PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PENGUAT BERDERAU RENDAH UNTUK APLIKASI STASIUN BUMI PENERIMA SATELIT NANO PADA FREKUENSI 2,4-2,45 GHZ BERBASIS MIKROSTRIP

Mira Hanafiah Rahmi[1], Heroe Wijanto[2], [3]

[1]Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Satelit nano Iinusat-1 yang tengah dikembangkan oleh IT Telkom dan 6 institusi lainnya mengorbit pada orbit LEO dengan ketinggian 700 km dan bekerja pada frekuensi S-band (2,4 -2,45 GHz). Sinyal yang dikirimkan oleh satelit tersebut akan diterima oleh stasiun bumi penerima. Karena level daya sinyal yang diterima sangat kecil, maka setelah dikuatkan oleh antena, sinyal akan diperkuat lagi oleh penguat daya berderau rendah agar sinyal memiliki level daya yang cukup besar dengan derau yang rendah untuk bisa diproses oleh stage selanjutnya.

Pada tugas akhir ini dirancang dan direalisasikan sebuah penguat berderau rendah (low noise amplifier) yang bekerja pada frekuensi 2,4 – 2.45 GHz sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh stasiun bumi penerima satelit nano. Penguat berderau rendah yang dibuat berbasis mikrostrip. Spesifikasi penguat derau rendah yang diinginkan adalah sebagai berikut: penguatan 45 dB, dan noise figure maksimum sebesar 2 dB. Digunakan sebuah hetero junction field effect transistor sebagai komponen aktif untuk menguatkan sinyal yang diterima dari pemancar. Transistor yang digunakan pada tugas akhir ini adalah CEL NE3509M04 yang merupakan transistor stabil dengan syarat karena tidak memenuhi kriteria kestabilan tanpa syarat, yaitu K>1 dan ΔS < 1. Untuk itu dibuat lingkaran kestabilan dan lingkaran penguatan konstan pada smith chart untuk mendapatkan koefisien pantul yang bekerja pada daerah kestabilannya dan menghasilkan penguatan yang diinginkan. Transistor tersebut hanya memiliki penguatan maksimum sebesar 18 dB, sehingga dirancang 3 buah penguat secara kaskade menggunakan transistor ini untuk mendapatkan penguatan 45 dB.

Pengujian kinerja penguat berderau rendah dilakukan dengan membandingkan hasil yang didapat dari hasil pengukuran dengan spesifikasi perancangan. Dari hasil pengukuran diketahui LNA kaskade yang dibuat memiliki penguatan tertinggi pada frekuensi 1,38 GHz dengan penguatan sebesar 15,24 dB, sedangkan noise figure yang diukur menggunakan metode gain didapatkan sebesar 24,84 dB.

Kata Kunci : penguat berderau rendah, derau, penguatan

Abstract

Iinusat-1 nano satellite being developed by IT Telkom and another 6 institutions is going to orbit in LEO orbit with the height of 700 km and work in S-Band frequency (2,4-2,45 GHz). The signal transmitted by the satellite will be received by the ground station. Because the received signal power level will be very low, after being amplified by the receiver antenna, it will be re-amplified by the low noise amplifier in order that the signal will have big enough power level of which low noise is processed by the next stage.

In this final assignment, a low noise amplifier is designed and realized to works in frequency range 2,4-2,45 GHz according to the specification needed by the nano satellite receiver ground station. The low noise amplifier is made based on microstrip. The low noise amplifier specification is assigned as follow: gain of 45 dB, and maximum noise figure is 2 dB. Is used a hetero junction field effect transistor as the active component for amplifying power received from the transmitter. The transistor used in this final assignment is CEL NE3509M04 which is a conditionally stable transistor because it doesn't fulfill the criteria of unconditionally stable transistor, which K > 1 and ΔS < 1 . Stability circles and constant gain circle on Smith Chart are made for getting reflection coefficient which works in stable region and produce the desired gain. Only does it has maximum gain of 18 dB, therefore 3 amplifiers are designed to make a cascade amplifier for getting gain of 45 dB.

