

Low Noise Amplifier Dual Stage dengan Metode π -Junction untuk Long Term Evolution (LTE)

Low Noise Amplifier Dual Stage Using π -Junction Method for Long Term Evolution (LTE)

Atik Charisma^{1*}, Nahal Widiyanto², M. Reza Hidayat³, Handoko Rusiana Iskandar⁴

^{1,2,3,4}Universitas Jenderal Achmad Yani, Program Studi Teknik Elektro

Jl. Terusan Jend. Sudirman, Cibeer, Kec. Cimahi Sel., Kota Cimahi, Jawa Barat 40531, (022) 6656190

atik.charisma@lecture.unjani.ac.id^{1*}, nhalwidiyanto@gmail.com², mreza@lecture.unjani.ac.id³,

handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id⁴

Abstrak – Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi tanpa kabel yang memerlukan komponen-komponen elektronika untuk mendukung performansinya. Salah satu komponen elektronika tersebut yaitu Low Noise Amplifier (LNA) sebagai penguat di bagian penerima. Penelitian ini merancang Low Noise Amplifier dengan bantuan software berdasarkan perhitungan. LNA bekerja pada frekuensi 1,8 GHz yang merupakan pita frekuensi LTE. Tahapan perancangan LNA dimulai dari pemilihan transistor, rangkaian DC bias, dan penyesuaian impedansi. Transistor ATF 34143 menjadi pilihan untuk LNA karena sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Komponen perancangan LNA untuk rangkaian DC meliputi resistor, kapasitor, dan induktor. Salah satu metode yang digunakan pada rangkaian penyesuaian impedansi yaitu metode π -junction pada bagian input dan output. Rangkaian penyesuaian impedansi menggunakan mikrostrip. Sebuah transistor ditambahkan secara cascade untuk meningkatkan performansi LNA. Parameter-parameter penting sebagai kinerja LNA yaitu noise figure, faktor kestabilan, dan gain. Hasil simulasi perancangan LNA ini memperoleh nilai noise figure sebesar 0,561 dB, gain 36,463 dB, dan faktor kestabilan 1,785. Parameter hasil perancangan telah memenuhi spesifikasi LNA serta kebutuhan LTE.

Kata Kunci: Low Noise Amplifier, LTE, π -junction.

Abstract – Long Term Evolution (LTE) is a wireless technology that requires electronic components to support its performance. One of the electronic components is the Low Noise Amplifier (LNA) as an amplifier at the receiver. This study designed a Low Noise Amplifier with the help of software based on calculations. LNA works on the 1.8 GHz frequency which is the LTE frequency band. The LNA design stages start from the selection of transistors, DC bias circuits, and impedance matching. The ATF 34143 transistor is the choice for LNA because it fits the required specifications. LNA design components for DC circuits include resistors, capacitors, and inductors. One of the methods used in impedance matching circuits is the π -junction method on the input and output sections. Impedance adjustment circuit using microstrip. A transistor is added cascade to improve LNA performance. Important parameters as the performance of LNA are noise figure, stability factor, and gain. The simulation results of this LNA design obtain a noise figure value of 0.561 dB, a gain of 36.463 dB, and a stability factor of 1.785. The design parameters have met the LNA specifications and LTE requirements.

Keywords: Low Noise Amplifier, LTE, π -junction.

TELKA, Vol.8, No.2, November 2022, pp. 116~125

ISSN (e): 2540-9123

ISSN (p): 2502-1982

1. Pendahuluan

Teknologi *Long Term Evolution (LTE)* memiliki kecepatan akses yang sangat tinggi serta efisien [1]. Berbagai perangkat *Radio Frequency (RF)* sangat diperlukan untuk mendukung performansi LTE seperti antena, *high power amplifier* di bagian pengirim serta sebuah penguat di bagian penerima. Penguat dibagian penerima dikenal dengan istilah *Low Noise Amplifier (LNA)*. Penguat ini berguna untuk menguatkan sinyal agar kualitas sinyal yang diterima tetap baik. Pada saat proses transmisi, sinyal tersebut mengalami interferensi dan berbagai *noise* yang mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima. Oleh karena itu, peran LNA sangatlah penting pada sistem LTE ini. Parameter penting pada perancangan LNA yaitu *noise figure*, S_{11} dan S_{22} serta faktor kestabilan. Rangkaian penyesuaian impedansi sangatlah berperan penting agar parameter-parameter tersebut dapat dicapai sesuai dengan kebutuhan LNA yang akan dirancang. Energi pada saluran transmisi agar tidak dapat terpantul atau terbuang diperlukan rangkaian penyesuaian impedansi untuk menyesuaikan impedansi beban dengan impedansi karakteristik [2].

