

Perancangan Dan Implementasi RF-Downlink Pada S-Band Frekuensi 2400 Mhz Untuk Stasiun Bumi Satelit Nano

Siti Mutmainah, Suwadi dan Gamantyo Hendrantoro

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim Sukolilo Surabaya 60111

e-mail: suwadi@ee.its.ac.id, gamantyo@ee.its.ac.id

Abstrak—Pada perancangan dan implementasi sistem penerima satelit nano pada stasiun bumi khususnya pada bagian RF-downlink ini dimana yang menjadi perhatian adalah LNA dan downconverter frequency. Sistem kerja dari RF Downlink adalah sinyal yang diterima dari satelit pada frekuensi 2400 Mhz yang daya sinyalnya sangat lemah akan dikuatkan oleh LNA, setelah itu akan di downconverter frequency menjadi intermediate frekuensi (IF-frequency). Dari hasil pengujian didapatkan parameter gain dari LNA dengan menggunakan IC TRF1115 adalah 18.11 dB dan noise figure sebesar 3.35 dB. Namun dalam desain ini mixer rangkaian dilengkapi IF amplifier agar daya tidak semakin kecil sebelum diteruskan ke blok selanjutnya. Untuk pengkonversian frekuensi dari RF ke IF digunakan prinsip superdeterodyne yang terdapat dalam IC TRF1112 dimana ada dua kali tahap konversi, dimana hasil pengujian downconverter-1 diperoleh nilai IF sebesar 958.6 MHz dan downconverter-2 atau akhir sebesar 96 MHz. Pada sistem ini diharapkan dengan LNA, daya sistem penerima tidak semakin kecil dan dapat bekerja pada band frekuensi yang telah ditetapkan.

Kata Kunci—RF-downlink, receiver, LNA, downconverter frequency.

I. PENDAHULUAN

SEBAGAI salah satu upaya menindaklanjuti pengembangan sistem stasiun bumi pada proyek satelit Inusat-1 (*Indonesia Inter University Satellite-1*) supaya tidak statis dalam pengembangannya [1]. Oleh karenanya diperlukan penelitian lanjutan dimana diharapkan memiliki kemampuan yang lebih dari Inusat-1 yang nantinya dapat mengirimkan citra ke stasiun bumi yang di-capture dari satelit. Salah satu bagian perangkat yang telah direalisasikan adalah *ground segment*. *Ground segment* ini merupakan perangkat *transceiver* yang berfungsi melakukan fungsi *store & forward* data dari stasiun bumi A ke stasiun bumi B yang berjauhan jarak namun masih dalam wilayah jangkauan satelit. Upaya pengembangan sistem komunikasi antara satelit dan stasiun bumi juga telah dilakukan, hanya saja perangkat *transceiver* yang dirancang hanya mampu mentransmisikan data dengan kapasitas kecil berupa pesan teks singkat (*short message*) dengan frekuensi kerja yang berada pada band frekuensi UHF dan VHF.

Untuk sistem komunikasi yang lebih kompleks, dilakukan pengembangan sistem untuk transmisi citra dari satelit ke stasiun bumi. Transmisi ini dititikberatkan pada pengiriman citra permukaan bumi dengan kapasitas data yang lebih besar dan beroperasi pada frekuensi S-Band yaitu 2400 MHz. Untuk mengirim dan menerima transmisi tersebut maka satelit dan

stasiun bumi penerima harus mampu mengolah transmisi tersebut menjadi satu kesatuan citra. Untuk itu perlu dilakukan penentuan spesifikasi dan rancangan umum dari pemancar dan penerima tersebut sehingga data dan pengolahannya dapat diterima secara satu kesatuan citra. Penentuan spesifikasi pemancar dan penerima ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan link budget, tipe transmisi, dan parameter transmisi lainnya.

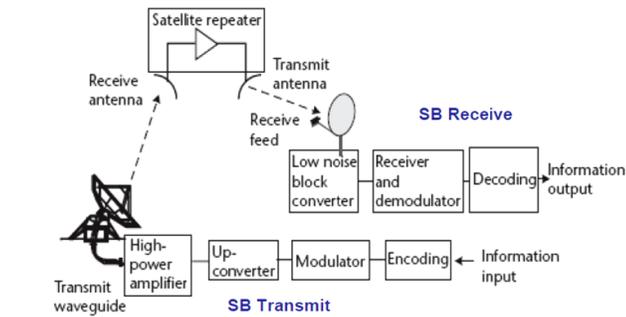
Sebagai ujung tombak sistem kerja komunikasi pada stasiun bumi adalah bagian RF-Downlink, dua komponen penting dalam sistem receiver pada sistem komunikasi *satellite* yaitu LNA dan downconverter. LNA adalah sebuah amplifier / penguat sinyal dari dari antena, dimana sinyal tersebut memiliki noise yang tinggi. Downconverter adalah proses konversi frekuensi RF (frekuensi yang tinggi) ke frekuensi IF (*intermediate frequency*).

