

Perancangan dan Pembuatan Tahap RF Downlink 2.4 GHz Untuk Pengiriman Citra Pada Sistem Komunikasi Satelit Nano

Rochmawati Ada Wiyah, Suwadi, Gamantyo Hendranto

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

Abstrak—RF Downlink merupakan modul penyusun sistem pemancar satelit nano untuk transmisi citra yang terdiri dari dua bagian utama yaitu *upconverter* frekuensi dan *power amplifier*. *Upconverter* frekuensi nantinya akan mencampur sinyal informasi yang telah dimodulasi dengan *local oscillator* ke dalam frekuensi yang lebih tinggi yaitu sinyal radio frekuensi 2400 MHz dengan daya *output* yang masih rendah, yang selanjutnya daya tersebut dikuatkan oleh *power amplifier* dan kemudian dipancarkan melalui antena ke udara bebas yang berupa gelombang elektromagnetik. Perancangan *power amplifier* menggunakan dua desain yang berbeda dari sisi komponen yang digunakan. Desain 1 menggunakan satu jenis IC yang digunakan karena pada IC tersebut sudah terdapat tiga jenis penguatan dan desain 2 menggunakan dua jenis IC yang digunakan yaitu IC pertama sebagai *driver* dan IC yang kedua sebagai penguat akhir.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya *output* yang dihasilkan oleh *power amplifier* desain 1 sebesar -18.56 dBm dengan gain 35 dB, sedangkan untuk desain 2 daya *output* yang dihasilkan sebesar -32 dBm dengan gain 21 dB. Untuk *upconverter* dilakukan dua kali pergeseran frekuensi, dimana hasil pengujian diperoleh frekuensi IF kedua sebesar 210 MHz dan frekuensi RF hanya mampu menghasilkan 2155 MHz.

Kata Kunci—RF Downlink, *power amplifier*, frekuensi *upconverter*, PLL.

I. PENDAHULUAN

Dengan kemajuan teknologi satelit saat ini berdampak terhadap mahasiswa-mahasiswa Indonesia yang ikut terpacu untuk turut serta dalam pengembangan satelit mahasiswa pertama di Indonesia yang bernama (*Indonesia Inter-University Satellite*) IINUSAT-01^[1]. Dari IINUSAT-01 ini bisa dikembangkan lagi ke tahap IINUSAT-02. Salah satu contoh penerapannya yaitu transmisi citra atau *image* dari satelit ke stasiun bumi. Diharapkan nantinya satelit ini dapat digunakan sebagai sarana belajar dalam *space engineering* yang terintegrasi dalam jaringan kerjasama perguruan tinggi, serta dapat dimanfaatkan untuk kepentingan eksperimental komunikasi.

Untuk transmisi ini dititikberatkan pada pengiriman citra permukaan bumi dengan kapasitas data yang lebih besar yang dapat beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz. Untuk mengirim dan menerima transmisi tersebut maka satelit dan stasiun bumi penerima harus mampu mengolah transmisi tersebut menjadi satu kesatuan citra yang utuh. Untuk itu perlu dilakukan penentuan spesifikasi dan rancangan umum dari pemancar dan

penerima tersebut sehingga citra yang dikirim dari satelit dapat diterima dengan baik oleh stasiun bumi. Penentuan spesifikasi pemancar dan penerima ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan *link budget*, tipe transmisi, dan parameter transmisi lainnya. Sistem komunikasi untuk pengiriman citra tersebut bersifat *simplex* dimana informasi berjalan hanya pada satu arah saja yaitu pada arah *downlink* dari *payload* satelit ke stasiun bumi. Peningkatan kapasitas data memungkinkan untuk merealisasikan kembali suatu perangkat baru yang nantinya mampu mengakomodasi besarnya data yang akan ditransmisikan dan mampu beroperasi pada frekuensi kerja yang diinginkan.

Untuk transmisi citra ini, pada satelit terdiri dari berbagai macam modul penyusunnya, modul *baseband* dan modul RF Downlink. Untuk menerima citra tersebut di stasiun bumi juga terdapat berbagai macam modul, salah satunya juga modul RF Downlink, RF Downlink untuk stasiun bumi penerima dijelaskan pada makalah tersendiri^[2]. RF Downlink ini bekerja di frekuensi 2.4 GHz. RF Downlink untuk pemancar satelit terbagi menjadi 2 tahap yaitu *upconverter* frekuensi dan *power amplifier*, *upconverter* ini nantinya akan mencampur sinyal informasi yang telah di modulasi dengan *local oscillator* ke dalam frekuensi radio 2.4 GHz kemudian dayanya dikuatkan oleh *power amplifier* yang merupakan penguat akhir. Kinerja *power amplifier* sangat berpengaruh terhadap RF Downlink karena apabila *power amplifier* dalam keadaan rusak atau tidak terpasang, maka akan menyebabkan terganggunya sistem pemancar.

