

Perancangan LNA Untuk Mobile WiMAX Pada 2,3 GHz

Abstrak

Pada receiver mobile worldwide interoperability for microwave access (WiMAX) untuk mendapatkan penguatan sinyal radio frequency (RF) tanpa menguatkan sinyal noise maka digunakan rangkaian low noise amplifier (LNA). Di Indonesia mobile WiMAX dialokasikan pada pita frekuensi 2,3 GHz. Karena digunakan pada frekuensi tinggi agar didapat kestabilan yang tinggi, maka LNA yang dirancang berbasis mikrostrip. Metodologi rancangan ini memerlukan analisa kestabilan transistor dan penentuan rangkaian *matching* yang tepat. Jadi ada tiga bagian penting dalam perancangan LNA ini, yaitu rangkaian DC bias, transistor, dan rangkaian *matching*. Spesifikasi LNA yang dirancang mengacu pada WiMAX 802.16e dengan frekuensi kerja pada 2,3 GHz. Perancangan dan pengukuran ini menggunakan *software Advanced Design System* (ADS). Transistor yang digunakan adalah ATF-55143, karena dapat bekerja baik pada frekuensi tinggi dan memiliki *noise figure* yang kecil. Dalam perancangan ini terdapat 4 tipe LNA, yaitu LNA single stage dan single stage mikrostrip, serta LNA 3 stage dan 3 stage mikrostrip. Berdasarkan hasil simulasi keempat tipe LNA ini memiliki sensitivitas sebesar -115 dBm. Untuk single stage gain yang dihasilkan adalah sebesar 16 dB dan untuk yang LNA 3 stage 44dB – 45 dB. Noise yang dihasilkan kurang dari 1 dB untuk keempat tipe LNA tersebut.

Kata kunci :

LNA, WiMAX 802.16e, 2.3 GHz, mikrostrip

1. Pendahuluan
2. Perancangan LNA
3. Hasil dan Analisa

4. Pernyataan
Penelitian ini sebagian didanai oleh Riset Unggulan Universitas Indonesia
- Kesimpulan
- Daftar Referensi

1.1 Latar Belakang

WiMAX suatu aplikasi *wireless* yang sedang berkembang saat ini memiliki suatu kebutuhan akan LNA pada *receiver*-nya. Suatu sinyal yang dikuatkan tidak selamanya menghasilkan output yang baik. Hal ini terjadi karena tidak hanya sinyal yang dikuatkan namun noise pun ikut dikuatkan. Oleh karena itu dengan adanya LNA maka yang dikuatkan hanyalah sinyal utama tanpa menguatkan *noise*.

1.2 Rangkaian DC bias

Rangkaian penguat (*amplifier*) dapat melipatgandakan sinyal *input AC* yang kecil disebabkan karena rangkaian tersebut mendapatkan tegangan DC dari luar. Oleh karena itu setiap analisis maupun perencanaan rangkaian penguat terdapat dua komponen, yaitu *AC* dan *DC*. Melalui teori *superposisi*, kondisi *level DC* dan *AC* dapat dipisahkan. *Level DC* dari suatu rangkaian menentukan titik kerja transistor yang digunakan. Ada dua pertimbangan utama dalam merancang suatu rangkaian *DC bias*, yaitu :

1. Rangkaian *bias* harus dapat memberikan kestabilan yang tidak berpengaruh terhadap perubahan parameter *device* dan suhu.

2. Rangkaian *bias* harus mampu mengisolasi dari frekuensi tinggi sehingga arus frekuensi tinggi tidak mengalir ke dalam rangkaian bias.

Ada dua tipe rangkaian bias, yaitu pasif bias dan aktif bias. Rangkaian pasif bias hanya terdiri dari komponen resistor sedangkan pada aktif bias menggunakan komponen transistor.

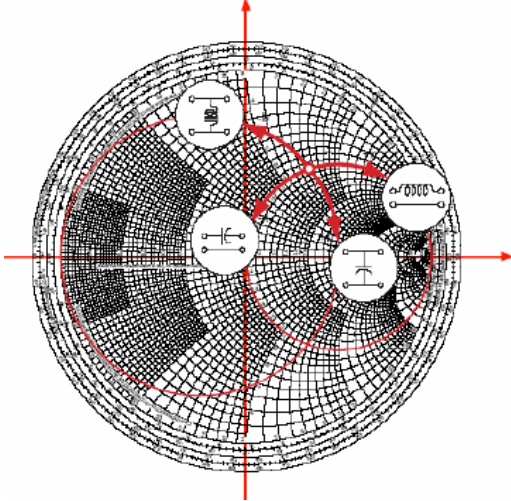
1.3 Rangkaian Penyesuaian Impedansi

Penyesuaian impedansi merupakan suatu hal yang penting dalam suatu gelombang mikro (*microwave*). Suatu saluran transmisi yang diberikan beban sama dengan *impedansi* karakteristik mempunyai *standing wave ratio* (SWR) sama dengan satu, dan mentransmisikan sejumlah gelombang tanpa adanya pantulan. Sehingga transmisinya menjadi optimum.

