

High Power Amplifier (HPA) pada Frekuensi 437,430 MHz untuk Aplikasi TTC Downlink Nano Satelit TEL-U SAT

High Power Amplifier (HPA) at 437.430 MHz Frequency for TTC Downlink Application in TEL-U SAT Nano Satellite

**Y. Taryana^{a,*}, T. Praludi^a, Y. Sulaeman^a, Y. Wahyu^a,
W. I. Prayogo^b, dan B. S. Nugroho^b**

^a Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
Komp LIPI Gd 20, Jl. Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia

^b Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.
Jalan Telekomunikasi No. 1 Terusan Buah Batu, Bandung 40257, Indonesia

Abstrak

Sistem *Telemetry, Tracking, and Command* (TTC) berfungsi sebagai *interface* komunikasi antara nano satelit dengan stasiun bumi. Salah satu perangkat yang penting dalam TTC adalah *transmitter* yang bekerja pada frekuensi *downlink* 437,430 MHz. Dari perhitungan *link budget* diperlukan sebuah *high power amplifier* (HPA) yang memiliki daya *output* 30 dBm agar data yang dikirimkan dapat diterima dengan baik oleh stasiun bumi. Pada tulisan ini dirancang dan direalisasikan HPA dua tingkat dengan frekuensi kerja 435 - 438 MHz. Penguat daya tingkat pertama menggunakan komponen aktif transistor BFR96S dan penguat daya tingkat kedua menggunakan komponen aktif transistor MRF555. Penyepadanan impedansi *input* menggunakan metode *impedance matching Pi-network*, sedangkan untuk penyepadanan impedansi *interstage* dan *output* menggunakan metode *impedance matching T-network*. Simulasi penguat daya menggunakan *software Advance Design System* (ADS 2011). Hasil perancangan HPA pada frekuensi 437,430 MHz menghasilkan *gain* sebesar 28,400 dB, *VSWR_{in}* sebesar 1,291, dan *VSWR_{out}* sebesar 1,295. Dari hasil pengukuran prototipe HPA, pada frekuensi 437,430 MHz menghasilkan *gain* sebesar 23,01 dB, *VSWR_{in}* sebesar 2,126, *VSWR_{out}* sebesar 1,695 pada *bandwidth* 50 MHz.

Kata kunci : Nano Satelit, TTC, HPA, *gain*, *matching*.

Abstract

Telemetry, Tracking, and Command (TTC) system is functioning for communication between the nanosatellite and earth station. One of the important part in TTC is a transmitter that works at 437,430 MHz downlink frequency. By link budget calculation, it is required a high power amplifier (HPA) which has 30 dBm output power in order to guarantee that transmitted data are still being received by the earth station. This paper presents the design and realization of two stage HPA working in frequency of 435 - 438 MHz. The first stage amplifier uses active component BFR96S transistor and for the second stage amplifier, MRF555 transistor is used. Impedance matching input of HPA circuit used Pi-network impedance matching technique, for interstage and output impedance matching used T-network impedance matching technique. In the design and simulation of HPA used Advance Design System (ADS 2011) software. HPA design has characterization results at 437.430 MHz frequency as follow 28,400 dB for gain, 1.291 of VSWR_{in}, 1.295 of VSWR_{out}, and -17.936 of return loss respectively. In the measurement of HPA prototype at 437.430 MHz frequency has characterization results 23.01 dB for gain, 2.126 of VSWR_{in}, and 1.695 of VSWR_{out} at 50 MHz of bandwidth.

Keywords : Nanosatellite, TTC, HPA, *gain*, *VSWR*, *impedance matching*.