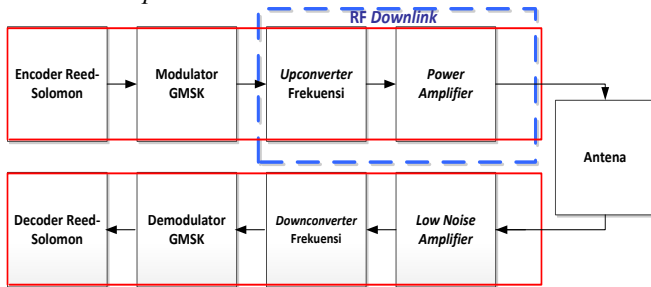
Sistematika penulisan makalah ini terdiri dari beberapa subbab yang pertama pendahuluan yang menguraikan hal-hal yang melatarbelakangi judul makalah. Subbab II tentang teori penunjang makalah. Subbab III tentang perancangan RF Downlink. Subbab IV tentang pengujian RF Downlink, dan yang terakhir tentang diskusi dan kesimpulan.

II. TEORI PENUNJANG

Satelit merupakan benda di ruang angkasa yang bergerak mengelilingi bumi menurut orbit tertentu. Satelit berfungsi sebagai *repeater* aktif dimana pada satelit terjadi proses penguatan daya sinyal dari stasiun bumi dan translasi frekuensi. Jalur pada setiap kanal dari antena penerima ke antena pemancar didalam satelit disebut transponder satelit. Selain untuk menguatkan sinyal, transponder juga berfungsi sebagai isolasi terhadap kanal radio frekuensi (RF) lainnya.

Konfigurasi sistem komunikasi satelit terbagi atas dua bagian yaitu ruas bumi dan ruas angkasa. Ruas bumi terdiri dari beberapa stasiun bumi yang berfungsi sebagai stasiun bumi pengirim dan penerima, sedangkan ruas angkasa berupa satelit yang menerima sinyal yang dipancarkan dari stasiun bumi pengirim kemudian memperkuat sinyal tersebut dan mengirimkan kembali ke stasiun bumi penerima.

Pada sistem komunikasi satelit terdapat dua lintasan utama, yaitu *uplink* dan *downlink*. *Uplink* merupakan lintasan dari stasiun bumi ke satelit dan menggunakan konfigurasi *multipoint-to-point*, sedangkan *downlink* merupakan lintasan dari satelit ke stasiun bumi dan menggunakan konfigurasi *point-to-multipoint*.



Gambar 1. Blok diagram sistem komunikasi satelit nano pada lintasan *downlink* 2,4 GHz

A. Power Amplifier

Penguat daya diklasifikasikan berdasarkan kelas operasinya. Masing-masing kelas operasi mempunyai sifat yang berbeda satu sama lain. Penggunaan dari masing-masing kelas disesuaikan dengan kebutuhan. Kelas operasi menentukan linearitas dan efisiensi dari penguat daya. Linearitas berhubungan dengan besar distorsi yang terjadi pada kaki transistor atau IC, sedangkan efisiensi menentukan besar catu daya yang dibutuhkan untuk memperoleh keluaran daya tertentu.

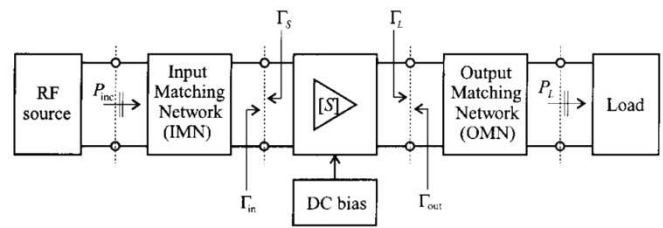
Parameter utama untuk melihat kinerja dari PA adalah daya *output* dan *gain*. Daya *output* dan *gain* harus dapat dicapai berdasarkan spesifikasi datasheet.

$$G_{dB} = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

dimana :

- G (gain) = perbandingan daya *output* dengan daya *input* (dB)
- P_{out} = daya *output amplifier* (watt)
- P_{in} = daya *input amplifier* (watt)

Arsitektur *power amplifier* terdiri dari tiga langkah perancangan. Tahap pertama dibutuhkan rangkaian *matching* antara impedansi sumber dengan impedansi input. Tahap kedua adalah sebuah *amplifier* dengan daya dan gain yang sesuai dengan kebutuhan, dalam perancangannya menggunakan sebuah transistor atau IC. Tahap terakhir juga dibutuhkan rangkaian yang *match* antara impedansi output dengan impedansi beban.