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 cascade LNA has the highest gain at frequency 1,38 GHz with the gain of 15,24 dB, and the noise figure according to gain method measurement is 24,48 dB.

Keywords : low noise amplifier (LNA), noise, gain

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterlibatan IT Telkom dalam proyek pengembangan satelit nano *Iinusat-1* bersama 6 institusi lainnya turut pula melibatkan beberapa mahasiswa untuk terlibat aktif dalam penelitian, dan pengembangan proyek tersebut. Tugas akhir ini dibuat untuk mendukung proyek tersebut dengan merancang perangkat pendukung berupa penguat berderau rendah (*low noise amplifier)* yang akan diaplikasikan di stasiun bumi penerima satelit nano.

Sinyal yang diterima oleh stasiun bumi dari satelit nano memiliki daya yang sangat kecil bisa dalam orde -160 dBW tergantung dari jarak, level daya pancar dan penguatan antena yang digunakan. Daya yang diterima dari satelit akan dikuatkan oleh antena penerima, kemudian dikuatkan lagi oleh penguat daya berderau rendah, lalu masuk ke *down converter* untuk mengubah frekuensi RF menjadi frekuensi IF, setelah itu sinyal IF di demodulasi menjadi sinyal *base band* untuk kemudian diproses oleh *processor*. Karena sensitivitas dari *down converter* biasanya tidak terlalu tinggi sehingga tidak mampu mendeteksi sinyal terima yang telah dikuatkan oleh antena, maka penggunaan penguat daya berderau rendah menjadi penting agar sinyal terima memiliki level daya yang lebih tinggi sehingga bisa diproses oleh *down converter*.

Sinyal yang diterima dari satelit telah melewati jarak tempuh yang sangat jauh, karena satelit nano mengorbit pada orbit LEO maka jarak yang ditempuh sinyal untuk sampai di stasiun bumi mencapai sekitar 700 km, dengan jarak tempuh yang sangat jauh maka sinyal akan mengalami *free space loss* dan juga akan mendapatkan derau yang cukup besar, baik derau yang didapatkan selama pentransmisian maupun kontribusi derau yang cukup tinggi yang diberikan oleh antena . Pada penguat berderau rendah, sinyal dikuatkan dan derau yang dihasilkan penguat dibuat seminimal mungkin agar tidak semakin merusak sinyal lemah yang masuk. Untuk itu dibutuhkan perhitungan yang tepat antara penguatan dan *noise figure*-nya agar daya sinyal yang masuk dapat diperkuat dengan penguatan yang besar namun dengan *noise figure* yang kecil.

Pada tugas akhir ini dirancang sebuah penguat berderau rendah yang bekerja pada frekuensi 2,4 – 2,45 GHz sehingga *bandwidth* yang dibutuhkan pada tingkat RF adalah sebesar 50 MHz. Dari beberapa referensi yang digunakan, penguat yang dibuat hanya terdiri atas satu *stage* dan hanya memiliki penguatan sekitar 10-15 dB, karena kebutuhan penguatan dalam tugas akhir ini cukup besar, yaitu sekitar 43 dB, maka penguat berderau rendah yang dirancang di tugas akhir ini merupakan penguat kaskade yang terdiri atas 3 *stage* penguat yang identik.

1.2 Tujuan

Perancangan dan realisasi penguat berderau rendah dengan penguatan ≥ 40 dB dan *noise figure* < 2 dB untuk frekuensi 2.4-2.45 GHz bertujuan untuk:

1. Merancang penguat berderau rendah yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh stasiun bumi yang tengah dikembangkan IT Telkom.
2. Merealiasikan suatu perangkat penguat berderau rendah yang dapat diaplikasikan pada stasiun bumi yang tengah dikembangkan IT Telkom.
3. Menjadikan rancangan penguat berderau rendah yang dibuat sebagai referensi yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan stasiun bumi penerima satelit nano selanjutnya.