Penelitian pertama [3] terkait penguat daya dua tingkat serta menggunakan komponen aktif untuk radar pengawas pantai pada pita S-Band. Selanjutnya Penelitian kedua oleh [4] merancang sebuah LNA juga di pita S-Band dengan metode *T-Junction* diperoleh *noise figure* yang cukup rendah 1,499 dB. Penelitian ketiga [5] merancang dan merealisasikan LNA dua tingkat pada frekuensi 5,6 GHz untuk radar cuaca namun dengan *noise figure* yang cukup besar ≤ 5 dB. Penelitian berikutnya [6] menganalisa performansi LNA *single stage* pada frekuensi 1090 MHz dengan *noise figure* kecil yakni 0,552 dB namun faktor kestabilan masih di bawah 1. LNA dirancang umumnya untuk aplikasi radar, akan tetapi pada penelitian ini merancang LNA untuk meningkatkan performansi teknologi LTE.

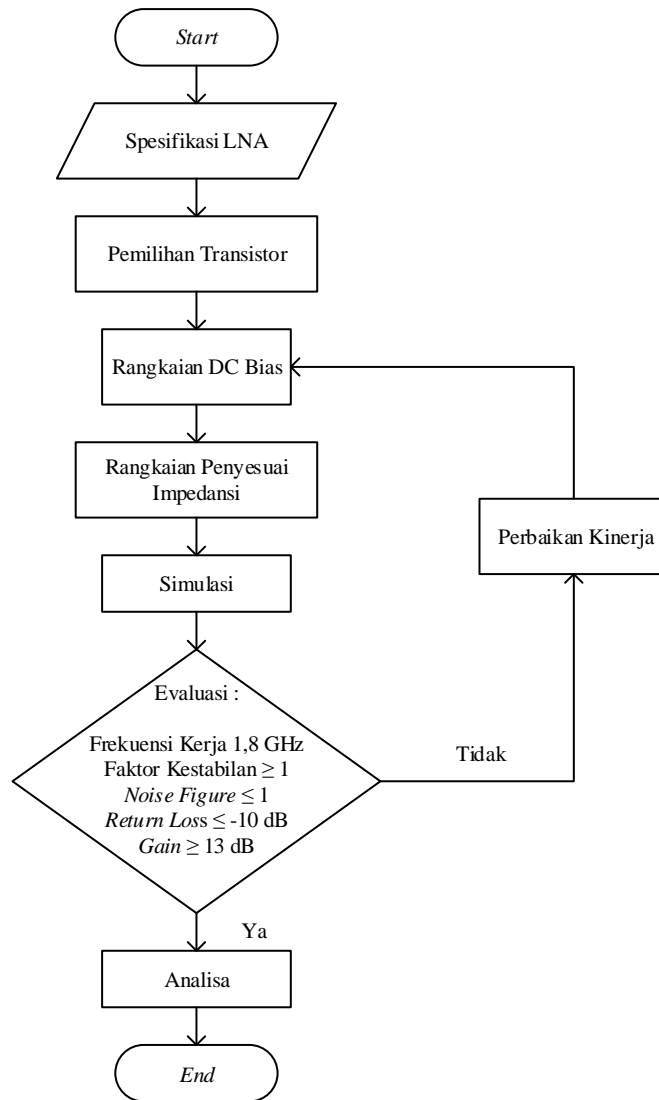
Pengguna teknologi *wireless fidelity* (wifi) zaman sekarang sangat banyak dengan kebutuhan transfer data yang cepat juga. Kebutuhan teknologi wifi mendorong para peneliti untuk meningkatkan performansi teknologi wifi dan munculnya standar baru pada wifi. IEEE mengeluarkan standar baru 801.11n merupakan perubahan dari standar sebelumnya dengan *data rate* lebih tinggi dan *bandwidth* yang lebar [7]. Penggunaan teknologi *wireless* yang dapat menghubungkan antara sensor, instrumen dan komponen lainnya dapat mendukung peningkatan produksi di dunia industri. Pada penelitian [8] merancang LNA pada transponder yang dapat berkomunikasi secara *wireless* di frekuensi 2,4 GHz untuk mendukung komunikasi antar mesin di ruang produksi.

2. Metode Penelitian

2.1. Diagram Alir

Perancangan LNA dilakukan dalam beberapa tahapan agar perancangan dapat dilakukan secara sistematis. Perancangan LNA terdiri dari beberapa parameter penting yaitu *noise figure* dan faktor kestabilan [9]. Proses awal perancangan dilakukan dengan mengidentifikasi spesifikasi LNA yang digunakan pada jaringan *Long Term Evolution (LTE)*, kemudian memilih transistor yang tepat, dilanjutkan dengan melakukan perhitungan dimensi mikrostrip. Hasil perhitungan kemudian disimulasikan dengan bantuan *software*, jika hasil simulasi tersebut tidak sesuai akan memperbaiki kinerja dengan menggunakan *tunning tools* pada simulator. Diagram alir mengacu pada Gambar 1.