Perancangan rangkaian selain penyesuaian impedansi selain menggunakan pendekatan matematis juga menggunakan pendekatan grafis dengan *Smith Chart*. Perubahan dalam impedansi terjadi akibat penambahan elemen R, L, atau C pada beban :

- Induktor seri : reaktansi positif, bergerak searah jarum jam dalam resistansi konstan.
- Kapasitor seri : reaktansi bernilai negatif, bergerak berlawanan arah jarum jam dalam resistansi konstan

- Induktor paralel : susceptansi negatif, bergerak berlawanan arah jarum jam dalam lingkaran konduktansi konstan.
- Kapasitor paralel : susceptansi positif, bergerak searah jarum jam dalam lingkaran konduktansi konstan.
- Secara umum, reaktansi / susceptansi positif bergerak searah jarum jam



Gambar 1. Pergerakan impedansi pada smith chart [13]

1.4 Faktor daya dan penguat (gain)

Ada tiga tipe penguat diantaranya :

- Power gain, yaitu perbandingan daya yang hilang pada beban Z_L dengan daya yang diberikan ke bagian input Z_S .

$$G = \frac{P_L}{P_{in}} = \frac{|S_{21}|^2(1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2|1 - \Gamma_S\Gamma_{in}|^2} \quad (1)$$

- Available gain, yaitu perbandingan antara daya yang terdapat pada two-port dengan daya yang terdapat pada sumber.

$$G_A = \frac{P_{avn}}{P_{avs}} = \frac{|S_{21}|^2(1 - |\Gamma_S|^2)}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2(1 - |\Gamma_{out}|^2)} \quad (2)$$

- Transducer gain, yaitu perbandingan antara daya output dengan daya input.

$$G_T = \frac{P_L}{P_{avs}} = \frac{|S_{21}|^2(1 - |\Gamma_S|^2)(1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - \Gamma_S\Gamma_{in}|^2|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (3)$$

Untuk transducer gain terdapat 3 kondisi diantaranya :

- Matched transducer gain terjadi pada kondisi $\Gamma_S = \Gamma_L = 0$.

$$G_T = |S_{21}|^2 \quad (4)$$

- Unilateral terjadi pada kondisi S_{12} bernilai 0.

$$G_{TU} = \frac{|S_{21}|^2(1 - |\Gamma_S|^2)(1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - S_{11}\Gamma_S|^2|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (5)$$

- Maksimum unilateral terjadi pada kondisi $\Gamma_S = S_{11}^*$; $Z_S = Z_0$; $\Gamma_L = S_{22}^*$ dan $Z_L = Z_0$

$$G_{TUmax} = \frac{|S_{21}|^2}{(1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2)} \quad (6)$$

Sensitivitas daya merupakan daya minimum yang dapat diterima oleh suatu receiver

$$P_{sens}(dBm) = P_{noise}(dBm) + NF(dB) + SNR(dB) \quad (7)$$

Dimana, NF(dB) merupakan *noise figure* dan SNR merupakan *signal to noise ratio* pada *output receiver* sebesar 21 dB pada modulasi 64-QAM dengan *coding rate* 3/4.

$$P_{noise}(dBm) = 10\log_{10} KTB \\ = 10\log_{10} KT + 10\log_{10} B \quad (8)$$

1.5 Kestabilan

Ada dua jenis kestabilan, yaitu conditional stability dan unconditional stability. Jenis kestabilan yang baik adalah pada unconditional stability. Untuk menentukan unconditional stability terdapat 3 parameter utama, diantaranya :

Rollet's condition factor

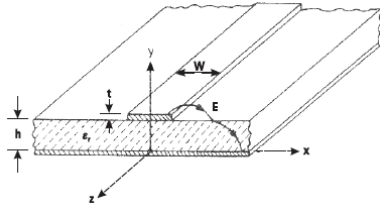
$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} > 1 \quad (9)$$

$$\mu_{source} = \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{22} - S_{11}^*\Delta| + |S_{21}S_{12}|} > 1 \quad (10)$$

$$\mu_{load} = \frac{1 - |S_{22}|^2}{|S_{11} - S_{22}^*\Delta| + |S_{21}S_{12}|} > 1 \quad (11)$$

1.6 Microstrip Line

Microstrip line merupakan media transmisi yang digunakan di dalam rangkaian RF dan *microwave*. Berikut persamaan [4] untuk Z_0 dan ϵ_{re} saat ketebalan konduktor $t=0$:



Gambar 2. Microstrip Line

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\epsilon_{rz}}} \ln\left(\frac{8h}{W} + 0,25\frac{W}{h}\right) & \text{untuk } (W/h \leq 1) \\ \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{rz}}} \left\{ \frac{W}{h} + 1,393 + 0,667 \ln\left(\frac{W}{h} + 1,444\right) \right\}^{-1} & \text{untuk } (W/h \geq 1) \end{cases} \quad (12)$$

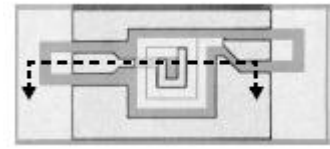
Dimana, $\eta = 120\pi$ ohm dan

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} F\left(\frac{W}{h}\right) \quad (13)$$

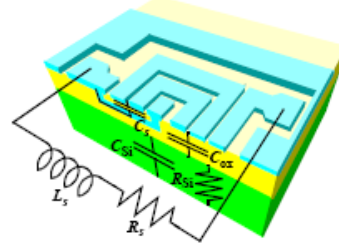
$$F(W/h) = \begin{cases} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} + 0,041\left(1 - \frac{W}{h}\right)^2 & \text{untuk } (W/h \leq 1) \\ \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} & \text{untuk } (W/h \geq 1) \end{cases} \quad (14)$$