Oleh karena itu, pada penelitian ini diangkat topik mengenai perancangan dan realisasi sistem receiver RF-downlink pada sistem komunikasi satelit nano yaitu LNA dan downconverter. Sedangkan untuk perancangan dan realisasi sistem pemancar RF-downlink dibahas pada makalah tersendiri [2]. Dimana pada makalah ini terdapat beberapa bagian untuk bagian selanjutnya, kedua pada makalah ini menjelaskan mengenai teori penunjang penelitian. Kemudian dalam bagian 3 dibahas *critical design system*, bagian 4 mengenai hasil pengujian modul. Dalam bagian 5 dan 6 membahas diskusi dan kesimpulan.

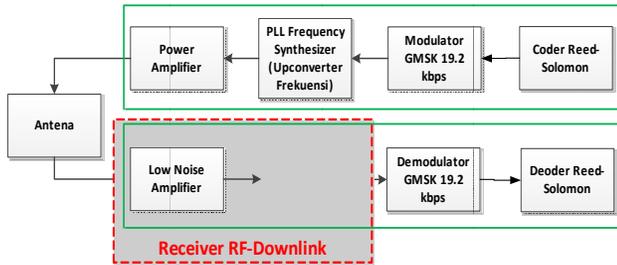
II. TEORI PENUNJANG

Sistem komunikasi satelit adalah sistem komunikasi radio dengan menggunakan satelit sebagai repeater (pengulang). Konfigurasi sistem komunikasi satelit terbagi atas dua bagian yaitu *ground segment* (ruas bumi) dan *space segment* (ruas angkasa) [3]. Stasiun bumi merupakan terminal yang dapat berfungsi untuk sistem komunikasi dua arah, baik sebagai pemancar maupun penerima. Secara umum, perangkat *ground station* pada stasiun bumi terdiri dari beberapa penyusun yaitu baseband processor, modem, HPA, LNA, up/downconverter, dan antena seperti pada Gambar 1. Gambar 2 merupakan ruang lingkup penelitian yang dilakukan.

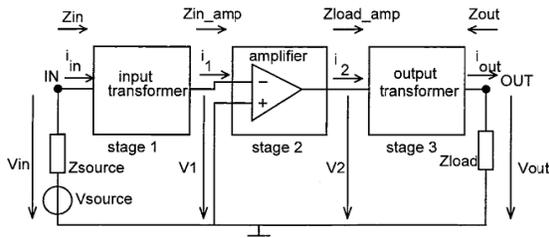
Ada dua tahap yang harus dikerjakan dalam penelitian ini adalah tahap LNA (*Low Noise Amplifier*) dan frekuensi downconverter menggunakan teknik dari PLL (*Phase Locked Loop*). Dimana untuk perealisasiannya keduanya menggunakan chip yang sudah terintegrasi dalam dua buah IC produk texas instrument (TRF1115 dan TRF1112).



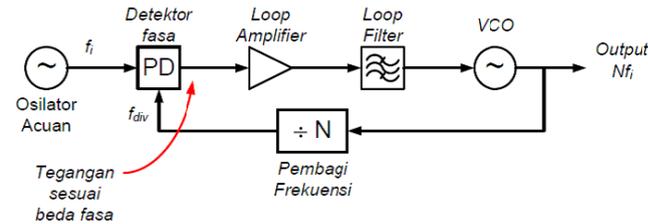
Gambar. 1. Ilustrasi perangkat ground segment



Gambar. 2. Blok diagram penelitian sistem ground station



Gambar. 3. Karakteristik LNA



Gambar. 4. Arsitektur PLL

Tabel 1.
Critical Design Sistem Receiver RF-Downlink

Parameter	Nilai
Gain Minimal LNA	28 dB
Frekuensi downlink	2400 MHz
NF maksimal LNA	8 dB
Bandwidth	100 MHz
Output Frekuensi IF-1	455 MHz
Output Frekuensi IF-2	70 MHz

A. Low Noise Amplifier(LNA)

LNA merupakan suatu bentuk dari penguat elektronika atau penguat yang digunakan dalam sistem telekomunikasi pada sisi penerimaan (receiver) untuk menguatkan sinyal yang sangat lemah yang diterima oleh suatu antenna. Fungsi utama LNA adalah untuk memperkuat sinyal yang sangat rendah tanpa menambahkan kebisingan, sehingga menjaga signal to noise (SNR) dari sistem pada tingkat daya yang sangat rendah.

Parameter utama untuk melihat kinerja dari LNA adalah gain, NF (*Noise Figure*). Gain dan NF harus dapat dicapai berdasarkan spesifikasi dengan konsumsi daya minimum[4]. Arsitektur LNA terdiri dari tiga step perancangan. Step pertama adalah dibutuhkan transformasi impedansi sumber ke sebuah impedansi yang *match* dengan impedansi input atau *optimal noise impedance*. Step kedua adalah sebuah *amplifier* dengan *noise* rendah, dalam perancangannya menggunakan sebuah transistor FET atau IC LNA. Tahap terakhir transformasi impedansi *output* ke sebuah impedansi yang *match* dengan impedansi beban.