1.3 Rumusan Masalah

Dalam perancangan dan realisasi penguat berderau rendah untuk tugas akhir ini ada beberapa permasalahan yang harus dipecahkan, yaitu:

1. Bagaimana tahapan pembuatan penguat berderau rendah ?
2. Bagaimana cara membuat penguat berderau rendah dengan menggunakan transistor CEL NE3509M04 yang hanya memiliki penguatan maksimal pada frekuensi 2.4 GHz sebesar ± 18 dB agar bisa menghasilkan penguatan ≥ 40 dB ?
3. Apa dampak yang terjadi bila setiap *stage* dari penguat kaskade yang dirancang merupakan penguat yang identik sama?
4. Bagaimana cara membuat penguat berderau rendah sesuai spesifikasi yang dibutuhkan pada frekuensi kerja 2.4 - 2.45 GHz ?

5. Bagaimana cara pengujian penguat berderau rendah yang telah terealisasi dan dibandingkan dengan spesifikasi perancangan?

1.4. Batasan Masalah

Mengingat perancangan penguat *RF* berderau rendah memiliki ruang lingkup yang sangat luas dan memiliki spesifikasi yang beragam. Maka dalam tugas akhir ini dibuat beberapa batasan masalah, yang dibuat berdasarkan spesifikasi penguat berderau rendah yang diinginkan. Adapun batasan masalah tersebut melingkupi:

1. Penguat berderau rendah memiliki penguatan ≥ 40 dB.
2. Transistor yang digunakan adalah transistor CEL NE3509M04.
3. Metode yang digunakan untuk memperoleh penguatan ≥ 40 dB adalah dengan metode kaskade.
4. Perancangan dan realisasi penguat berderau rendah dikhususkan untuk aplikasi pada stasiun bumi penerima sinyal dari satelit nano
5. Spesifikasi penguat berderau rendah yang dirancang bangun:
   a. Frekuensi kerja : 2,4-2,45 GHz
   b. Frekuensi tengah : 2,425 GHz
   c. Daya masukan : -143 dBW
   d. Daya keluaran : -100 dBW
   e. Impedansi masukan : 50 Ω
   f. Impedansi keluaran : 50 Ω
   g. VSWR : ≤ 1.5
   h. Penguatan : ≥ 43 dB
   i. *Noise Figure* : ≤ 2 dB

1.5. Metodologi Penelitian

Metode pengerjaan tugas akhir ini meliputi beberapa tahapan antara lain sebagai berikut:

1. Studi literatur

Mempelajari dan memahami beberapa literatur, baik berupa *text book*, artikel, maupun jurnal ilmiah yang dijadikan sebagai acuan referensi pengerjaan tugas akhir ini. Studi literatur meliputi pencarian referensi yang berkaitan dengan teori-teori, rumus-rumus yang akan dipakai, bentuk rangkaian dan lain-lain.

2. Metode Observasi

Melakukan pengamatan secara langsung terhadap tugas akhir, proyek akhir, dan tesis yang telah dibuat sebelumnya sebagai acuan referensi dan bahan pertimbangan dalam perancangan tugas akhir yang sedang dikerjakan.

3. Perancangan dan Proses Simulasi

Membuat perancangan rangkaian sebuah penguat daya berderau rendah melalui perhitungan berdasarkan rumus-rumus acuan yang terdapat di referensi kemudian mensimulasikan hasil perancangan menggunakan *software ADS* , *Ansoft Designer SV2*, dan *Altium Designer* .

4. Realisasi dan Pengukuran

Setelah dilakukan perancangan sebuah penguat daya, maka dilakukan realisasi dan diukur parameter dari karakteristik penguat daya tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Susunan penulisan dalam buku tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I : PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

2. BAB II : DASAR TEORI

Membahas mengenai landasan teori yang berkaitan dengan penyusunan tugas akhir.

3. BAB III : PERANCANGAN DAN REALISASI

Berisi tentang perancangan penguat daya, perancangan *PCB* dan juga diagram alir dari alat yang akan dibuat.

4. BAB IV : PENGUKURAN DAN ANALISA

Membahas tentang pengukuran terhadap penguat daya berderau rendah yang telah dibuat dengan melakukan serangkaian pengukuran berdasarkan parameter dan dianalisis untuk mendapatkan gambaran kuantitatif terhadap performansi penguat daya berderau rendah serta perbandingan hasil pengukuran dan spesifikasi perancangan.

5. BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang diajukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengukuran dan analisis pada LNA kaskade yang telah dirancang bangun, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil pengukuran diketahui bahwa LNA kaskade yang dirancang bangun tidak dapat bekerja pada frekuensi operasi yang dirancang yaitu frekuensi 2,4 GHz, pada frekuensi tersebut LNA meredam sinyal mencapai sekitar 20 dB.
- LNA kaskade memiliki penguatan tertinggi pada frekuensi 1,38 GHz dengan penguatan sebesar 15,24 dB. LNA kaskade memiliki respon penguatan yang mirip dengan LNA tiap stagenya, yaitu memiliki penguatan tertinggi pada frekuensi 1,38 GHz dengan penguatan sekitar 15 dB dan diredam sebesar ± 20 dB pada frekuensi 2,4 GHz.
- LNA kaskade memiliki lebar pita yang sangat lebar sebesar 760 MHz , yaitu dari frekuensi 1,06 GHz – 1,82 GHz dengan penguatan tertinggi sebesar 15,24 dB dan pengguatan terendah > 20 dB. (Penguatan terendah tidak dapat terlihat karena sudah terinterferensi dengan *noise* keluaran total).
- LNA kaskade memiliki lebar pita pada batas SWR ≤ 1,5 sebesar 21 MHz, yaitu pada frekuensi 1,287 – 1,308 GHz.
- VSWR minimum terjadi pada frekuensi 1,3 GHz, yaitu sebesar 1,117 sedangkan VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 10,4.
- Nilai impedansi LNA pada saat SWR minimum yaitu pada frekuensi 1,3 GHz adalah sebesar (58,56 + 9,52j) Ω. Nilai impedansi masih bersifat induktif.
- Nilai *noise figure* LNA kaskade pada frekuensi 1,38 GHz berdasarkan pengukuran menggunakan metode *gain* adalah sebesar 24,84. Hasil ini jauh dari target spesifikasi, namun keakuratan hasil pengukuran sangat buruk karena metode *gain* bukanlah metode yang tepat untuk pengukuran perangkat dengan *noise* yang sangat rendah dan *gain* yang tidak terlalu tinggi.

- Hasil perhitungan dan hasil simulasi yang berhasil tidak dapat memberikan jaminan LNA yang direalisasikan akan memberikan hasil dan respon yang sama dengan hasil simulasi karena faktor komponen, substrat PCB, dan teknik penyolderan sangat berpengaruh terhadap performansi dari LNA yang dibuat.
- Substrat PCB yang digunakan harus memiliki spesifikasi yang kompatibel dengan perangkat yang akan dibuat. Karena LNA yang dibuat bekerja pada frekuensi tinggi maka substrat PCB yang digunakan harus dikhususkan untuk frekuensi tinggi. Pada desain awal LNA yang dibuat substrat PCB yang digunakan adalah FR-4 biasa, sedangkan pada LNA Desain 4 substrat PCB yang digunakan adalah FR-4 HF, yang dikhususkan untuk aplikasi frekuensi tinggi.
- Spesifikasi dan karakteristik dari komponen-komponen yang dipergunakan harus benar-benar diperhatikan. Pada tugas akhir ini, permasalahan yang paling krusial terdapat pada transistor. Transistor yang dipergunakan merupakan komponen yang sangat sensitif terhadap pelepasan elektrostatis (*electrostatic discharge*) sehingga tidak boleh sembarang dipegang dan tidak boleh tersentuh. Selain sensitif terhadap pelepasan elektrostatis, transistor juga sangat sensitif terhadap metode penyolderan, metode penyolderan pada tugas akhir ini adalah metode *partial heating*, di *datasheet* disebutkan dengan penggunaan metode *partial heating*, penyolderan harus dilakukan dengan beberapa kondisi, yaitu waktu penyolderan tiap sisi dari transistor maksimum 3 detik dengan temperatur maksimum 350^0 C. Namun pada saat realisasi , karena keterbatasan kemampuan teknik penyolderan, maka kondisi penyolderan tersebut tidak dapat terpenuhi, hal tersebutlah yang menjadi sumber permasalahan utama, Karena karakteristik transistor yang berubah membuat rangkaian prategangan dan rangkaian penyepadanan menjadi tidak valid.
- Selain transistor, komponen pendukung lain yang digunakan terutama komponen induktor dan kapasitor harus benar-benar diperhatikan spesifikasinya. Nilai SRF dari komponen yang digunakan harus lebih besar dari frekuensi operasi dari perangkat, karena bila lebih kecil dari frekuensi operasi maka karakteristik dari komponen tersebut pada frekuensi operasi akan berubah.