1.7 Microstrip Rectangular Induktor

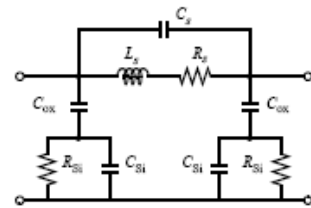
Suatu inductor dibuat dengan tujuan untuk menyimpan energy magnetik, sehingga pengaruh dari resistansi (R) dan kapasitansi (C) tidak dapat terhindari. Olehkarena itu perlu mempertimbangkan faktor yang bersifat parasitik. Resistansi parasitik melepaskan energy melalui *ohmic loss* sementara kapasitansi parasitik menyimpan energy listrik yang tidak diinginkan.



(a)



(b)

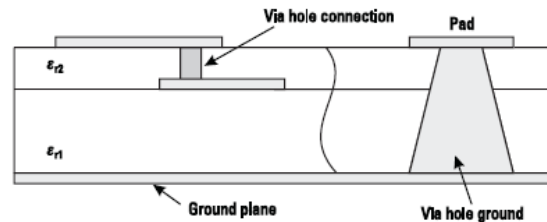


(c)

Gambar 3. Mikrostrip Rektangular Induktor

1.8 Cylindrical Via Ground

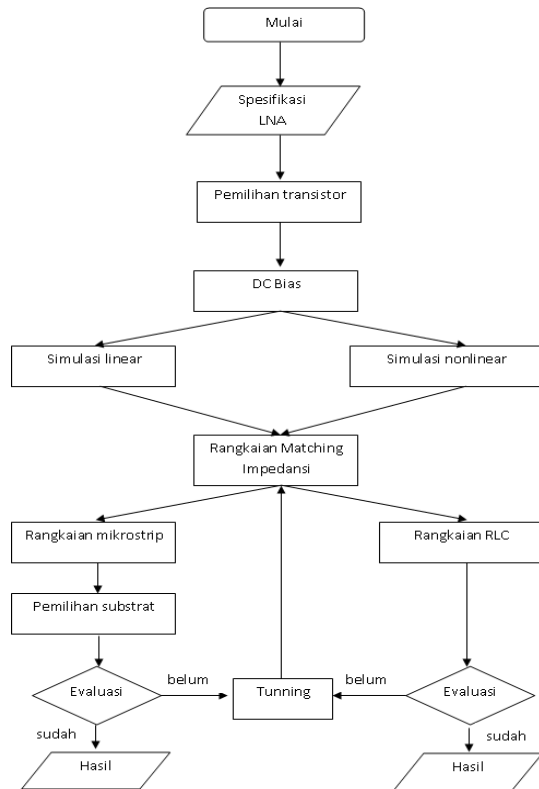
Fungsi pertama digunakan untuk menghubungkan layer atas dengan layer bawah pada teknologi multilayer dan fungsi kedua digunakan untuk mendapatkan *short circuit* atau menghubungkan ke *ground* (*via hole ground*). *Via hole ground* ini memberikan *low-inductance grounding* untuk transistor, diode, kapasitor, resistor, induktor dan transmission lines.



Gambar 4. Fungsi Via hole [4]

2. PERANCANGAN LNA

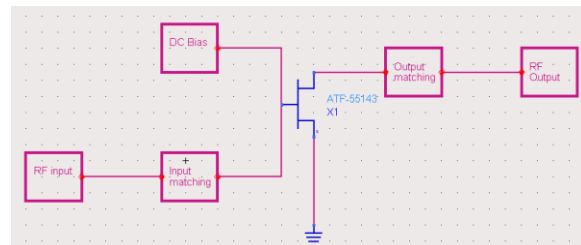
2.8 Alur perancangan



Gambar 5. Alur perancangan LNA

2.2 Blok Diagram LNA

Low noise amplifier terdiri dari 4 bagian utama, diantaranya transistor itu sendiri sebagai penguat, rangkaian DC bias, rangkaian input dan output matching seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Blok diagram LNA

2.3 Spesifikasi LNA

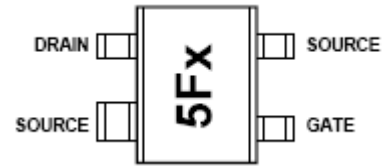
Rancangan LNA ini memiliki beberapa spesifikasi, diantaranya :

1. Frekuensi 2.3 GHz [9]
2. Sensitivitas daya ≤ -73 dBm [9]
3. Gain > 16 dB [2]
4. Noise Figure < 1 dB [2]
5. Unconditional stable ($K > 1$) [17]

6. Input Return of Loss (IRL) < -10 dB [28]
7. Output Return of Loss (ORL) < -10 dB [28]
8. VSWR in = 1 – 2 [28]
9. VSWR out = 1 – 2 [28]
10. Low supply Voltage ($V_{dc} = 2.7$ volt) [1][2]
11. Konsumsi arus yang kecil ($I_{ds} = 10$ mA) [1][2]
12. High-Input IP3 > 5 dBm [11]
Output IP3 = 20 dBm [2]