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan nano satelit sangat pesat. Telkom University bersama *Aerospace Exploration Center* (AXC) turut berpartisipasi dalam pengembangan teknologi nano satelit di Indonesia. Nano satelit merupakan satelit berukuran kecil 1U (10cm x 10cm x 10cm) atau 2U (20cm x 10cm x 10cm) dengan massa kurang dari 10 kg [1]. Nano satelit yang sedang diteliti ini diberi nama Tel-U SAT dengan misi

penginderaan jarak jauh untuk pengawasan wilayah Indonesia. Tel-U SAT dengan ukuran 1U diproyeksikan akan mengorbit di *Low Earth Orbit* pada ketinggian 700 km di atas permukaan bumi. Salah satu blok sistem yang terdapat pada nano satelit yakni TTC (*Telemetry, Tracking, and Command*). *Telemetry* merupakan pengukuran jarak jauh, *tracking* berguna untuk mengetahui letak (posisi) satelit, dan *command* berguna untuk mengirim perintah ke satelit [2].

Salah satu modul yang mempunyai fungsi penting adalah penguat daya. Penguat daya berfungsi untuk meningkatkan level daya sinyal sebelum dipancarkan melalui antenna. Pada tulisan ini dirancang dan direalisasikan *high power amplifier* (HPA) dua tingkat untuk aplikasi *TTC downlink* yang dapat bekerja pada frekuensi 437,430 MHz dengan *bandwidth* 30 KHz.

* Corresponding Author.

Email: yanvirs@gmail.com

Received: November 23, 2016; Revised: December 5, 2016

Accepted: December 5, 2016

Published: December 20, 2016

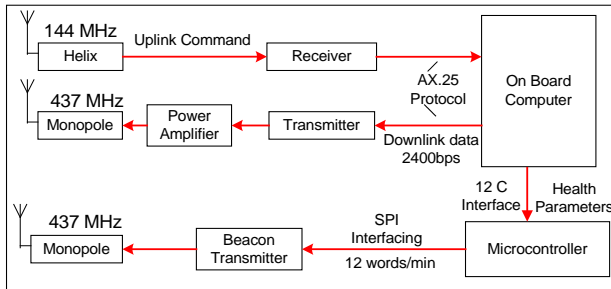
© 2016 PPET - LIPI

doi: 10.14203/jet.v16.40-45

Spesifikasi dari HPA yang dirancang yakni memiliki *gain* 30 dB, $1 \leq VSWR \leq 1,5$, *return loss* ≤ -15 dB, *amplifier* kelas A.

II. TELEMETRY, TRACKING, AND COMMAND

Gambar 1 menjelaskan sistem TTC berfungsi sebagai *interface* komunikasi antara satelit dengan stasiun bumi. Sistem tersebut bertugas untuk mengirim data telemetri dari satelit ke stasiun bumi, menerima perintah (*command*) yang dikirim dari stasiun bumi, dan mengirim sinyal tracking (lokasi dan posisi satelit) ke stasiun bumi [3][4]. TTC *downlink* nano satelit yang dirancang menggunakan standar frekuensi yang telah disediakan oleh ORARI (Organisasi Radio Amatir Republik Indonesia), yakni bekerja pada frekuensi UHF 437,430 MHz dengan *bandwidth* 30 KHz.

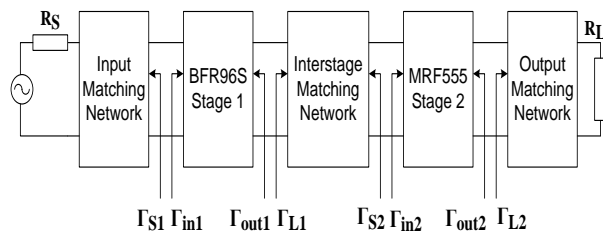


Gambar 1. Blok Diagram Sistem TTC [4]