5.2 Saran

Untuk perbaikan dan pengembangan penelitian tentang proyek akhir ini, beberapa saran penulis antara lain :

- Lakukan pemilihan komponen dengan seksama, pilih komponen-komponen yang memenuhi spesifikasi, dan perhatikan *datasheet* dari komponen yang dipergunakan dengan teliti, perlakuan terhadap komponen harus benar-benar diperhatikan terutama apabila komponen merupakan komponen yang sangat sensitif.
- Perhatikan dengan seksama teknik penyolderan (lama waktu penyolderan yang diperbolehkan dan temperatur solder) yang direkomendasikan di *datasheet* dari komponen yang dipergunakan, apabila kemampuan teknik penyolderan masih dirasa belum memadai, pilih komponen yang tidak terlalu sensitif terhadap teknik penyolderan.
- Perhatikan penggunaan substrat PCB yang akan dipergunakan, gunakan substrat yang sesuai dengan spesifikasi dan kompatibel dengan frekuensi kerja.
- Perhitungan jalur mikrostrip dan rangkaian penyepadanan harus dilakukan dengan teliti karena akan sangat berpengaruh terhadap penguatan dan kesepadanan dari LNA.
- Transisor harus bekerja sesuai dengan titik kerja yang telah dirancang, karena jika tidak, rangkaian penyepadanan yang dibuat menjadi tidak valid.
- Pengukuran *noise figure* sebaiknya tidak menggunakan metode *gain*, namun langsung menggunakan alat ukur *noise figure analyzer*.
- Untuk meminimalisir redaman, maka usahakan panjang jalur mikrostrip penghubung antar komponen sependek mungkin.
- Pembelian seluruh komponen yang digunakan disarankan dilakukan melalui pemesanan agar didapatkan komponen yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, karena ketersediaan komponen di pasaran (toko elektronik) terkadang kurang memadai dan spesifikasi yang terinci tidak diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

[1] **Pozar, David M.,** *Microwave Engineering third edition.* John Wiley & Sons, USA. 2005

[2] **Bowick, Chris.**, *RF Circuit Design.* Newnes, USA. 1982

[3] **Hong, Jia Seng.**, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. John Wiley & Sons, USA. 2001

[4] **Amir Djalil.**, *Perancangan dan Realisasi Low Noise Amplifier Frekuensi 800 MHz.* IT Telkom, Bandung. 2010

[5] **Harvi Dekri.**, *Rancang Bangun Balance Amplifier Menggunakan Branch Line Coupler Berbasis Mikrostrip Untuk Frekuensi 2 GHz Penguatan 10 dB.* IT Telkom, Bandung. 2008

[6] **Thai, Trang.**, *Low Noise Amplifier Design for Operating Frequency of 4.2 GHz.* 2007

[7] **California Eastern Laboratories.,** *Application of Microwave GaAs FETs*

[8] **Tunggul Aditya**. *Perancangan Dan Realisais Penguat Daya (Pre-Amplifier) Pada Frekuensi 2,4 GHz Untuk Aplikasi Nanosatelit Iinusat-1 Berbasis Mikrostrip*. IT Telkom

[9] **Ervin Trisasongko,** *Rancang Bangun Penguat Daya Untuk Frekuensi 2,5 -2,69 GHz Berbasis Mikrostrip.* IT Telkom

[10] **Mohamad Ramdhani,** *Diktat Kuliah Elektronika*. IT Telkom

[11] **Ari Prabowo,** *Perancangan Jaringan VSAT*. FTUI

[12] **Gerard Maral,** *Satellite Communication Systems*. John Wiley & Sons, USA. 2009