Gambar 2. Karakteristik *power amplifier*

B. Upconverter Frekuensi

Upconverter frekuensi pada perancangan ini memiliki dua bagian utama yaitu mixer dan PLL.

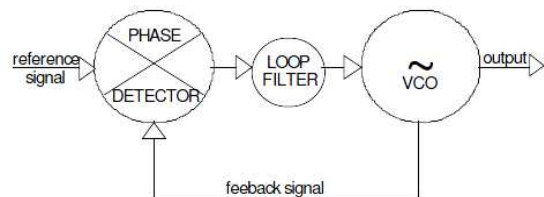
▪ **Mixer**

Perancangan *mixer* ini bertujuan untuk menaikkan frekuensi IF menjadi frekuensi RF. Parameter untuk desain *mixer* adalah *mixer* harus mempunyai selektifitas yang tinggi dengan kata lain sinyal RF yang dihasilkan mempunyai frekuensi yang tetap. *Mixer* yang dirancang ini adalah jenis *mixer* frekuensi *upconversion* yang ada pada sistem pemancar. *Input* dari *mixer* adalah dua buah sinyal yaitu sinyal IF dan sinyal LO dengan satu *output* yaitu sinyal RF.

▪ **PLL**

Pada prinsipnya *phase lock loop* (PLL) adalah suatu *feedback* control rangkaian yang terdiri atas *phase detector*, *loop filter* dan *voltage controlled oscillator* (VCO). Peran utama PLL dipegang oleh *phase detector* yang bertugas membandingkan *phase* input sinyal dari VCO dengan suatu sinyal referensi dan sebagai *outputnya* adalah beda *phase*.

Perbedaan *phase* inilah yang akan memberikan perbedaan *voltage* yang selanjutnya difilter oleh *loop filter* dan dikembalikan ke VCO. Kemudian *voltage* pada VCO mengubah frekuensi kearah memperkecil perbedaan antara sinyal referensi dengan sinyal *feedback* dari VCO. Bila *loop* menjadi terkunci (*locked*), maka *control voltage* berada pada posisi dimana frekuensi rata-rata sinyal *feedback* tepat sama dengan frekuensi referensi. Keberhasilan desain suatu PLL sebagian besar ditentukan oleh desain *loop filter* yang baik. Hal ini disebabkan karena pada saat perbedaan *phase*, *phase detector* akan mengeluarkan perbedaan *voltage* yang berubah-ubah naik turun. *Loop filter* harus mampu menahan goyangan *voltage* tersebut sehingga perubahan *voltage* yang masuk ke VCO menjadi mulus.



Gambar 3. Diagram blok dasar PLL

III. PERANCANGAN RF DOWNLINK

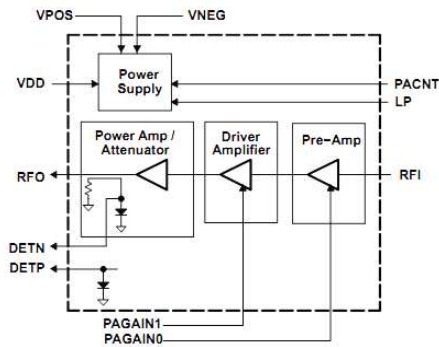
Perancangan suatu pemancar tidak hanya terdiri dari blok PA, tetapi juga terdiri dari berbagai blok-blok lainnya yang

meliputi *oscillator, mixer, amplifier, filter, matching network*, dan VCO. Namun dari berbagai blok tersebut sebenarnya hanya tersusun dari 2 bagian utama yaitu PLL dan PA. Penempatan dan pengaturan dari susunan bangunan blok-blok ini dikenal dengan arsitektur suatu pemancar.