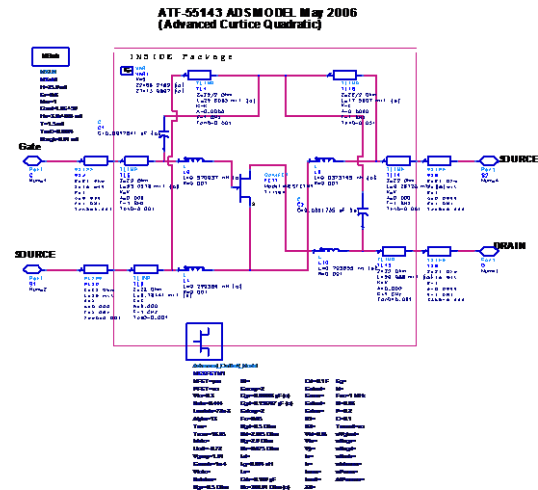
2.4 Transistor ATF55143

Pada perancangan transistor yang digunakan adalah ATF-55143. Transistor ini merupakan low noise enhancement mode E-PHEMT yang di desain untuk aplikasi komersial dengan biaya yang murah pada rentang frekuensi VHF hingga 6 GHz. ATF-55143 ini dilapisi dengan permukaan plastik dan memiliki 4 kaki (Gate, Drain, Source 1 dan source 2).



Gambar 7. ATF55143 [1]

Berikut model nonlinear atau rangkaian ekivalen dari transistor ATF55143 :



Gambar 8. ATF55143_opt.dsn

2.1 Rangkaian DC bias

Untuk model nonlinear diberikan rangkain bias yang menghasilkan tegangan $V_{ds} = 2,7$ V dan $I_{ds} = 10$ mA seperti pada s-parameter yang terukur. Rangkaian bias yang digunakan adalah bias pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan ini terdiri dari R_2 dan R_3 . Tegangan pembagi ini berasal dari tegangan feedback yang dihasilkan oleh R_1 yang membantu untuk menjaga arus drain tetap konstan. R_4

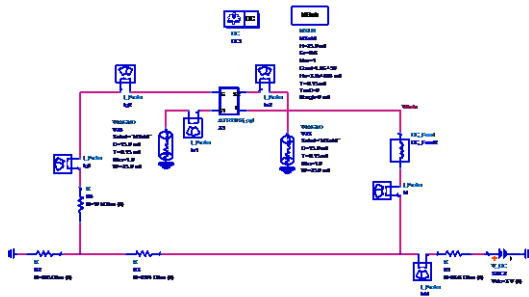
(10 kΩ) bertujuan untuk membatasi arus yang akan menuju ke gate. Resistor R₁ dapat dihitung berdasarkan nilai V_{ds}, I_{ds} dan sumber tegangan DC (V_{dd}) [1] [2].

$$R_1 = \frac{V_{dd} - V_{ds}}{I_{ds} + I_{ggs}} = \frac{3V - 2,7V}{10\text{ mA} + 0,5\text{ mA}} = 28,6\ \Omega \quad (15)$$

Nilai R₂ dan R₃ dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini [1] [2] :

$$R_2 = \frac{V_{ggs}}{I_{ggs}} = \frac{0,427\text{ V}}{0,505\text{ mA}} = 845\ \Omega \quad (16)$$

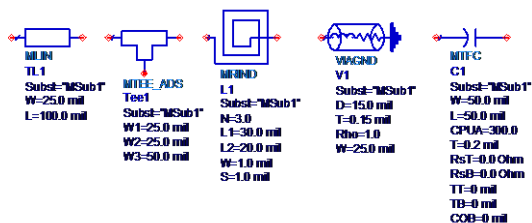
$$R_3 = \frac{(V_{ds} - V_{ggs})R_2}{V_{ggs}} = \frac{(2,7V - 0,427V) * 845\ \Omega}{0,427\text{ V}} = 4498\ \Omega \approx 4505\ \Omega \quad (17)$$



Gambar 9. Dbias.dsn

2.6 Komponen mikrostrip

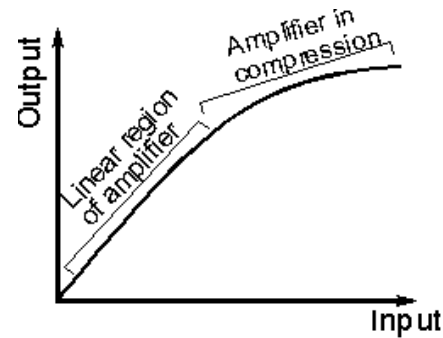
Dari rangkaian analog yang telah dibuat, akan dirubah bentuk kedalam mikrostrip yang terdiri dari mikrostrip line, mikrostrip TEE, mikrostrip rectangular induktor, mikrostrip thin film kapasitor, dan VIA sebagai ground.