A. High Power Amplifier (HPA)

Power Amplifier berfungsi untuk meningkatkan *level* daya sinyal pada masukan di rentang frekuensi yang telah ditentukan sampai dengan *level* daya yang diinginkan pada keluarannya [5]. Kemampuan dari suatu *power amplifier* tergantung dari karakteristik komponen aktif yang digunakan. Pada tulisan ini, HPA dirancang dengan dua tingkat untuk mencapai penguatan atau *gain* ≥ 20 dB. Pada tingkat pertama menggunakan transistor BJT BFR96S sebagai *driver amplifier* dan pada tingkat ke 2, menggunakan transistor BJT MRF555 sebagai transistor akhir yang memiliki karakteristik dapat bekerja hingga frekuensi 470 MHz dengan daya keluaran 1,5 Watt [6],[7]. Pada Gambar 2, HPA dirancang menggunakan teknik *simultaneous conjugate match* untuk mendapatkan penguatan yang maksimal. Dalam teknik ini, rangkaian harus memenuhi kondisi:

$$\Gamma_{S1} = \Gamma_{in1}^*, \Gamma_{out1} = \Gamma_{L1}^*, \Gamma_{S2} = \Gamma_{in2}^* \text{ dan } \Gamma_{out2} = \Gamma_{L2}^* [8].$$



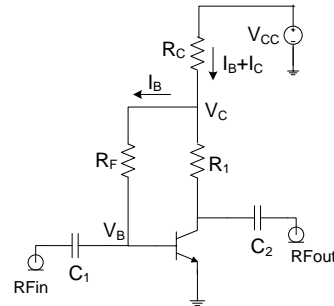
Gambar 1. HPA Dua Tingkat dengan *Simultaneous Conjugate Match*. Dengan

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad (1)$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \quad (2)$$

B. DC Biasing

Direct Current (DC) Biasing atau rangkaian prategangan DC digunakan untuk mengaktifkan transistor BJT agar dapat bekerja pada titik kerja (Q) yang diinginkan. Konfigurasi *DC biasing* yang digunakan adalah jenis *self-bias* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 [10].



Gambar 3. Rangkaian DC Biasing.

C. Stabilitas Penguat Daya

Dalam perancangan penguat daya, faktor kestabilan (K) mempunyai peranan penting agar sebuah penguat tidak terjadi osilasi. Secara matematis K dapat dihitung melalui Persamaan (3) dan (4) [8].

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad (3)$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (4)$$

Jika $K > 1$ dan $\Delta < 1$, transistor memiliki kestabilan tanpa syarat (*unconditionally stable*) untuk semua impedansi sumber dan beban. Pada kondisi ini transistor cocok digunakan sebagai penguat.

D. Penentuan Parameter S dan Faktor Kestabilan

Dengan menggunakan *tools S-parameters* pada perangkat lunak ADS 2011, pada frekuensi 437,430 MHz diperoleh nilai parameter S untuk rangkaian BFR96S dan MRF555 sebagai berikut: Parameter S transistor BFR96S pada 437,430 MHz adalah $S_{11} = 0,350 \angle 165,660^\circ$, $S_{12} = 0,085 \angle 70,601^\circ$, $S_{21} = 4,792 \angle 79,389^\circ$ dan $S_{22} = 0,107 \angle -69,726^\circ$ sedangkan parameter S transistor MRF555 pada 437,430 MHz adalah $S_{11} = 0,785 \angle 171,670^\circ$, $S_{12} = 0,047 \angle 57,619^\circ$, $S_{21} = 2,614 \angle 77,819^\circ$ dan $S_{22} = 0,584 \angle 179,792^\circ$.

Dengan menggunakan Persamaan 3 dan 4 maka diperoleh nilai-nilai untuk transistor BFR96S dengan $|\Delta| = 0,386$ dan $K = 1,247$. Sedangkan untuk transistor MRF555 diperoleh nilai $|\Delta| = 0,562$ dan $K = 1,461$.

E. Penyepadanan Impedansi

Apabila impedansi sebuah saluran tidak *match* dengan saluran lain yang terhubung padanya, maka akan menimbulkan rugi-rugi seperti adanya daya yang memantul sehingga menyebabkan transfer daya tidak maksimum. Teknik penyepadanan impedansi yang

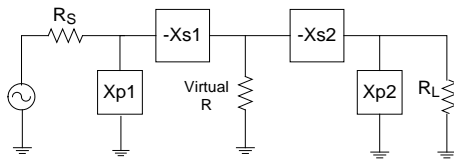
dapat digunakan untuk *band* frekuensi UHF yakni *Pi-network* dan *T-network* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.