Spesifikasi LNA yang dijadikan sebagai acuan perancangan dapat dilihat pada Tabel 1 [10]. Band frekuensi LTE di Indonesia umumnya menggunakan frekuensi 1800 MHz. Spesifikasi LNA yang dirancang mengacu kepada salah satu LNA yang ada di pasaran keluaran Infineon dengan tipe BGA7M1N6. BGA7M1N6 adalah *front-end Low Noise Amplifier* untuk kebutuhan LTE yang bekerja pada frekuensi 1805 MHz – 2200 MHz.



Gambar 1. Diagram alir perancangan penelitian.

Tabel 1. Spesifikasi LNA.

No.	Parameter	Spesifikasi LNA	
		Perancangan	BGA7M1N6.
1	Frekuensi	1,8 GHz	1,8 GHz
2	Noise Figure	≤ 0,5	0,92
3	S ₁₁ dan S ₂₂	≤ -10 dB	-12,4 dB dan -8 dB
4	Gain	13 dB	12,9 dB

2.2. Perancangan *Low Noise Amplifier*

A. Pemilihan Transistor

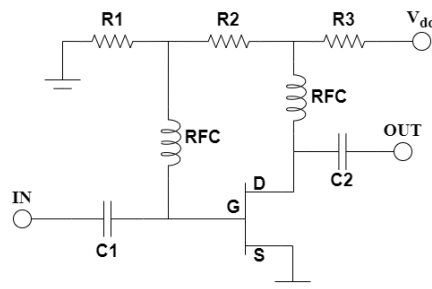
Pada penelitian ini, LNA dirancang dengan menghubungkan 2 buah transistor secara *cascade* untuk mendapatkan nilai *gain* yang tinggi dan *noise* yang rendah [2]. Transistor ATF 34143 menjadi pilihan untuk merancang LNA $V_{ds} = 4$ V dan $I_{ds} = 60$ mA. Pengecekan spesifikasi transistor ATF-34143 dapat dilakukan dengan cara merangkai rangkaian bias transistor pada *software* atau dapat ditemukan pada *datasheet* transistor. S parameter digunakan dalam menentukan kestabilan/kemantapan suatu transistor [3]. Spesifikasi transistor ATF-34143 pada frekuensi 1,8 GHz dapat dilihat pada Tabel 2[11].

Tabel 2. Spesifikasi transistor ATF-34143.

No.	Parameter	Nilai
1	Frekuensi	1,8 GHz
2	S_{11}	-2,499 dB
3	S_{22}	-13,556 dB
4	Gain (S_{21})	17,923 dB
5	Noise Figure	0,566 dB
6	Faktor Kestabilan	0,512

B. Rangkaian Bias DC

Setelah transistor diperoleh langkah selanjutnya adalah merangkaian rangkaian bias DC, rangkaian bias DC yang digunakan pada perancangan berupa komponen resistor, induktor, dan kapasitor. Rangkaian bias pasif dirangkaian membentuk rangkaian pembagi tegangan yang dihubungkan pada Gate dan Drain [4]. Rangkaian bias pasif dapat dilihat pada Gambar 2 [5].



Gambar 2. Rangkaian bias DC.

Pada rangkaian bias DC besar kapasitas kapasitor mengacu pada panduan perancangan bias transistor pada ADS yaitu sebesar $1\mu\text{F}$, sedangkan besar nilai induktor sebesar 1 mH [1], [5]. Nilai R_1 , R_2 , dan R_3 dapat dilihat pada Tabel 3.

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

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

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

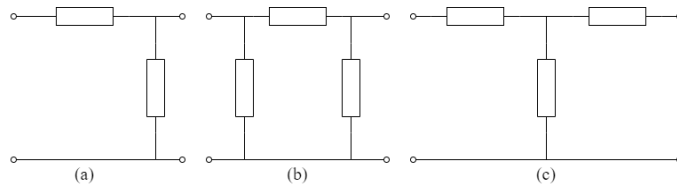
Tabel 3. Hasil perhitungan resistor bias DC

No.	Parameter	Nilai
1	R_1	186,6 Ω
2	R_2	1146,6 Ω
3	R_3	31,746 Ω

C. Rangkaian Penyesuai Impedansi

Metode penyesuai impedansi pada penelitian ini yakni metode π -junction yang mana penelitian sebelumnya menggunakan metode T-junction. Metode π -junction merupakan penggabungan dua buah rangkaian L-junction. π -junction umumnya digunakan pada bagian output rangkaian namun dipenelitian ini π -junction digunakan pada bagian input dan output rangkaian.