B. Downconverter

Downconverter ini memiliki dua bagian utama yaitu *mixer* dan PLL. *Mixer* merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengalikan sinyal dari frekuensi yang berbeda dalam upaya mendapatkan frekuensi translasi [5]. Prinsip dasarnya adalah dua buah sinyal masuk ke suatu rangkaian *non linier* yang menghasilkan frekuensi-frekuensi lain selain frekuensi dua buah sinyal masuk dengan amplituda tertentu.

PLL (*Phase Lock Loop*) merupakan sistem tertutup yang membentuk *feedback* negatif yang digunakan untuk mengunci frekuensi dan fasa yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu *phase detector*, *loop filter* dan VCO (*voltage control oscillator*). *Phase detector* bertugas membandingkan phase sinyal input signal dari VCO dengan suatu sinyal referensi sebagai *output*-nya adalah perbedaan *phase*. Beda *phase* tersebut akan memberikan perbedaan tegangan dan selanjutnya akan difilter oleh *loop filter* dan di-*applied* ke VCO. Kemudian kontrol tegangan pada VCO mengubah frekuensi dan memperkecil perbedaan antara sinyal referensi dengan sinyal *feedback* dari VCO [6]. PLL mempekerjakan dua jenis osilator itu (kristal dan VCO) sedemikian rupa sehingga menghasilkan frekuensi output yang stabil dan sekaligus mudah diubah-ubah (variabel). Caranya adalah dengan membagi frekuensi VCO dan kemudian membandingkannya dengan frekuensi referensi yang berasal dari *oscillator crystal*.

III. CRITICAL DESIGN SYSTEM

Perancangan dan realisasi LNA ini menggunakan IC LNA yang sudah terintegrasi dengan *downconverter (mixer)* untuk mempermudah dalam implementasinya. IC LNA ini menggunakan jenis TRF-1115 dan TRF1112 untuk *downconverter frequency* dimana salah satu pertimbangannya karena sistem ini sangat mendekati untuk penerima sistem *superheterodyne*. Rangkaian dalam perancangan ini menggunakan IC LNA yaitu TRF1115 produk dari *texas instrument* yang dapat pula mengkonversi frekuensi menjadi lebih rendah dengan masukan IF pada kisaran 420 MHz ke 480 MHz. Dimana perangkat menyediakan keluaran diferensial yang melewati SAW filter sebelum terhubung ke kedua *chip down-converter (Note: Untuk kinerja terbaik, Texas Instruments TRF1112 harus digunakan untuk melakukan kedua down konversi dan memberikan input local oscillator untuk TRF1115)* [7].

TRF115 ini terdiri dari 20 pin. Pin 20 sebagai *input* sinyal yang terhubung ke antenna dan pin 1 sebagai *output* sinyal, sedangkan pin 7 dan 8 akan dihubungkan dengan PLL/*frequency synthesizer #2* pada IC TRF 1112. Tampak pada blok diagram IC pada

Gambar 3-5 bahwa selain LNA, IC ini dapat langsung dirangkai dengan *downconverter* yang menghasilkan IF *out* pertama dengan frekuensi sekitar 400-500 MHz.

Perancangan desain *board* PCB LNA untuk merealisasikan rangkaian dengan menggunakan *software Eagle Cadsoft versi 6.2.0*. Dalam melakukan penyusunan atau peletakan komponen harus melihat referensi karena apabila tidak melihat aspek tersebut akan menimbulkan osilasi antara komponen, hal inilah yang menjadi pertimbangan penting dalam merangkai komponen pada frekuensi tinggi.

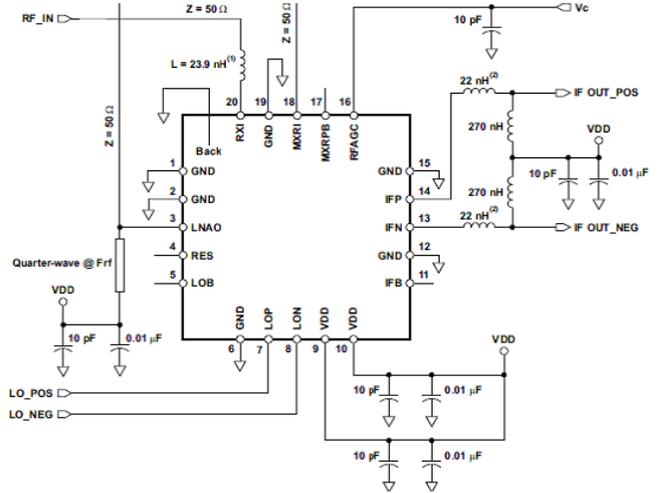
Dalam peralisiannya pada PCB, digunakan PCB Fr4 dengan *directivity* (ϵ_r) bernilai 4,4. Pada rangkaian frekuensi tinggi, bahan dasar dari PCB sangat mempengaruhi kinerja dari LNA tersebut. Selain bahan PCB hal lain yang mempengaruhi adalah penggunaan konektor sma untuk mempermudah koneksitas antara komponen dan perangkat lainnya. Seperti tampak pada desain *layout* terdapat sebuah *stripline* antara *output* LNA pada kaki 3 IC TRF1115 dengan V_{DD} , hal ini dimaksudkan untuk menjadikan saluran tersebut tetap *match* dengan impedansi 50 ohm. *Stripline* ini mempunyai panjang $\lambda/4$ dan lebar (w) dengan menggunakan *transmission line calculator*, dimana perhitungannya dengan memperhatikan parameter sebagai berikut :

