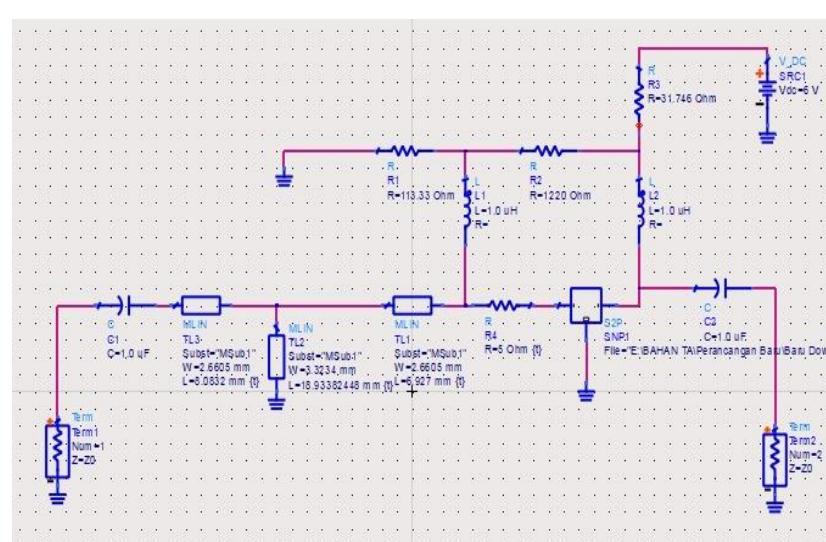
Berdasarkan metode dan perhitungan yang telah dilakukan serta dibantu dengan simulasi diperoleh

nilai-nilai parameter seperti dirangkum pada Tabel 3. Berdasarkan hasil perhitungan, semua parameter yang ditampilkan pada Tabel 3 dimasukkan ke perancangan dengan bantuan *software* untuk dibuat rangkaian LNA. Namun setelah dilakukan simulasi ternyata hasil yang diperoleh belum memenuhi spesifikasi LNA. Oleh sebab itu, dilakukan optimisasi dan juga menempatkan sebuah tahanan sebesar 5Ω secara seri pada sisi masukan. Metode ini merupakan salah satu cara pembebanan resistif untuk meningkatkan faktor kestabilan. Hasil perancangan setelah dioptimasi diperlihatkan pada Gambar 5 dan nilai masing-masing parameter terdapat pada Tabel 3.

Pada Tabel 4 terlihat bahwasannya terjadi perbedaan nilai yang diperoleh secara hasil perhitungan dengan setelah dilakukan optimisasi. Panjang masing-masing saluran menjadi lebih pendek dibandingkan hasil perhitungan dengan selisih maksimum sebesar 6,927 mm pada panjang saluran seri 1 (l_1).

Tabel 3. Nilai-nilai hasil perhitungan

No.	Jenis Perhitungan	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Rangkaian DC bias	R_1	113,33	Ω
		R_2	1220	Ω
		R_3	31,476	Ω
2.	Saluran seri penyesuaian impedansi <i>input</i> LNA	W_1	2,66048	mm
		l_1	13,8540	mm
3.	Saluran paralel penyesuaian impedansi <i>input</i> LNA	W_2	3,3234	mm
		l_2	20,580	mm

**Gambar 5. Perancangan rangkaian LNA**

Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan dengan optimasi

Parameter	Perhitungan	Optimasi	Selisih
Panjang saluran seri 1 (l_1)	13,854 mm	6,927 mm	6,927 mm
Panjang saluran paralel (l_2)	20,580 mm	18,9338 mm	1,6462 mm
Panjang saluran seri 2 (l_3)	13,8540 mm	8,0832 mm	5,7708 mm

Tabel 5. Hasil simulasi perancangan LNA

Parameter	Nilai
S_{11}	-11,714 dB
S_{22}	-10,756 dB
<i>Gain</i>	14,641 dB
Faktor kestabilian	1,117
<i>Noise figure</i>	1,499
VSWR input	1,701
VSWR output	1,816