Nilai S parameter diperlukan untuk merancang rangkaian penyesuai impedansi LNA. Berdasarkan simulasi rangkaian bias transistor diperoleh nilai S_{11} adalah $0,553\angle -95,137$, S_{12} adalah $0,004\angle 73,777$, S_{21} adalah $57,854\angle -162,223$, S_{22} adalah $0,155\angle -98,137$ dan S_{opt} adalah $0,644\angle 62,479$. Metode rangkaian penyesuai impedansi terdiri dari tiga yaitu T-Junction, L-Junction, dan π (pi)-Junction seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Penyesuai impedansi dalam bentuk (a) *L-Junction*, (b) *π-Junction* dan (c) *T-Junction*.

Rangkaian penyesuai impedansi LNA yang dirancang menggunakan mikrostrip berbentuk π berfungsi untuk menyesuaikan impedansi beban. Lebar saluran mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [4]:

$W/h < 2$:

$$W/h = \frac{8e^A}{(e^{2A} - 2)} \quad (4)$$

$W/h > 2$:

$$W/h = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (5)$$

dimana:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right)}, \quad (6)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

Panjang saluran mikrostrip diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$W/h \geq 0,6$:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0,63(\epsilon_r - 1)(W/h)^{0,1255}} \right]^{1/2}, \quad (8)$$

$W/h < 0,6$:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0,6(\epsilon_r - 1)(W/h)^{0,0297}} \right]^{1/2}, \quad (9)$$

dimana:

$$\lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{f}, \quad (10)$$

dengan f adalah frekuensi kerja, h adalah ketebalan substrat FR4 (1,6 mm), W merupakan ketebalan mikrostrip (mm), dan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik substrat FR4 (4,7 mm).

Rangkaian penyesuaian impedansi terdiri dari rangkaian masukan dan keluaran yang dirancang dengan menggunakan karakteristik impedansi yang berbeda yaitu $\lambda/4$ dan $3/8\lambda$ [5]. Rangkaian penyesuai impedansi masukan dan keluaran memerlukan transformasi 50Ω , dalam

bentuk Y_S untuk bagian masukan dan Y_L untuk bagian keluaran. Rangkaian penyesuai impedansi masukan Y_S [12] dapat dihitung dengan persamaan (4) dimana $\Gamma_S = \Gamma_{opt}$. Sedangkan nilai Y_L dapat dihitung dengan persamaan (12) tetapi nilai Γ_L perlu dihitung terlebih dahulu dengan persamaan (13).

$$Y_S = \frac{1}{50} \left(\frac{1 - \Gamma_S}{1 + \Gamma_S} \right) \tag{11}$$

$$Y_L = \frac{1}{50} \left(\frac{1 - \Gamma_L}{1 + \Gamma_L} \right) \tag{12}$$

$$\Gamma_L = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_{opt}}{1 - S_{11}\Gamma_{opt}} \tag{13}$$

Setelah nilai Y_S dan Y_L didapatkan maka selanjutnya menghitung nilai impedansi Z_0 masukan dan keluaran. Pada bagian masukan, Z_0 dengan karakteristik $\lambda/4$ dihitung menggunakan persamaan (14) dan persamaan (15) digunakan untuk menghitung Z_0 dengan karakteristik $3/8\lambda$.

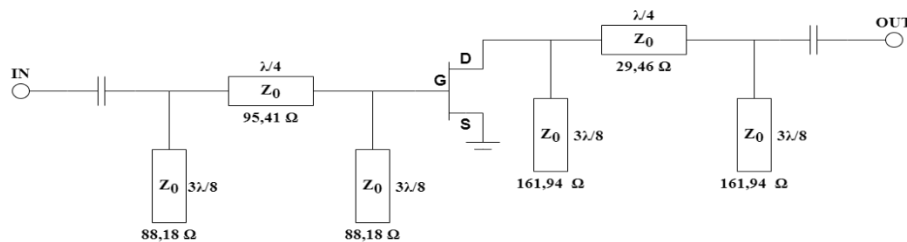
$$Z_0 = \sqrt{50 \left(\frac{1}{(Re)Y_S} \right)} \tag{14}$$

$$Z_0 = \frac{1}{(Im)Y_S} \tag{15}$$

Pada bagian keluaran, Z_0 dengan karakteristik $\lambda/4$ dihitung menggunakan persamaan (16) dan persamaan (17) digunakan untuk menghitung Z_0 dengan karakteristik $3/8\lambda$. Adapun skematik rangkaian penyesuai impedansi terlihat pada Gambar 4 dan nilainya terlihat pada Tabel 4.

$$Z_0 = \sqrt{50 \left(\frac{1}{(Re)Y_L} \right)} \tag{16}$$

$$Z_0 = \frac{1}{(Im)Y_L} \tag{17}$$



Gambar 4. Skematik rangkaian penyesuai LNA.

Tabel 4. Hasil perhitungan rangkaian penyesuai impedansi dengan karakteristik berbeda.