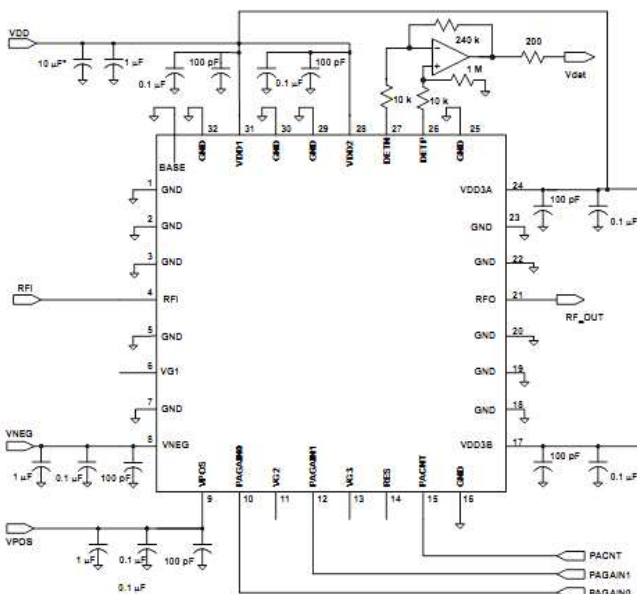
A. Power Amplifier

Perancangan PA dilakukan dalam 2 desain yang berbeda. Hal ini dimaksudkan untuk melihat performansi dan kinerja PA manakah yang layak digunakan sebagai pemancar pada *payload* satelit serta kehandalan manakah yang lebih baik.

Perancangan PA (desain 1) ini terdiri dari tiga kali penguatan, yaitu rangkaian penguat yang terdiri dari *buffer amplifier, driver amplifier* dan *final amplifier* yang dikemas dalam satu blok IC TRF1123 (produk Texas Instrument). Pada IC ini di dalamnya terdapat rangkaian *op-amp* untuk penguat akhir dengan nilai-nilai yang telah diberikan dalam datasheet. Spesifikasi yang terdapat pada IC TRF1123 antara lain daya output yang dihasilkan mencapai 1.5 watt dan gain yang dihasilkan berkisar 26-36 dB.



Gambar 4. Diagram blok *power amplifier*

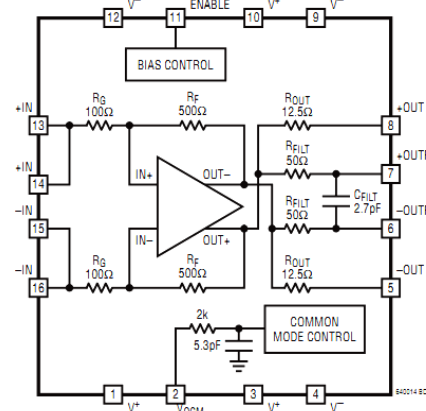


Gambar 5. Schematic *power amplifier*

Perancangan PA (desain 2) ini terdiri dari 2 blok rangkaian yang terpisah satu sama lain, dimana memiliki perbedaan fungsi kerja tersendiri. Blok pertama berupa rangkaian penguat yang terdiri dari *driver amplifier* sedangkan blok terakhir disebut *final amplifier*.

■ **Driver Amplifier**

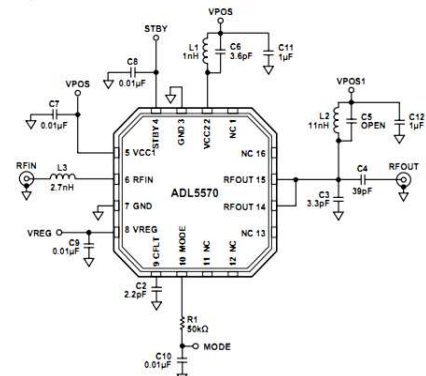
Rangkaian *driver amplifier* ini menggunakan komponen *integrated circuit* LTC6400-14. Rangkaian ini dikatakan *driver* karena rangkaian ini sebagai kendali dari penguat. Jadi nantinya pemilihan rangkaian ini akan menentukan pemilihan komponen penguat pada rangkaian *final*.



Gambar 6 Blok Diagram *driver amplifier*

■ **Final amplifier**

Rangkaian *final amplifier* ini menggunakan komponen *integrated circuit* ADL5570. Rangkaian ini disebut *final amplifier* karena rangkaian ini berfungsi sebagai penyedia daya *output amplifier* secara keseluruhan. Rangkaian ini didesain untuk memperoleh penguatan daya sinyal yang sangat tinggi.



Gambar 7 Schematic *final amplifier*

Pin RF_{IN} adalah port untuk sinyal *input* RF untuk *final amplifier*. Induktor ($L3$) 2.7 nH adalah untuk impedansi *input* yang *match* (50Ω). Sedangkan untuk RF *output interface* adalah pada pin RF *output parallel port* memiliki kapasitansi *shunt*, $C3$ (3.3 pF), dan induktansi 11 nH untuk mengoptimalkan daya *output* dan linieritas. Impedansi output 50Ω setelah kapasitor 3.3 pF.