- w dari *transmission line calculator*, dengan parameter :
 - $Z=50\ \Omega$
 - Frekuensi : 2400 MHz
 - bahan (fr-4) $\rightarrow \epsilon_r = 4.4, h=1.6, \text{ dielektrik loss tangen} = 0.02$
 - sehingga diperoleh $w = \pm 3\text{mm}$
- panjang $l = \lambda/4$ (cm)

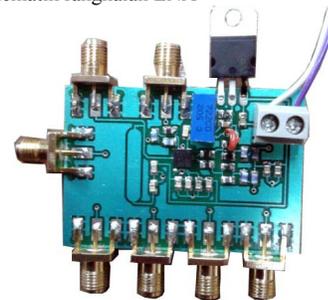
$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4x\sqrt{\epsilon_r}xf} = \frac{3x10^{10}}{4x\sqrt{4.4}x0.24x10^{10}} = 1.489$$

Dalam perrealisasian dalam bentuk hardware semua komponen IC maupun pendukungnya (kapasitor, induktor) menggunakan komponen SMD sehingga lebih sederhana dan meminimalisasi jalur yang short. Dikarenakan *filter bandpass* pada output LNA dan input mixer hanya bersifat *optional* maka dalam realisasi sementara tidak dilakukan penambahan filter karena bagian RF tidak terlalu membutuhkan selektivitas frekuensi. Dan ada baiknya apabila pengaplikasian filter ini dengan dilakukan perancangan tersendiri sesuai sistem yang akan diimplementasikan. Melakukan konversi analog-ke-digital dengan teknologi saat ini, frekuensi harus dalam orde 100 MHz. Setidaknya orde *magnitude* kurang dari frekuensi transmisi. Untuk Oleh karenanya dalam perancangan *downconverter* disini diperlukan untuk menggeser spektrum sinyal ke frekuensi yang lebih rendah (*intermediate frequency/ baseband*) yaitu sebesar 70 MHz yang terdiri dari dua rangkaian utama yaitu *mixer* dan PLL (*frequency synthesizer*) sebagai *local oscillator*.

Blok diagram ini dibagi menjadi dua diagram yaitu blok diagram PLL dan blok mixer yang sudah mencakup blok sistem *downconverter*. Dalam perancangan ini menggunakan dua IC yang sudah terintegrasi antara keduanya yang berfungsi bersama-sama untuk konversi frekuensi RF ke frekuensi IF dengan menurunkan dua kali. Perangkat terintegrasi dari *texas instrument* ini yaitu TRF 1115 dan 1112 terdiri dari mixer, IF *gain* blok, *Automatic Gain Control* (AGC), dan dua *Phase Loop Lock* (PLL) termasuk di dalamnya: VCO, rangkaian resonator, *varactor*, *divider*, dan detektor fasa.