Bagian	Karakteristik	Parameter	Nilai Ω
Masukan	$\lambda/4$	Z_0	95,41
	$(3/8)\lambda$	Z_0	88,18
Keluaran	$\lambda/4$	Z_0	29,46
	$(3/8)\lambda$	Z_0	161,94

2.2.1. Perhitungan Dimensi Rangkaian Penyesuai impedansi

Lebar dan panjang saluran penyesuai impedansi masukan dapat diperoleh melakukan perhitungan berdasarkan persamaan 5, 8 dan 10. Nilai yang diperoleh dicantumkan pada Tabel 5.

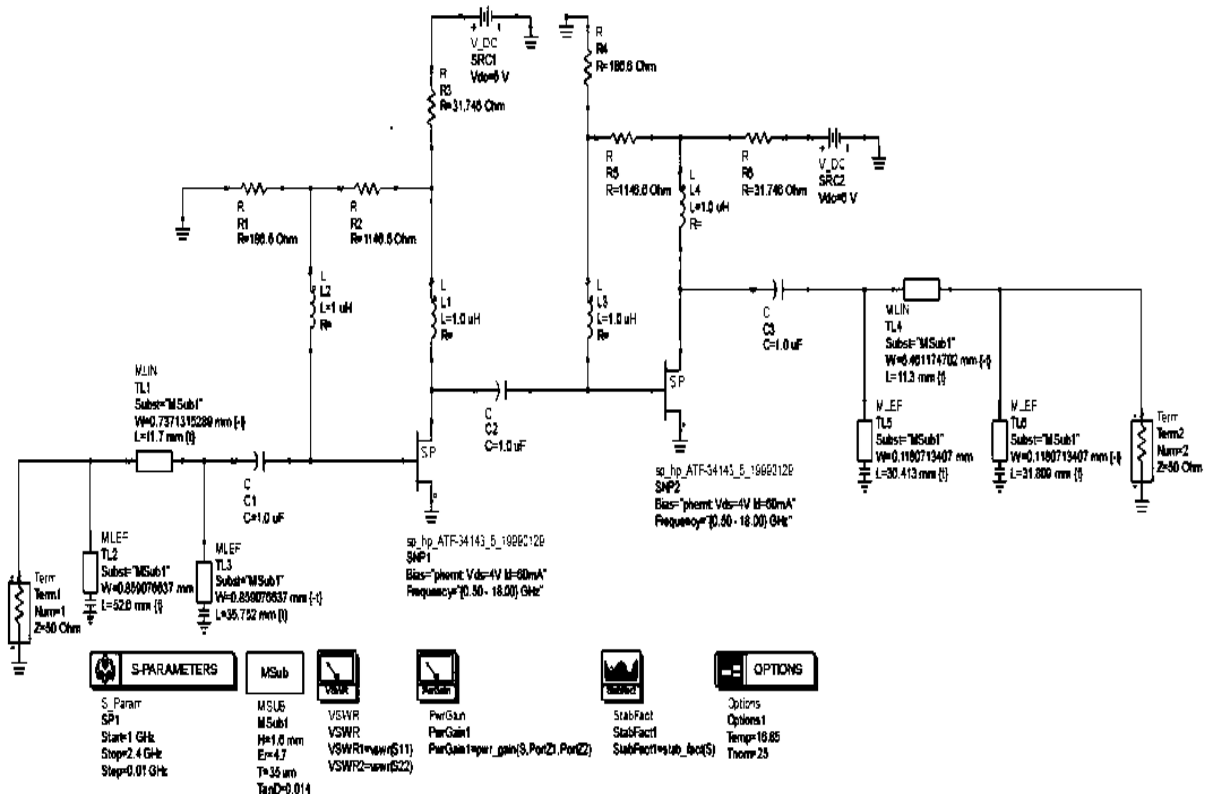
Tabel 5. Dimensi mikrostrip.

Bagian	Karakteristik	Parameter	Nilai (mm)
Masukan	$\lambda/4$	W_1	0,7371315289
		l_1	23,40891273
	$(3/8)\lambda$	W_2	0,859076637
		l_2	35,05830674
Keluaran	$\lambda/4$	W_3	6,461174702
		l_3	22,69443695
	$(3/8)\lambda$	W_4	0,1180713407
		l_4	34,92983034