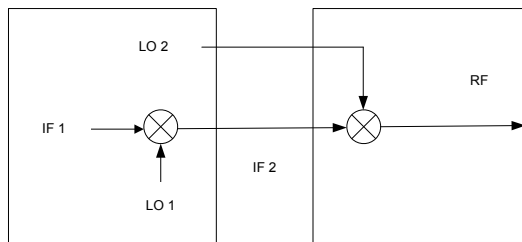
B. Upconverter

Perancangan dan realisasi *upconverter* 1 dan *upconverter* 2 ini menggunakan IC TRF1121 dengan TRF1122 dan TRF1121 dengan MAX2660, dimana salah satu pertimbangannya karena sistem ini sangat mendekati untuk pemancar sistem *superheterodyne*.

Tabel 1. Critical desain sistem pemancar RF Downlink

Parameter	Nilai
frekuensi <i>downlink</i>	2400 MHz
frekuensi IF-1	70 MHz
frekuensi IF-2	240/300 MHz

Untuk rangkaian *upconverter* ini melakukan dua kali pergeseran frekuensi yang pertama dari frekuensi IF 70 MHz dan yang kedua frekuensi IF nya 240/300 MHz. IC TRF1121 ini adalah sebuah *upconverter* VHF-UHF yang terintegrasi dengan UHF LO dan S-band LO untuk aplikasi radio dengan range frekuensi 2100 MHz-2700 MHz. Jadi IC ini akan melakukan *upconversion* yang pertama dan disamping itu menghasilkan S-band LO untuk proses *upconversion* yang kedua, yang tentu saja sebagai *input* untuk TRF1122 dan MAX2660.



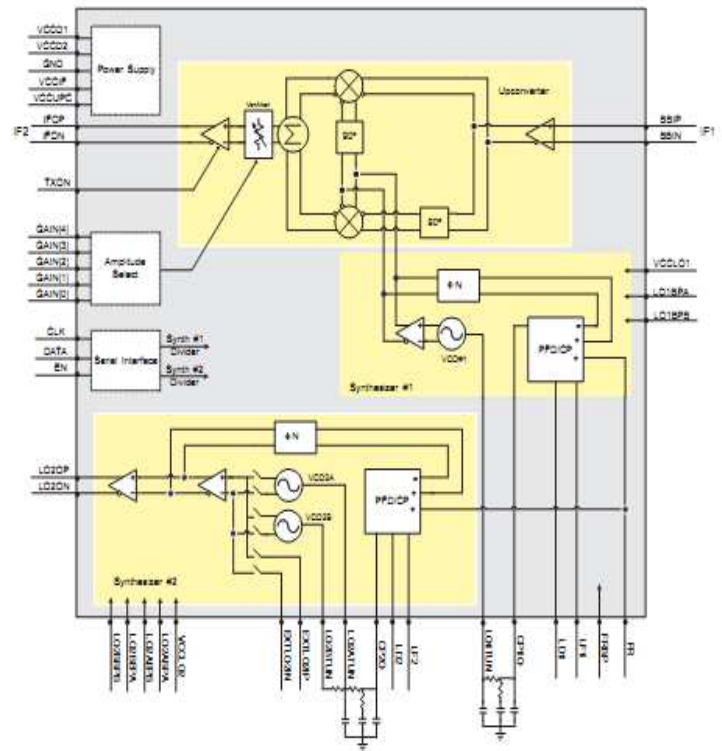
Gambar 8. Diagram blok *upconverter*

Rumus dasar untuk mencari frekuensi RF :

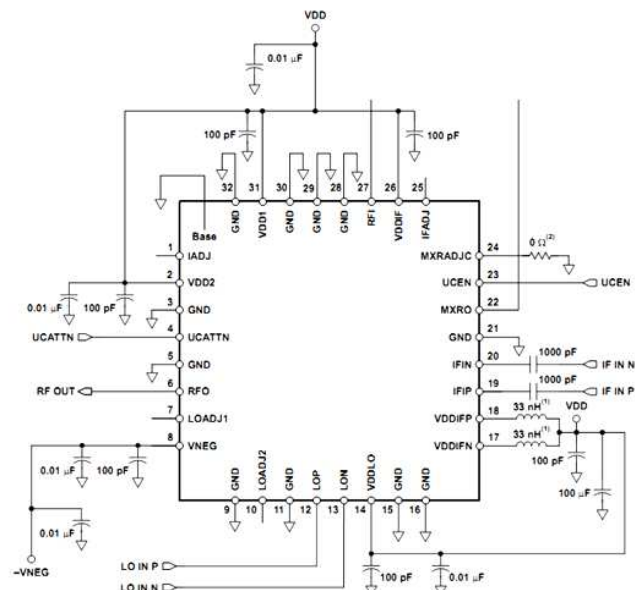
$$F_{RF} = F_{LO} \pm F_{IF} \quad (2)$$