Gambar. 5. Skematik rangkaian LNA



Gambar. 6. Realisasi LNA

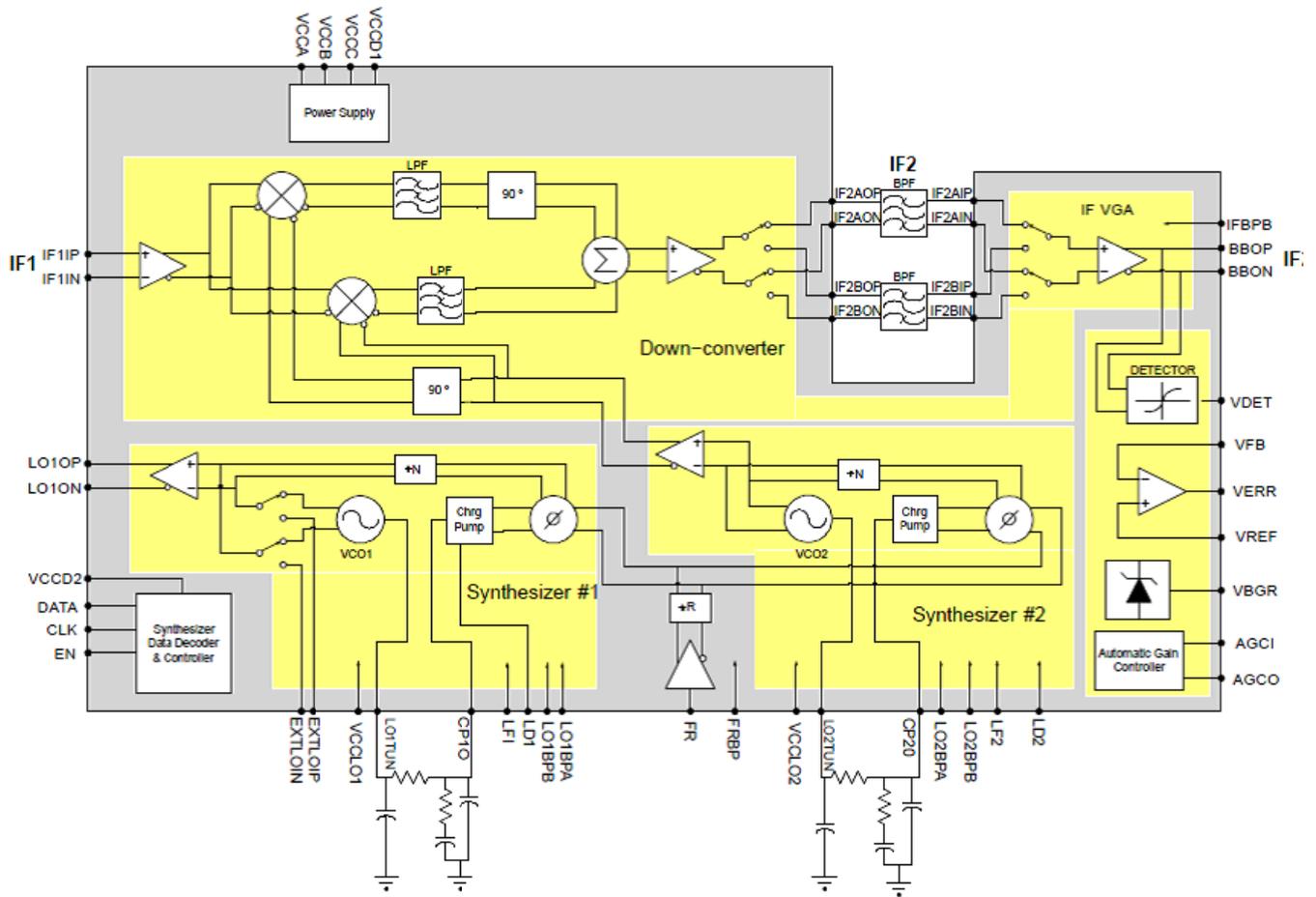
Dengan menggunakan IC yang telah terintegrasi ini menjadikan perancangan lebih sederhana dan diharapkan dapat memaksimalkan kinerja rangkaian sesuai parameter desain. Parameter desain tersebut dapat dilihat pada blok sistem terdapat 4 bagian utama yaitu:

1. IF1 yang merupakan *input* ke IC TRF1112 yang merupakan *output mixing* pada TRF1115.
2. LO1 yang merupakan *output* dari sistem blok *synthesizer #1* yang akan dihubungkan ke IC TRF1115 sehingga menjadi satu kesatuan *downconverter* yang lengkap.
3. IF2 yang merupakan *output final* dari kedua blok sistem *downconverter*.
4. V_{DD} pengatur tegangan *supply* untuk rangkaian, mempunyai tegangan maksimum ± 5.5 Volt.

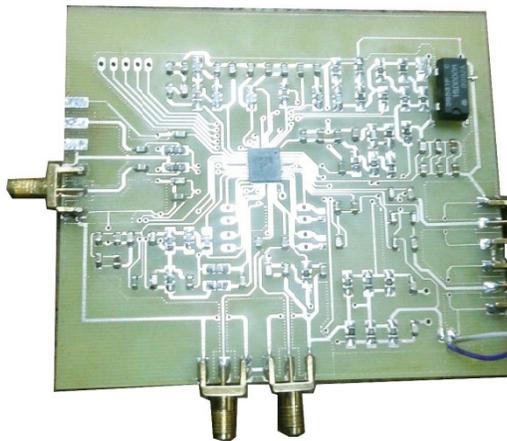
Gambar 7, merepresentasikan konsep PLL yang kemudian di-*mixing* agar didapat pergeseran frekuensi yang diinginkan. Dalam PLL pada umumnya penentuan besarnya kristal osilator sangat mempengaruhi frekuensi *output* yang keluar dari PLL tersebut. Dari *datasheet* IC disarankan untuk menggunakan frekuensi referensi sebesar 18 MHz) [5].

$$f_{IF} = f_{RF} \pm f_{LO} \quad \dots(1)$$

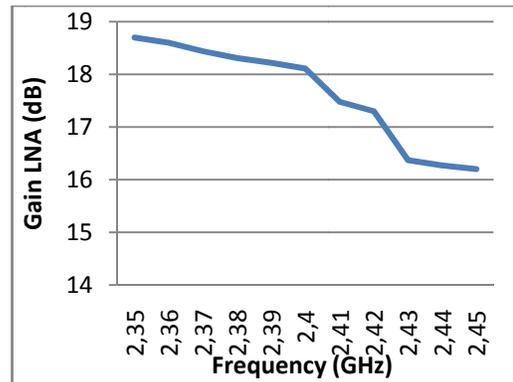
Phase Locked Loop didesain untuk *receiver* yang bekerja pada frekuensi *S-Band* dan UHF. Dua *synthesizer* yang digunakan memungkinkan perbandingan relatif frekuensi tinggi untuk stepnya. Pada PLL *S-band* dioperasikan pada frekuensi referensi 18 MHz dengan akumulator fase minimum frekuensi 1 MHz. PLL UHF beroperasi pada referensi 9 MHz dengan frekuensi minimal fase akumulator 0,5 MHz. PLL *S-band* memiliki step 1 MHz dan PLL UHF memiliki step 125 kHz, ketika menggunakan frekuensi referensi 18 MHz. Frekuensi referensi yang berbeda menghasilkan step yang berbeda.