3. Hasil dan Pembahasan

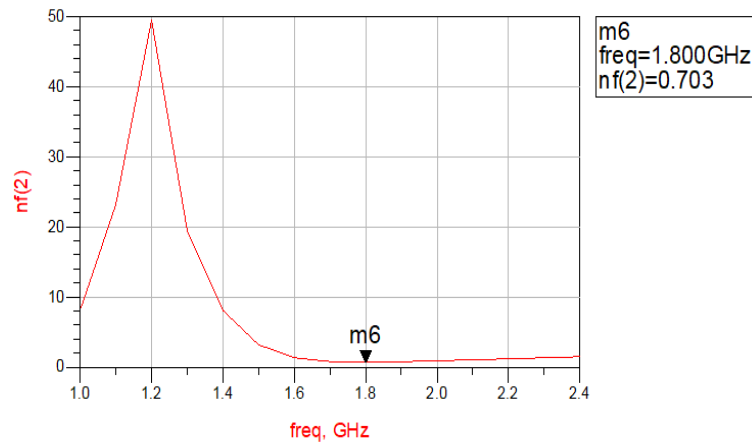
3.1 Hasil Simulasi LNA Sebelum Optimasi

Pada bagian ini, membahas tentang proses simulasi dan hasil simulasi yang diperoleh berdasarkan parameter-parameter perhitungan yakni di Tabel 4 dan 5. Hasil simulasi berdasarkan perhitungan diperlihatkan pada Gambar 5.

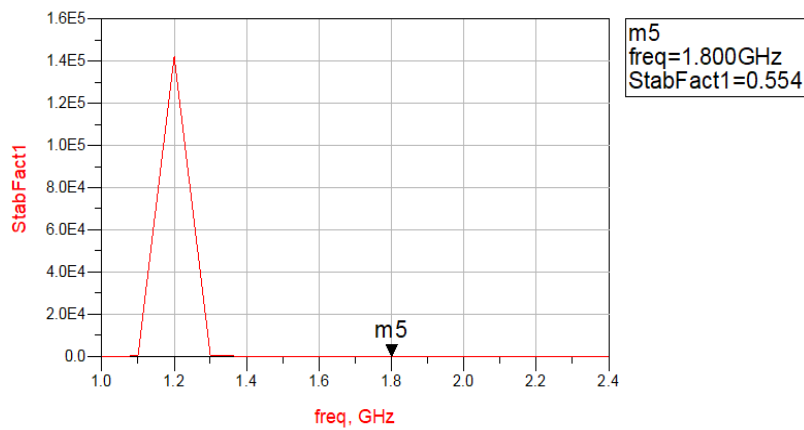


Gambar 5. Rangkaian keseluruhan LNA.

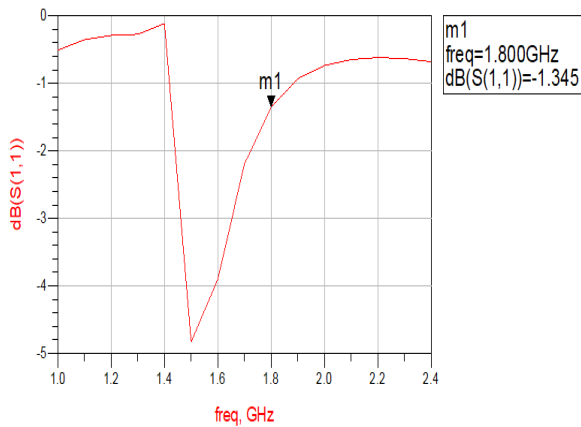
Rangkaian skematik ini diperoleh berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, kemudian disimulasikan menggunakan *software* simulator untuk melihat hasil parameter kinerja LNA yakni S_{11} , S_{22} , *noise figure* dan faktor kestabilan. Pada frekuensi 1,8 GHz, *noise figure* menunjukkan hasil sebesar 0,703 dB yang mana ini sudah memenuhi kriteria LNA yakni ≤ 1 terlihat di Gambar 6. Namun beda dengan faktor kestabilan di Gambar 7 yang masih di bawah satu yaitu sebesar 0,554. Begitu juga dengan nilai *return loss* S_{11} -1,345 dB masih di atas -10 dB sedangkan S_{22} -19,161 dB sudah di bawah -10 dB pada Gambar 8.



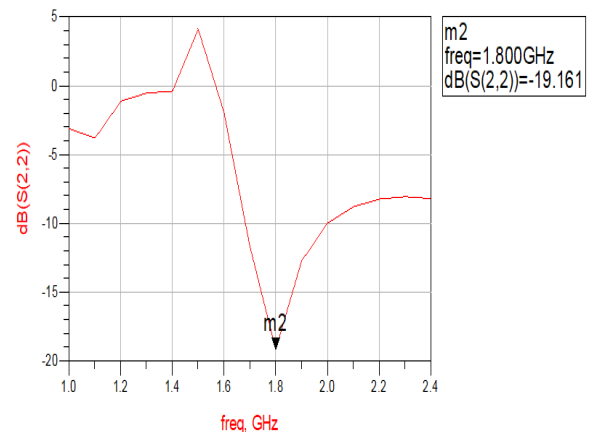
Gambar 6. Noise figure LNA.



Gambar 7. Faktor kestabilan LNA.