Dengan menggunakan IC TRF1121 yang telah terintegrasi dengan S-band LO ini menjadikan perancangan lebih sederhana dan diharapkan dapat memaksimalkan kinerja rangkaian sesuai parameter desain. Parameter desain tersebut dapat dilihat pada blok sistem yang terdiri dari pin *input* IF1 yang merupakan *output* dari *modulator* GMSK dengan nilai 70 MHz. Pin *output* IF2 yang merupakan *input* ke IC TRF1122 maupun MAX 2660 yang merupakan *output mixing* pada TRF1121. Pin *output* LO2 yang merupakan *output* dari sistem blok PLL yang akan dihubungkan ke *input* IC TRF1122 maupun MAX2660 sehingga diperoleh *output* RF.

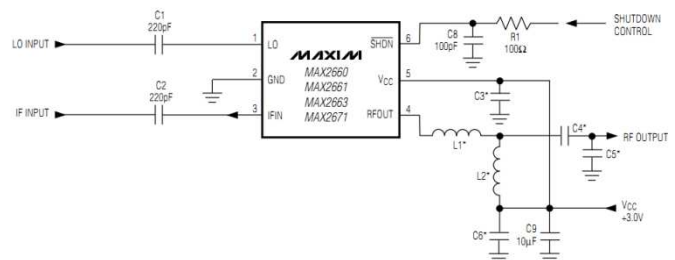
Gambar 9 adalah konsep PLL yang kemudian di-*mixing* agar didapat pergeseran frekuensi yang diinginkan. Pada umumnya dalam PLL besarnya frekuensi referensi sangat mempengaruhi frekuensi *output* yang keluar dari PLL tersebut. Dari *datasheet* IC TRF1121 disarankan untuk menggunakan frekuensi referensi sebesar 18 MHz yaitu *crystal oscillator* yang mempunyai 4 pin yang digunakan sebagai frekuensi referensi yang terhubung dengan pin FR.



Gambar 9. Schematic *upconverter* 1 (TR1121)



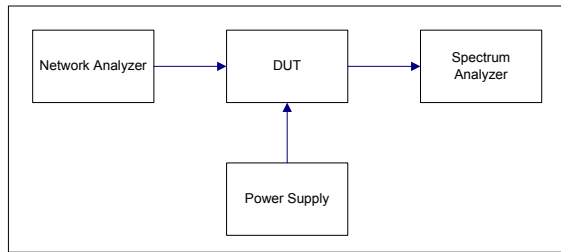
Gambar 10. Schematic *upconverter* 2 (TR1122)



Gambar 11. Schematic *upconverter* 2 (MAX2660)

IV. PENGUJIAN RF DOWNLINK

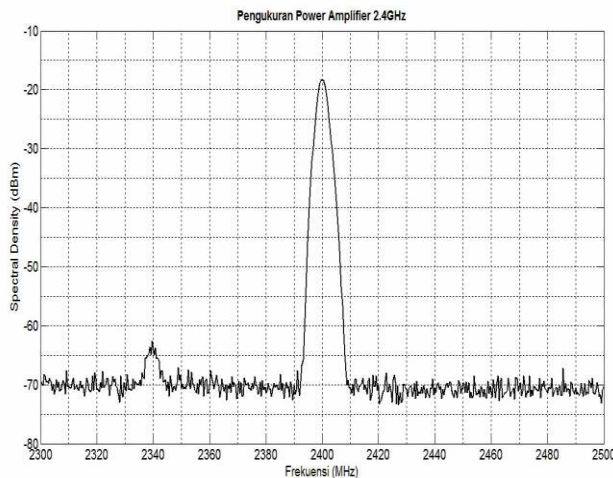
Pengujian rangkaian ini terbagi menjadi 3 tahapan pengujian yaitu pengujian *power amplifier*, pengujian *upconverter* frekuensi dan pengujian *upconverter* dan *power amplifier*.



Gambar 12. Diagram blok pengukuran modul

A. Pengujian Power Amplifier

Pengujian *power amplifier* dilakukan terhadap dua desain rangkaian yang pertama pengujian *power amplifier* desain 1 dan yang kedua meliputi pengujian *driver amplifier* dan pengujian *final amplifier* desain 2. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa besar daya *output* yang dihasilkan dan mengalami berapa kali penguatan.