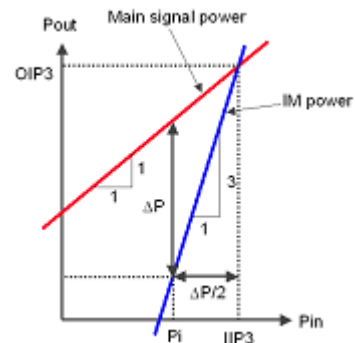
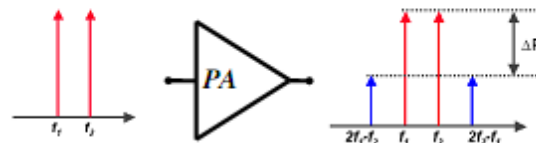
Gambar 10. TLines-mikrostrip

3.6 Simulasi Non Linear (Harmonic Balance)

Pada kondisi normal suatu amplifier seharusnya memiliki hubungan yang linear antara input dengan output. Namun pada kenyataannya suatu amplifier memiliki keterbatasan. Sehingga dengan keterbatasan inilah yang menyebabkan pada kondisi tertentu tidak terjadi kelinearan.



Gambar 11. Output Vs Input



Gambar 12. Third-Order Intercept point [5]

$$IIP3(dBm) = \Delta P/2 + P_i(dBm) \quad (18)$$

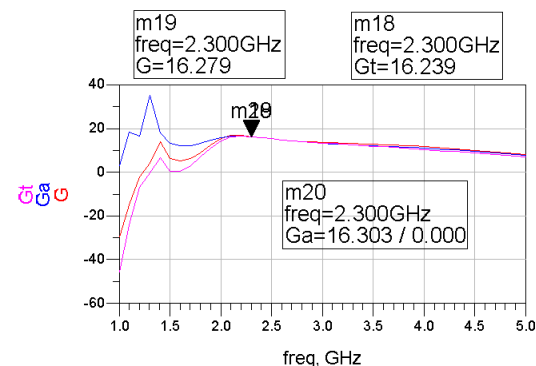
$$OIP3(dBm) = Gain(dB) + IIP3(dBm) \quad (19)$$

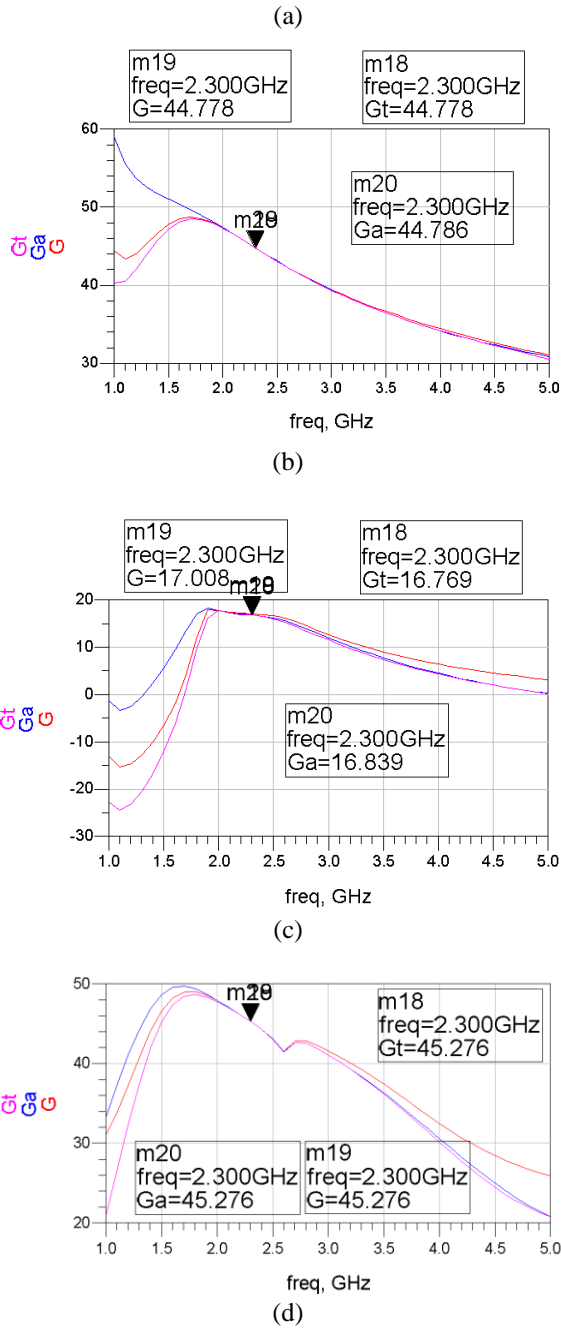
3. HASIL SIMULASI

3.1 Rangkaian LNA

Dalam perancangan ini terdapat 2 tipe LNA, yaitu single stage dan 3 stage. Untuk setiap tipe terdapat rangkaian LNA dalam bentuk mikrostrip. Hasil perancangan dapat dilihat pada gambar 15 -18

a) Gain





Gambar 13. (a) Single stage ; (b)3 stage ; (c)single stage mikrostrip ; (d) 3 stage mikrostrip

b) Sensitivity (dBm)

Tabel 1. Sensitivity

| Single stage | Single stage mikrostrip | 3 stage | 3 stage mikrostrip |
|--------------|-------------------------|---------|--------------------|
| -115,12 | -115,172 | -115,46 | -115,391 |

c) Noise (dB)

Tabel 2. Noise Figure

| Single stage | Single stage mikrostrip | 3 stage | 3 stage mikrostrip |
|--------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 0,867 | 0,816 | 0,528 | 0,597 |

d) Kestabilan (K)