(a)



(b)

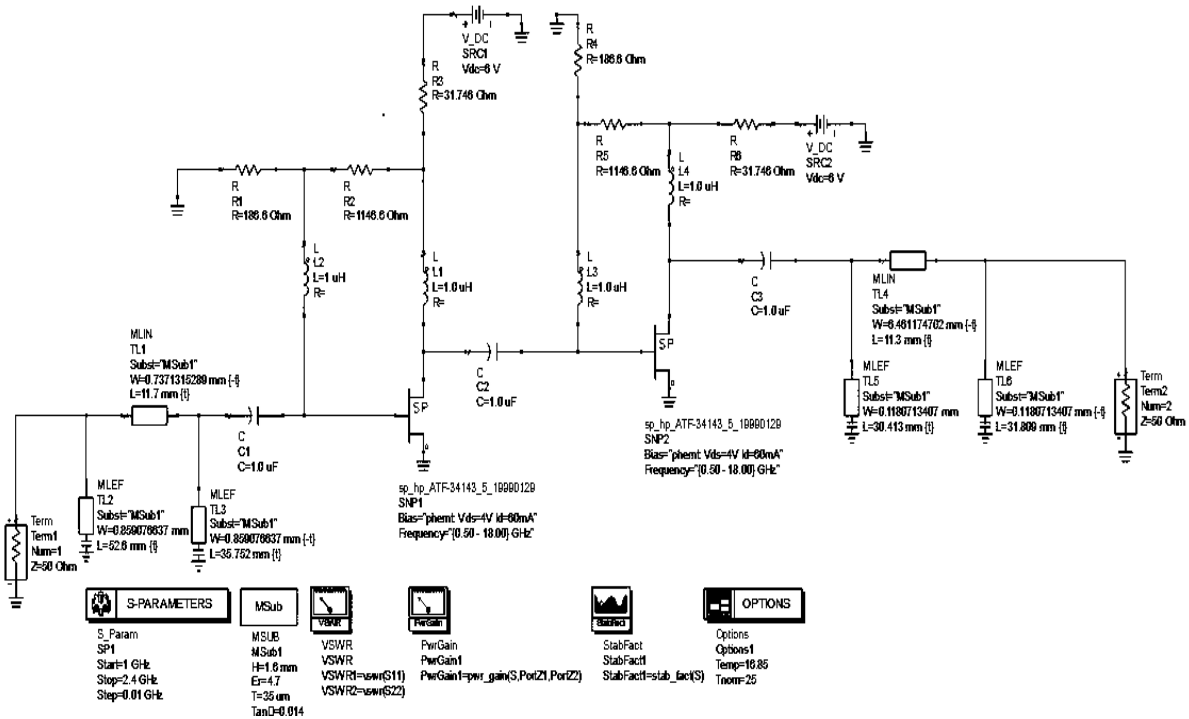
Gambar 8. Return loss (a) S_{11} dan (b) S_{22} .

Nilai *gain* yang diperoleh sebesar 15,611 dB dengan nilai refleksi dalam bentuk S_{12} sebesar -26,054 dB pada frekuensi 1,8 GHz, nilai *gain* yang dihasilkan jika dibandingkan dengan spesifikasi LNA pada Tabel 3.1 nilai tersebut sudah memenuhi spesifikasi LNA pada frekuensi 1,8 GHz. Beberapa parameter LNA sudah ada yang memenuhi spesifikasi namun masih terdapat parameter belum sesuai dengan kriteria perancangan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan

kinerja agar hasil yang diperoleh menjadi lebih baik dan sesuai yang kriteria perancangan LNA untuk keperluan LTE.

3.2 Hasil Simulasi Rangkaian LNA Setelah Perbaikan Kinerja

Perbaikan kinerja rangkaian dilakukan dengan menambahkan satu buah transistor ATF-34143 yang dihubungkan secara *cascade* serta memperbaiki rangkaian penyesuaian impedansi masukan dan keluaran dengan menggunakan *tunning tools* simulator. Hasil akhir perancangan setelah diperbaiki dapat dilihat pada Gambar 9 dengan nilai komponen yang ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 9. Rangkaian LNA setelah optimasi

Tabel 6. Parameter hasil simulasi LNA setelah perbaikan kinerja.

Parameter	Nilai Sebelum Optimasi	Nilai Setelah Optimasi
Faktor kestabilan	0,554	1,785
Noise figure	0,703 dB	0,561 dB
S ₁₁	-1,345 dB	-31,895 dB
S ₂₂	-19,161 dB	-18,198 dB
Gain	15,611 dB	36,463 dB

Faktor kestabilan yang awalnya 0,554 yang menandakan belum stabil namun setelah memperbaiki kinerja nilai faktor kestabilan telah di atas 1 yakni 1,785 serta sesuai spesifikasi awal yakni ≥ 1 . Hal ini menandakan bahwa rangkaian telah stabil. Begitu juga dengan *noise figure* yang mengalami penurunan menjadi 0,561 dB yang sesuai spesifikasi ≤ 1 . Semakin kecil nilai *noise figure* maka LNA yang dirancang semakin lebih baik. Parameter S₁₁ dan S₂₂ setelah dilakukan perbaikan kinerja nilainya menjadi ≤ -10 dB yakni -31,985 dB dan -18,198 dB sehingga sesuai dengan spesifikasi ≤ -10 dB. Sedangkan *gain* sebelum diperbaiki sudah diatas 12dB yang telah memenuhi spesifikasi namun karena ada pengaruh dari perubahan rangkaian maka juga berpengaruh terhadap nilai *gain* menjadi 36,463 dB.