Gambar 13. Sinyal hasil pengukuran PA desain 1

Pada Gambar 13 menunjukkan nilai daya *output* yang dihasilkan oleh *power amplifier* pada *spectrum analyzer* sebesar -18.56 dBm (0.0139 mW) ketika diberi daya *input* pada *network analyzer* -54 dBm (0.00000398 mW). Sesuai dengan persamaan (1) maka :

$$Gain = 10 \log \frac{0.0139}{0.00000398}$$

$$Gain = 35 \text{ dB}$$

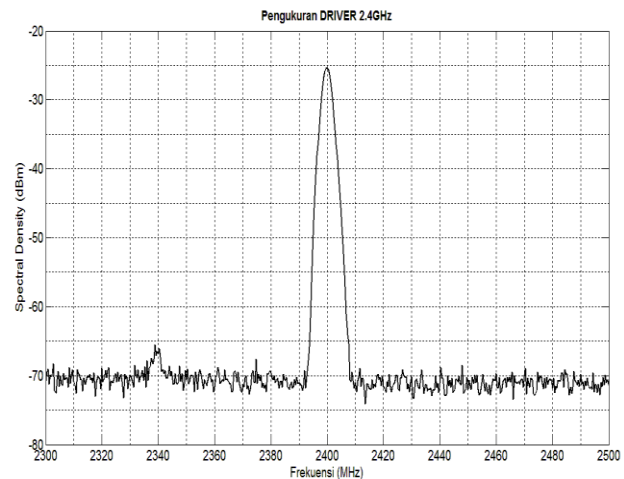
Dari *gain* yang diperoleh maka *power amplifier* ini memenuhi *critical design system* yang ditentukan, sehingga *power amplifier* ini dapat bekerja secara optimal.

Pada tabel 2 terlihat bahwa dengan berbagai *range* frekuensi yang diubah-ubah dan *reference level input* yang tetap maka daya *output* juga berubah tetapi daya *output* optimal yang dihasilkan pada frekuensi 2400 MHz sebesar -18.56 dBm.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Pout (dBm)

Frekuensi (MHz)	Daya Input (dBm)	Daya Output (dBm)
2350	-54	-22.78
2360	-54	-22.32
2370	-54	-21.49
2380	-54	-21.37
2390	-54	-20.27
2400	-54	-18.56
2410	-54	-20.21
2420	-54	-20.49
2430	-54	-20.76
2440	-54	-20.58
2450	-54	-20.46

Pengujian selanjutnya (desain 2) yaitu *driver amplifier* yang nantinya diintegrasikan dengan penguat akhir.



Gambar 14. Sinyal hasil pengukuran driver PA

Pada Gambar 14 menunjukkan nilai daya *output* yang dihasilkan oleh *power amplifier* pada *spectrum analyzer* sebesar -27.32 dBm (0.00185 mW) ketika diberi daya *input* pada *network analyzer* -54 dBm (0.00000398 mW). Sesuai dengan persamaan (1) maka :

$$Gain = 10 \log \frac{0.00185}{0.00000398}$$

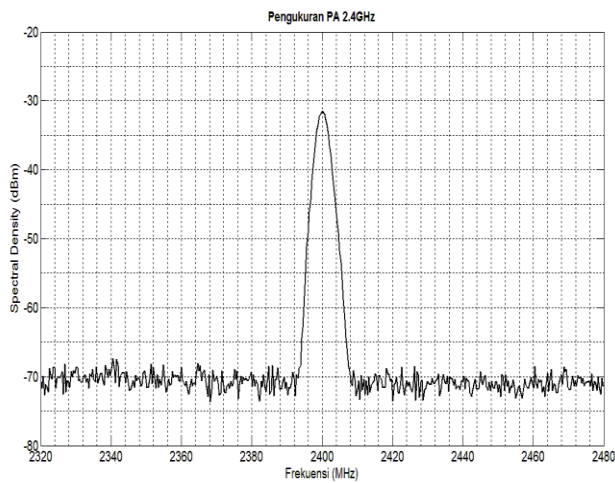
$$Gain = 26 \text{ dB}$$

Pada Gambar 15 menunjukkan nilai daya *output* yang dihasilkan oleh *power amplifier* pada *spectrum analyzer* sebesar -32 dBm (0.00063 mW) ketika diberi daya *input* pada *network analyzer* -54 dBm (0.00000398 mW). Sesuai dengan persamaan (1) maka :

$$Gain = 10 \log \frac{0.00063}{0.00000398}$$

$$Gain = 21 \text{ dB}$$

Dari hasil pengintegrasian *driver* dengan penguat akhir malah terjadi penurunan *gain* yang seharusnya mengalami kenaikan.