Tabel 3. Rollet stability

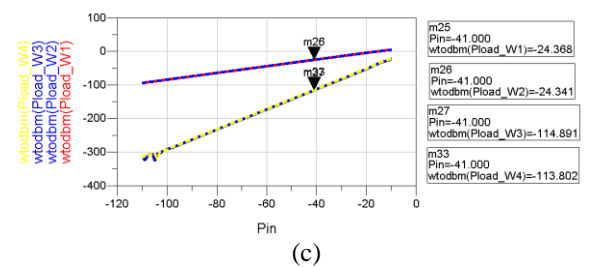
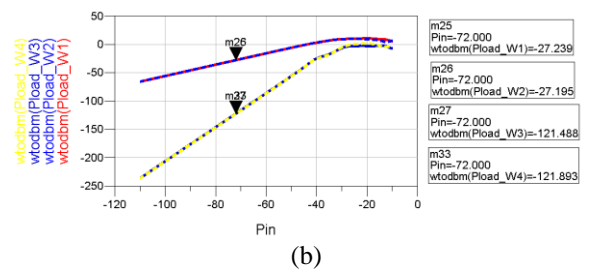
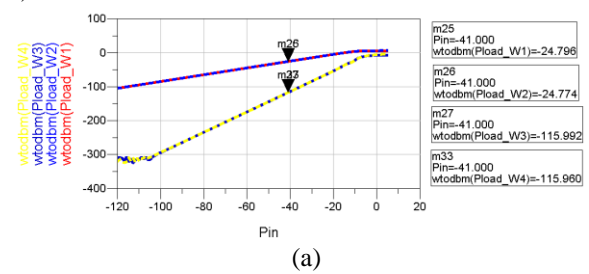
| Single stage | Single stage mikrostrip | 3 stage | 3 stage mikrostrip |
|--------------|-------------------------|---------|--------------------|
| 1,305 | 1,203 | 14,941 | 13,376 |

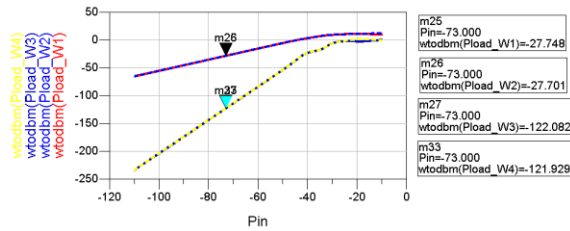
e) Return Loss (dB)

Tabel 4. IRL dan ORL

| Single stage | Single stage mikrostrip | 3 stage | 3 stage mikrostrip |
|-------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| -20,262 & -24,663 | -12,587 & -40,896 | -41,411 & -32,875 | -46,418 & -59,412 |

f) Harmonic balance





(d)
Gambar 14. Pin Vs Pout

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian diatas, dapat kita ambil beberapa kesimpulan, diantaranya adalah :

- 1 *Low Noise amplifier* ini dirancang dengan tiga bagian utama, yaitu transistor sebagai penguat, rangkaian DC bias, dan rangkaian matching.
- 2 LNA dapat menghasilkan gain dengan noise yang kecil.
- 3 Pada kondisi nonlinear terjadi ketidak linearan antara daya input dengan daya yang dihasilkan. Dalam hal ini terjadi penurunan gain transducer yang dihasilkan. Penurunan ini terjadi akibat adanya pendistribusian daya selain di frekuensi pusat.