4. Kesimpulan

Transistor yang dipilih haruslah sesuai dengan kriteria perancangan LNA, transistor ATF 34143 memiliki parameter yang sesuai dengan kebutuhan perancangan LNA. Penambahan 1 buah transistor yang terhubung secara *cascade* dapat meningkatkan *gain*, *noise figure* menurun dan kestabilan LNA menjadi lebih baik. Hasil terbaik dari perancangan LNA yaitu *diperoleh noise figure* sebesar 0,561 dB, gain 36,463 dB, faktor kestabilan 1,785, S_{11} -31,895 dB dan S_{22} -18,198 dB. Semua parameter hasil perancangan telah sesuai dengan spesifikasi LNA serta kebutuhan LTE yang mengacu kepada salah satu produk di pasaran setelah melalui perhitungan dan perbaikan kinerja.

Referensi

- [1] F. E. Putri, A. Charisma, N. Ketut, and H. Dharmi, "Perancangan Antena Segitiga Gerigi Circular Slot untuk Memperkuat Sinyal LTE," vol. 2, no. 2, pp. 23–32, 2021.
- [2] A. Charisma, D. D. Nugraha, and A. S. Permana, "Perancangan Low Noise Amplifier (LNA) Dua Tingkat dengan Lumped Element untuk Satelit Nano," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasi)*, vol. 7, no. 2, pp. 170–178, 2021.
- [3] B. Mulyadi, A. A. Muayyadi, and W. Y., "Perancangan dan Realisasi Penguat Daya pada Frekuensi S-Band untuk Radar Pengawas Pantai," *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 255–363, 2017.
- [4] A. Charisma and A. Muflihati, "Perancangan Low Noise Amplifier Menggunakan Metode T-Junction pada Frekuensi 3 GHz," *JTERA - J. Teknol. Rekayasa*, vol. 3, no. 2, pp. 225–230, 2018, doi: 10.31544/jtera.v3.i2.2018.225-230.
- [5] G. E. Oktavia, B. S. Nugroho, and Y. Sulaeman, "Desain dan Realisasi Double Stage Low Noise Amplifier Pada Frekuensi C-Band 5,6 GHz untuk Aplikasi Radar Cuaca," *e-Proceeding Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 3660–3667, 2019.
- [6] M. R. Hidayat, I. Pazaesa, and S. Ulitia, "Analytical Performance of Low Noise Amplifier Using Single-Stage Configuration for ADS-B Receiver," *J. Elektron. DAN Telekomun.*, vol. 21, no. 2, pp. 91–97, 2021, doi: 10.14203/jet.v21.91-97.
- [7] M. R. Hidayat, R. A. Permana, and S. Sambari, "Ghz Menjadi 5 , 5 Ghz Menggunakan Patch Bowtie Berbasis Dual Slot Segi Empat dan Single Slot Segitiga The Conversion of Mimo Antenna 2x2 Frequency 2 . 4 Ghz To 5 . 5 Ghz Using Patch Bowtie Based On Rectangular Dual Slot and Single Triangle Slot," *TELKA J. Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 7, no. 2, pp. 161–173, 2021.
- [8] M. Asta, J. Mulya, and B. R. Alam, "Design of Low Noise Amplifier of a Broadband RF IC Transponder for RF Link in Manufacture 4 . 0," in *2019 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 2019, pp. 1–4.
- [9] A. B. Ibrahim, Zulkifli, C. Zalina, S. A. Arifin, and N. Kahar, "High frequency of low noise amplifier architecture for WiMAX application: A review," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 2153–2164, 2021.
- [10] Infineon Technologies AG, "BGA7M1N6 Silicon Germanium Low Noise Amplifier for LTE," 2014. https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BGA7M1N6-DS-v03_01-en.pdf?fileId=db3a304344e406b50144e46550b502d7.
- [11] A. Technologies, "ATF-34143 Low Noise Pseudomorphic HEMT in a Surface Mount Plastic Package," 2008. <https://www.richardsonrfd.com/docs/rfpd/AV02-1283en.pdf>.
- [12] M. Ramdani, A. D. Setiawan, and A. Charisma, "Perancangan Low Noise Amplifier Untuk Aplikasi Radar Pasif," *Epsil. J. Electr. Eng. Andin. Technol.*, vol. 19, no. 1, pp. 6–11, 2021.