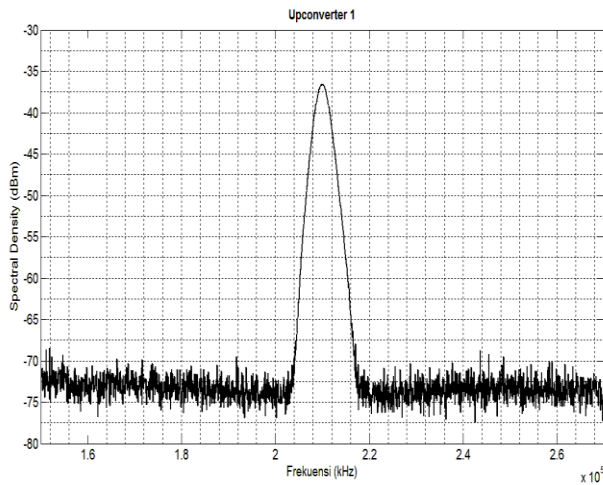


Gambar 15. Sinyal hasil pengukuran *driver* dan penguat akhir

Ada beberapa hal yang mempengaruhi ketidak sesuaian *gain* ini diantara karena *power supply input* yang tidak stabil dan pengaruh pemasangan konektor pada rangkaian serta penyolderan yang kurang rapi sehingga menurunkan kemampuan *gain*nya.

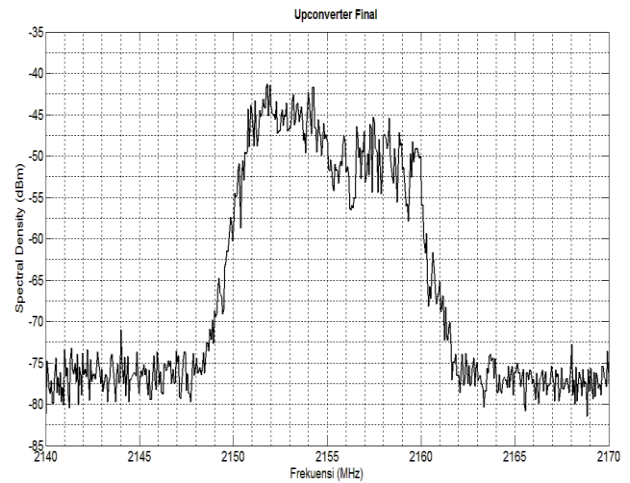
B. Pengujian Upconverter

Pengujian ini dilakukan pada *upconverter* 1 (TRF1121) yang menghasilkan frekuensi *intermediate* yang kedua pada frekuensi 210 MHz dari masukan frekuensi *intermediate* yang pertama (keluaran modulator) pada frekuensi 70 MHz.



Gambar 16. Sinyal hasil pengukuran *upconverter* 1

Kemudian pengujian selanjutnya adalah melakukan pengintegrasian antara *upconverter* 1 dan *upconverter* 2, hasil frekuensi *intermediate* 210 MHz menjadi *input* untuk *upconverter* 2, begitu juga LO yang dihasilkan *upconverter* 1 menjadi *input* untuk *upconverter* 2. Pengintegrasian *upconverter* ini hanya mampu menghasilkan frekuensi radio pada frekuensi 2155 MHz (Gambar 17).



Gambar 17. Sinyal hasil pengukuran *upconverter*

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

PA (*power amplifier*) dirancang dalam dua desain. Dari dua desain tersebut yang lebih memenuhi sebagai penguat yaitu desain pertama karena desain kedua jika mengalami pengintegrasian mengalami penurunan *gain* dari 26 dB menjadi 21 dB. Desain pertama yang menggunakan IC TRF1123 menghasilkan daya *output* sebesar -18.56 dBm dengan *gain* 35 dB. Rangkaian *local oscillator* yang dirancang menggunakan prinsip PLL dengan tujuan untuk mendapatkan frekuensi VCO yang lebih stabil. Dimana penggeseran frekuensi dengan *upconverter* ini dilakukan dalam dua tahap dengan LO UHF dan LO S-Band. Hasil dari pengujian rangkaian *upconverter* ini didapatkan 210 MHz untuk *upconverter* pertama dan final sebesar 2152 MHz.

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] Mutmainah, S., “Perancangan Dan Implementasi RF-Downlink Pada S-Band Frekuensi 2400 MHz Untuk Stasiun Bumi Satelit Nano”, Institut Teknologi 10 November, 2013.