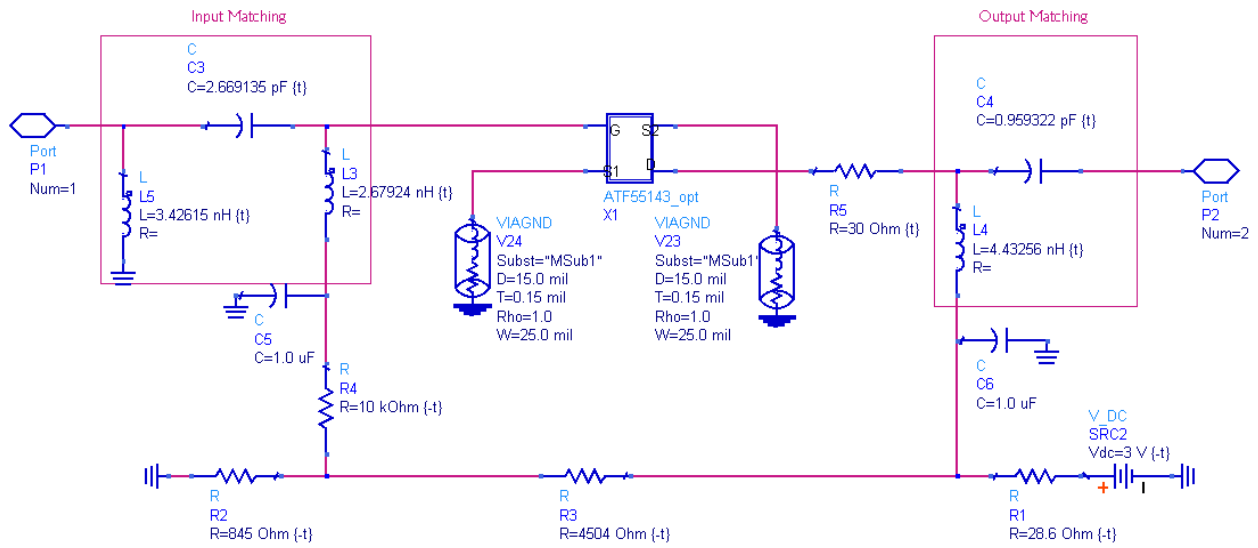
5. REFERENSI

- [1] Agilent ATF-55143 *Low Noise Enhancement Mode Pseudomorphic HEMT in a Surface Mount Plastic Package*, Datasheet, Agilent Technologies.
- [2] Application Note 5294 : *Low Noise Amplifier 2300 GHz Amplifier*, Avago Technologies.
- [3] Application Note 5328 : *3,5 GHz WiMAX Low Noise Amplifier for CPE and BTS Application Using ATF-551M4*. Avago Technologies.
- [4] Bahl, Inder, *Lumped Elements for RF and Microwave Circuits*. Norwood : Artech House, Inc, 2003.
- [5] Banerjee, Bhaskar., "Power Amplifier-1", EE7V82, Advanced RF IC Design.
- [6] Burghartz, Joachim N., "RF Circuit Design Aspect of Spiral Inductors on Silicon," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 33, no.12, Desember. 1998.
- [7] C. P. Yue dan S. Simon W, "Design Strategy of On-Chip Inductors for Highly Integrated RF Systems," Invited Paper.
- [8] C.P Yue dan S. Simon W, "Physical Modeling of Spiral Inductor on Silicon". *IEEE Transaction on electron devices*, vol.47, no. 3, Maret 2000
- [9] Dirjen Postel. "Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi Base Station

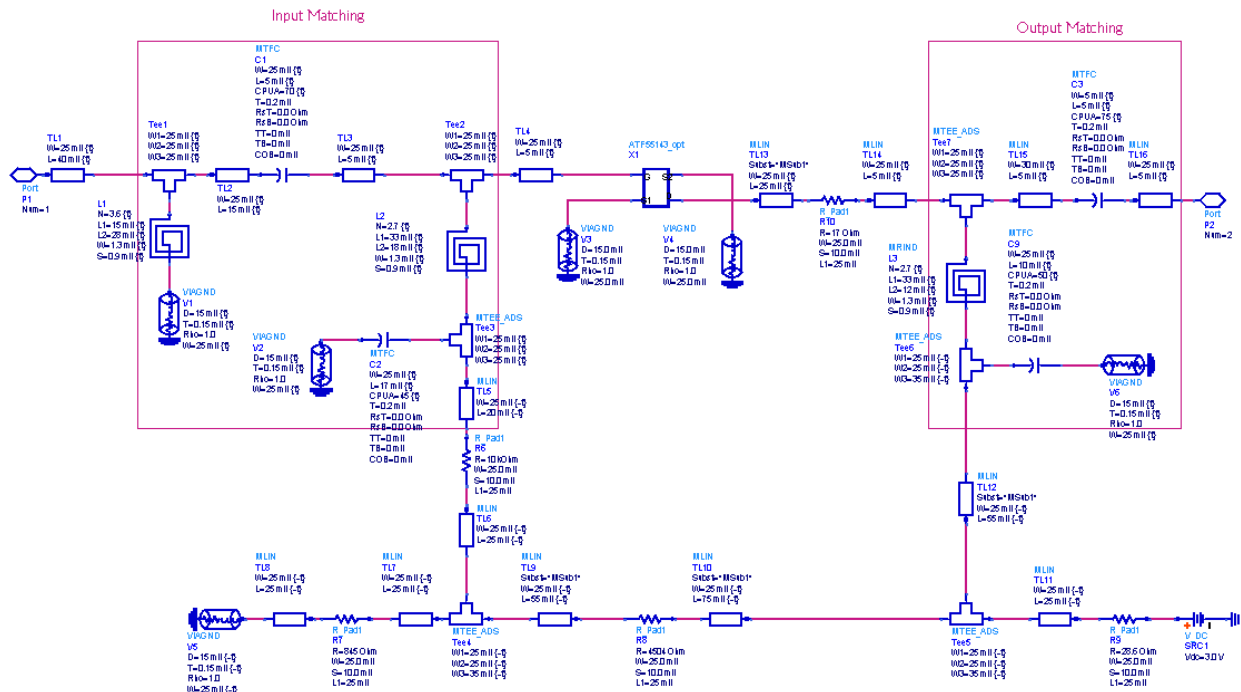
Broadband Wireless Access (BWA) nomadic pada pita frekuensi 2,3 GHz.." 13 Juni 2009.

<http://www.postel.go.id/content/ID/regulasi/standardisasi/kepdirektori/kepdirektori%20base%20station%20bwa.doc>