Berdasarkan simulasi perancangan LNA dengan rangkaian bias serta penambahan mikrostrip satu saluran seri dan satu saluran paralel ternyata terdapat permasalahan pada sisi masukan berupa nilai S_{11} yang masih lebih besar dari -10 dB. Oleh karena itu, peneliti fokus ke perbaikan pada penyesuaian impedansi pada sisi masukan dengan metode *T-Junction* menggunakan dua buah saluran seri dan satu buah saluran paralel. Hasil simulasi penyesuaian impedansi menggunakan prinsip *Quarter Wave Transformer* dengan metode *T-Junction* didapatkan setelah rancangan keseluruhan telah disimulasikan dan telah melalui proses *tunning* pada rangkaian mikrostrip. Penyesuaian impedansi parameter S_{11} dan S_{22} setelah dilakukan optimasi dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil simulasi diperoleh S_{11} sebesar -11,714 dB dan S_{22} -10,756 dB yang mana nilai ini telah memenuhi spesifikasi LNA yakni ≤ -10 dB. *Gain* dapat dilihat dari parameter S_{21} yang telah disimulasikan pada Gambar 5. *Gain* didapat dari simulasi perancangan LNA dengan menggunakan rangkaian DC bias dan penambahan dua buah induktor sebesar $1\mu\text{H}$. Selain itu, penyesuaian impedansi juga berpengaruh pada nilai *gain* yang diinginkan.

IV. KESIMPULAN

Perancangan LNA pada frekuensi 3 GHz untuk radar *Coastal S-Band* menggunakan metode *T-*

Junction telah dilakukan pada sisi masukan. Berdasarkan proses penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kestabilan faktor sebesar 1,117 yang telah memenuhi syarat perancangan LNA dengan faktor kestabilan yang ideal adalah yang mendekati angka 1 ($K \approx 1$). Hasil perancangan LNA menunjukkan besar *gain* yang diperoleh setelah simulasi yaitu 14,641 dB yang sesuai dengan kebutuhan radar *Coastal S-Band*. Hasil perancangan LNA menunjukkan besar *noise figure* 1,499 yang mana lebih kecil dari dua dan telah memenuhi spesifikasi perancangan LNA pada frekuensi 3 GHz. Hasil simulasi perancangan LNA pada frekuensi 3 GHz menunjukkan penyesuaian impedansi pada sisi masukan S_{11} sebesar -11,714 dB dan keluaran S_{22} sebesar -10,756 dB yang sesuai dengan syarat spesifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani atas kesempatan penelitian yang diberikan kepada penulis.

REFERENSI

- [1] 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. 255-363, 2017.
- [2] Y. Taryana, A. Munir, Y. Sulaeman, and D. Dedi, "Perancangan Low Noise Amplifier dengan Teknik Non Simultaneous Conjugate Match untuk Aplikasi Radar S-Band," *PPET-LIPI All rights reserved*, vol. 15, pp. 45-49, 2015.
- [3] N. Nimesh, M. Prabhakar, and A. K. Sisodia, "Low Noise Amplifier Design for Navigation Signal Receiver", *IJEDR*, vol. 2, issue 1, 2014.
- [4] A. Charisma, "Penguat dua arah pada frekuensi 2,3 GHz TDD LTE untuk smart antenna," ITB, Bandung, 2016.
- [5] A. Charisma and S. Joko, "Penguat dua arah pada frekuensi 2,3 GHz untuk smart antenna", *Prosiding Seminar Nasional Energi Telekomunikasi dan Otomasi SNETO*. Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional ITENAS, Bandung, 2015.
- [6] R. L. Freeman, "Telecommunication Sistem Engineering - Analog and Digital Network Design", New York: Wiley, 1989.
- [7] A. Nugroho, "Simulasi dan Desain LNA (Low Noise Amplifier) pada Frekuensi 2,3 GHz," Universitas Indonesia, Depok, 2009.