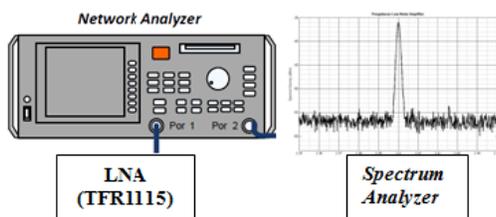
Gambar. 7. Blok diagram TRF1112



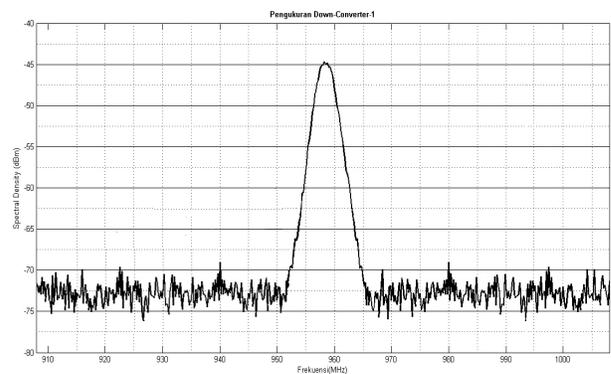
Gambar. 8. Realisasi downconverter



Gambar. 10. Grafik perubahan nilai Gain Vs frekuensi



Gambar. 9. Konsep pengujian LNA



Gambar. 11. Hasil Pengukuran Downconverter-1 (synthesizer S-Band)

Dalam perancangan ini ditambah *oscillator crystal* 4 kaki dengan tipe SG531P yang digunakan sebagai frekuensi referensi yang terhubung dengan kaki 7.

IV. PENGUJIAN MODUL DAN PEMBAHASAN

A. Low Noise Amplifier

Untuk menganalisa uji kinerja dari *Low Noise Amplifier* (LNA), maka dilakukan pengujian berdasarkan parameter desainnya yaitu gain dan noise figure. Pengujian dengan dilakukan menggunakan *network analyzer* sebagai pengganti fungsi *signal generator* dengan level input yang sangat lemah. Asumsikan sinyal tersebut merupakan sinyal yang ditangkap oleh antenna stasiun bumi. Karena LNA ini merupakan komponen aktif, maka dibutuhkan pula *power supply* untuk level tegangan LNA yang diatur sebesar 5 volt. agar gain tetap stabil dalam *range*-nya ditambahkan regulator LM317, sehingga tegangan VDD akan stabil pada 2 volt.

Pengujian LNA untuk melihat kemampuan kinerja alat diperoleh gain LNA seperti ditunjukkan pada Gambar 8 untuk melihat perubahan kestabilan gain berdasarkan frekuensi kerjanya.

Pada Gambar 10 menunjukkan terjadinya degradasi penurunan gain dengan semakin tingginya frekuensi kerja. Hal ini disebabkan karena karakteristik *lumped element* yang dipakai mengalami perubahan yang mempengaruhi kinerja alat. Nilai gain yang dihasilkan pada frekuensi 2400 Mhz adalah 18.11 dB dengan daya input -52 dBm dan daya output -33.89 dBm. Nilai dari *critical design* LNA gain minimal yang dibutuhkan adalah 28 dB untuk gain. Ada beberapa hal yang mempengaruhi ketidak sesuaian gain ini diantara karena power supply input yang tidak stabil karena pengaruh sistem yang tidak *matching* dan pengaruh pemasangan konektor pada rangkaian serta penyolderan yang kurang rapi sehingga menurunkan kemampuan gainnya.

Parameter lain yang diuji untuk memperhitungkan kinerja LNA adalah *noise figure*. Daya input sinyal dengan *level noise* merupakan parameter yang harus diketahui untuk mengetahui nilai dari noise figure. Untuk mengetahui *level noise* input dan output LNA menggunakan *spectrum analyzer* dengan melihat daya sinyal input dan output LNA dengan membandingkan dengan level noisenya. Daya input LNA terukur adalah -48.92 dBm dengan *level noise* -125 dBm. Daya output LNA terukur adalah -25,27 dBm dengan *level noise* -98 dBm.

$$NF = SNR_{In} - SNR_{Out} \rightarrow 76.08 - 72.73$$

$$NF = 3.35 \text{ dB}$$

Dalam parameter desain LNA, besarnya *noise figure* adalah maksimal 8 dB sedangkan pada perhitungan pengukuran LNA didapatkan nilai *noise figure* adalah 3.35 dB.