- [10] H. M. Greenhouse, "Design of planar rectangular microelectronic inductors," *IEEE Trans. Parts, Hybrids, Pack.*, vol. PHP-10, pp. 101–109, June 1974.
- [11] Husein, Arshad. *Advanced RF Engineering for Wireless System and Network*. New York : John Wiley and Sons, Inc, 2005.
- [12] "Impedance Matching".
<<http://www.nic.unud.ac.id/~wiharta/elkom/materi/Matching%20Impedance.pdf>>
- [13] "Intermodulation distortion, cross modulation and intercept point," 13 juni 2009.
<<http://www.radioelectronics.com/info/receivers/overload/crossmodulation-intermodulation-intercept-point.php>>
- [15] M. E. Goldfarb dan R. A. Puce1, "Modeling Via Hole Grounds in Microstrip," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 1, No. 6, pp. 135-137, June 1991.
- [16] Payne, Ken., "Practical RF Amplifier Design Using the Available Gain Procedure And the Advanced Design System EM/Circuit Co-Simulation Capability"
- [17] Pozar, David M. *Microwave Engineering*, 2nd ed. New York : Wiley and Sons, 1998.
- [10] Pozar, David M. *Microwave and RF Design of Wireless System*. New York : John Wiley and Sons, Inc, 2001.
- [19] "Standing Wave Ratio," Wikipedia. 13 Juni 2009.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Standing_wave_ratio>
- [20] Surjono, Herman D. 2001. "Elektronika Analog I".
<<http://www.elearning-jogja.org/file.php/43/ElektronikaAnalogIch4/biaspembagi.pdf>>
- [21] Syed Hassan, Syed Idris. *Chapter 3 : Matching and Tuning*. Sch of Elect and Electron Eng, Engineering Campus USM.
- [22] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. *Amandement 2 : Physical and Medium Access Control Layer for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1*. New York : IEEE, 28 February 2006.



Gambar 15. Single stage

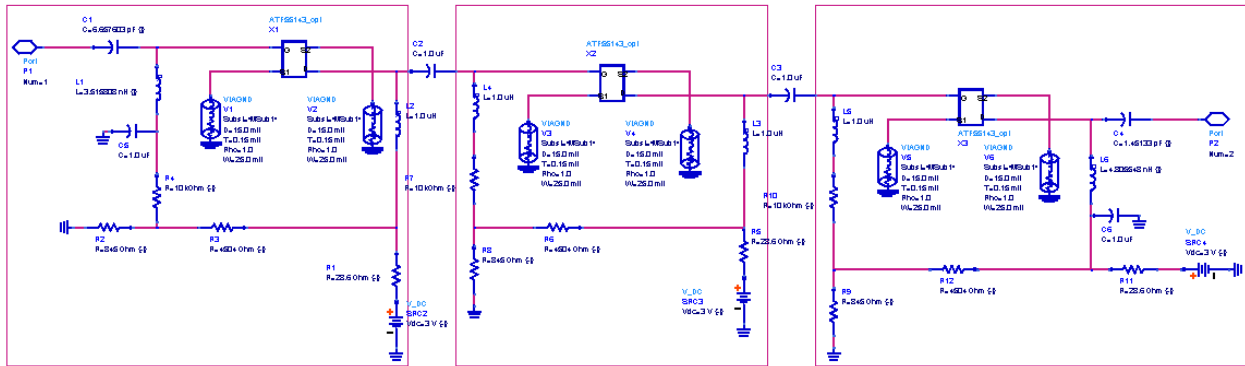


Gambar 16. Single stage mikrostrip

Tingkat 1

Tingkat 2

Tingkat 3

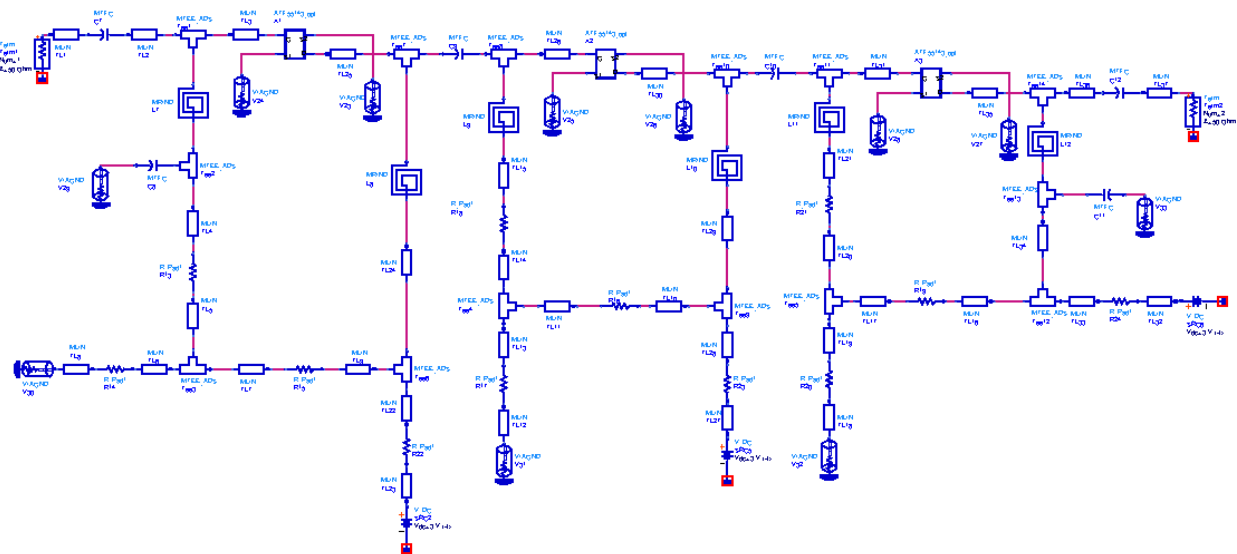


Gambar 17. 3 stage

Tingkat 1

Tingkat 2

Tingkat 3



Gambar 18. 3 stage mikrostrip