B. Downconverter

Dalam hal pengkonversian frekuensi dari frekuensi tinggi RF ke rendah atau IF dilakukan dengan dua kali pengkonversian sehingga dalam uji coba dilakukan dua kali pengujian penurunan. Parameter yang diukur dalam pengujian ini adalah kestabilan frekuensi dan daya sinyal. Untuk menguji kesesuaian frekuensi dengan *critical design* yang ditetapkan saat perancangan. Dimana pada tahap *downconverter-1*

diharapkan dari hasil pengkonversian frekuensi RF 2,4 GHz menjadi IF 455 MHz. Untuk proses konversi frekuensi diperlukan suatu *local oscillator* sebagai frekuensi pengali dan penggeser frekuensi dimana *local oscillator* ini digunakan PLL pada IC TRF1112. Mixer pada TRF1115 dihubungkan dengan konektor SMA dengan LO1 pada TRF1112. Karena keduanya merupakan komponen aktif maka dibutuhkan *power supply* untuk level tegangan yang diatur sebesar 5 volt. Dengan prosedur konsep pengujian sama seperti Gambar 9 maka diperoleh hasil pengujian dengan plot Gambar 11.

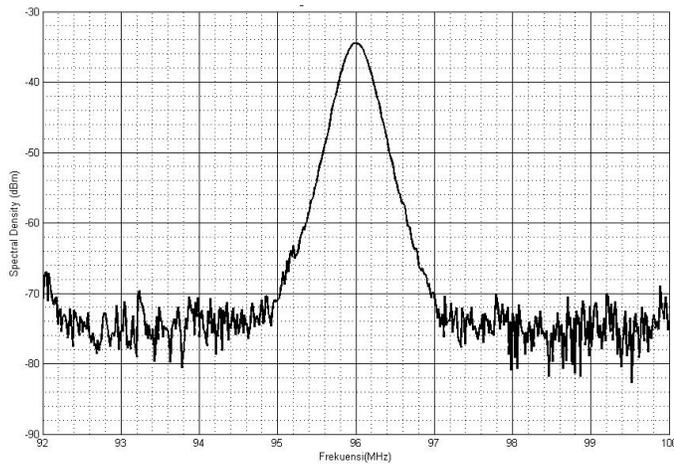
Pengujian untuk mendapatkan frekuensi output IF yang dihasilkan stabil dan tidak ada perubahan frekuensi secara signifikan dengan menggunakan prinsip PLL. Kesulitan dalam mendesain *downconverter* dengan prinsip pengalihan dengan mixer adalah bagaimana menghilangkan frekuensi bayangan. Proses penyesuaian frekuensi IF dengan IC TRF1112 ini dilakukan dilakukan dengan mengubah-ubah tegangan tuning eksternal pada VCO dan penggantian nilai komponen pendukungnya yaitu kapasitor yang akan mempengaruhi frekuensi VCO yang dicapai. Dimana ketika tuning ini dilakukan maka yang akan pula mempengaruhi nilai output VCO adalah komponen pendukung eksternal pada pin kaki pin 42 (LO1TUN) yang mana akan ikut menyesuaikan VCO pada *synthesizer port* input. Pengaturan tegangan input dilakukan untuk >2 volt, mulai dari 3 volt sampai 5 volt. Namun yang terjadi hanya perubahan harmonisa frekuensi karena pengaruh komponen pendukung yang terdiri dari komponen resistor dan kapasitor ini yang mana pada frekuensi tinggi keduanya memungkinkan adanya *lossy* komponen, untuk output frekuensi IF sehingga mengakibatkan ketidaksesuaian IF output *downconverter* dari *critical design* perancangan yang seharusnya 455 MHz menjadi 958,6 MHz. Selain itu hal yang mempengaruhi nilai frekuensi VCO dimana menjadi faktor utama perubahan output frekuensi IF adalah dikarenakan nilai tegangan *power supply* yang kurang stabil pada saat pengukuran.

Walaupun *downconverter* ini masih belum mencapai persyaratan *critical design* awal namun kelebihanannya dalam sistem ini telah tersedia sebuah penguat IF (*IF amplifier*). Sehingga daya sistem masih relatif stabil pada -27,86 dBm untuk diproses ke tahap selanjutnya.

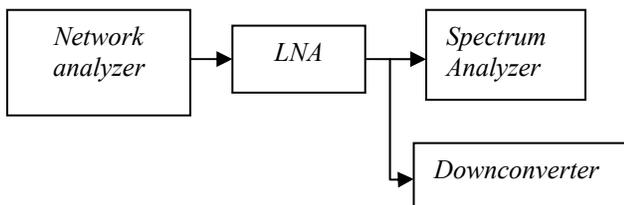
Untuk tahap *downconverter-2* diharapkan dari hasil pengkonversian frekuensi IF 958.6 Hz menjadi 70 MHz. Untuk proses konversi frekuensi diperlukan suatu mixer dan *local oscillator* sebagai frekuensi pengali dan penggeser frekuensi dimana digunakan PLL pada IC TRF1112.

Dengan struktur sistem seperti yang diterapkan pada *downconverter-1* (*synthesizer* S-Band). Pengujian untuk mendapatkan frekuensi output IF yang dihasilkan stabil dan tidak ada perubahan frekuensi secara signifikan dengan menggunakan prinsip PLL.

Pencapaian frekuensi rendah dengan *downconverter* tahap kedua ini juga dilakukan dengan tuning tegangan VCO. Sehingga diperoleh hasil ukur seperti pada Gambar 12. Dimana frekuensi bergeser pada 96 MHz. Salah satu yang menyebabkannya adalah tanpa pemasangan filter yang sesuai dengan sistem dan karakteristik *lumped-element* yang pada frekuensi tinggi yang mengalami *lossy* komponen.



Gambar. 12. Sinyal hasil pengukuran *downconverter-2*



Gambar. 13. Pengujian sistem *receiver RF-downlink*

C. Receiver RF-Downlink

Konsep dari pengujian sistem *receiver* dapat dilihat pada Gambar 13. *Network Analyzer* disini adalah sumber informasi yang diterima oleh sistem penerima (diatur power output yang paling kecil). *Network Analyzer* langsung di inputkan ke sistem penerima, dengan cara port untuk antenna/RF input terhubung ke port 1 pada *Network Analyzer*. Dari hasil uji masing-masing perangkat diatas diperoleh daya output -72.229 dBm, dimana hasilnya diperoleh dari persamaan perangkat pradeteksi kaskade dimana $P_{out} = P_{in} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot G_3$, dimana P_{in} = rapat daya satelit ke stasiun bumi sebesar -105 dBm/km x 700 km = -76.549 dBm. sehingga dapat dikatakan bahwa sensitifitas penerima berkisar pada -72.299 dBm.

Dalam link budget dari satelit nano tersebut, jika daya transmit dari satelit adalah 1 watt (30 dBm) dan gain antenna downlink adalah 10 dB, maka sesuai dengan persamaan Friss [3]:

$$L_{fs} = 32,44 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

Asumsikan jarak antara stasiun bumi adalah 700 km dengan keadaan antenna stasiun bumi *line of side*, maka didapatkan total loss antara stasiun bumi dan satelit :

$$L_{fs} = 32.44 + 20 \log(435.9) + 20 \log(700)$$

$$L_{fs} = 32.44 + 67.6042 + 56.9019$$

$$L_{fs} = 156.946 \text{ dB}$$

Maka daya diterima diantena adalah :

$$Pr = Pt - L + Gt + G_{LNA}$$

$$Pr = 30 \text{ dBm} - 156.946 \text{ dB} + 10 + 18 \rightarrow -98.946 \text{ dBm}$$

Nilai tersebut masih dalam jangkauan sensitifitas penerima yaitu -98.946 dBm. Dengan kata lain, *receiver ground station* masih bisa bekerja dengan baik pada ketinggian 700 km. Ketika sistem penerima tidak menggunakan LNA, maka daya terima (P_r) menjadi -116.946 dBm diluar jangkauan sensitifitas penerima.

LNA (*low noise amplifier*) dirancang menggunakan IC TRF115. Hasil pengujian LNA ini menghasilkan gain LNA pada frekuensi downlink 2400 Mhz sebesar 18.11 dB noise figure yang lebih kecil yaitu 3.35 dB. Rangkaian *local oscillator* yang dirancang menggunakan prinsip PLL dengan tujuan untuk mendapatkan frekuensi VCO yang lebih stabil.. Rangkaian mixer dan PLL sudah terintegrasi dalam satu chip pada TRF1112. Dimana untuk mendapatkan frekuensi yang mendekati dilakukan tuning *lumped element* yang digunakan. Dimana pengkonversian frekuensi dengan downconverter ini dilakukan dalam dua tahap dengan synthesizer S-Band dan UHF. Hasil dari pengujian rangkaian downconverter ini didapatkan 958.6 MHz untuk downconverter pertama dan final sebesar 96 MHz.

V. KESIMPULAN

Sistem *receiver RF-downlink* yang dirancang ini masih memiliki performansi yang cukup baik pada ketinggian 700 km. Dimana dengan sistem ini ditambahkan LNA menjadikan daya output penerima sebesar -98.946 dBm, sedang sensitivitas penerima yang terukur yaitu -72.229 dBm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim penelitian strategis nasional 2012 Kemdikbud “Pengembangan stasiun bumi untuk komunikasi data, citra dan video dengan satelit LEO VHF/UHF/S-band menuju kemandirian teknologi satelit” yang telah memberikan dukungan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IiNUSAT. *Preliminary Design Review*. 2010.
- [2] Ada, Wiyah. R., “Perancangan Dan Pembuatan Tahap RF-Downlink 2.4 Ghz Untuk Pengiriman Citra Pada Sistem Komunikasi Satelit Nano”, Institut Teknologi 10 November, 2013.
- [3] Roddy, Dennis., “Satellite Communication 3rd Edition”, McGraw-Hill, USA, 2001.
- [4] Pozar David. *Microwave Engineering*. USA: John Wiley&Sons, Inc; 2000.
- [5] Ludwig Reinhold and Pavel Bretchko.2000.*RF Circuit Design Theory and Applications International Edition*. United of America : Pearson Education.
- [6] Silver. PLL Theory Tutorial. www.rfic.co.uk. 2000.
- [7] Datasheet IC TRF1115-1112. www.ti.com.