Dalam melakukan penyepadanan impedansi harus diketahui terlebih dahulu nilai dari Z_S dan Z_L yang akan disepadankan. Dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2, kondisi *simultaneous conjugate match* maka diperoleh nilai Γ_S dan Γ_L untuk transistor tingkat pertama (BFR96S), yaitu $\Gamma_{S1} = 0,476 \angle -171,052^\circ$ dan $\Gamma_{L1} = 0,316 \angle 37,015^\circ$, sedangkan transistor tingkat kedua diperoleh nilai $\Gamma_{S2} = 0,755 \angle -176,888^\circ$ dan $\Gamma_{L2} = 0,468 \angle 158,971^\circ$. Nilai-nilai koefisien refleksi (Γ) harus dikonversi ke nilai impedansi (Z) untuk mempermudah dalam menghitung rangkaian penyepadanan impedansi, yaitu dengan Persamaan 3 dan 4 [8].

$$Z_S = Z_0 \frac{1 + \Gamma_S}{1 - \Gamma_S} \quad (5)$$

$$Z_L = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \quad (6)$$

sehingga dari Persamaan 3 dan 4 diperoleh nilai-nilai untuk $Z_{S1} = 18,066 - j3,456$, $Z_{L1} = 75,304 + j30,888$, $Z_{S2} = 7,017 - j1,313$, dan $Z_{L2} = 18,561 + j7,896$.



Gambar 4. Pi-Network

Pada Gambar 4, nilai-nilai komponen X_s dan X_p dapat diperoleh melalui Persamaan 7-12 [9].

$$R = \frac{R_H}{Q^2 + 1} \quad (7)$$

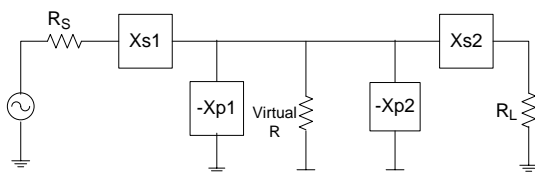
$$X_{p2} = \frac{R_L}{Q} \quad (8)$$

$$X_{S2} = QR_{series} \quad (9)$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{R_S}{R} - 1} \quad (10)$$

$$X_{p1} = \frac{R_p}{Q_1} \quad (11)$$

$$X_{S1} = Q_1 R_{series} \quad (12)$$



Gambar 5. T – Network

Sedangkan pada Gambar 5 untuk menentukan nilai-nilai X_s dan X_p melalui Persamaan 13-18 [9].

$$R = R_S (Q^2 + 1) \quad (13)$$

$$X_{S1} = QR_S \quad (14)$$

$$X_{P1} = \frac{R}{Q} \quad (15)$$

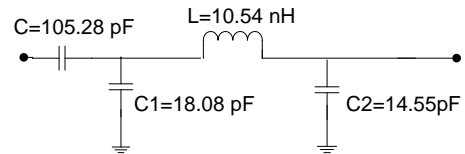
$$Q_2 = \sqrt{\frac{R}{R_L} - 1} \quad (16)$$

$$X_{P2} = \frac{R}{Q_2} \quad (17)$$

$$X_S = Q_2 R_L \quad (18)$$

F. Penyepadanan Impedansi Input

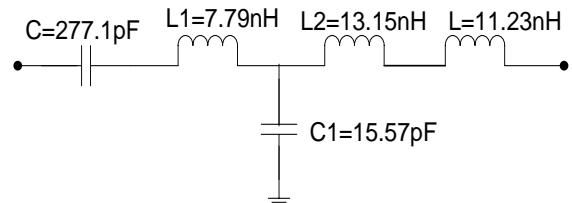
Penyepadanan impedansi *input* dilakukan dengan menyepadankan Z_{S1} dengan 50 Ohm. Teknik penyepadanan impedansi yang digunakan yakni *Pi-Network Impedance Matching* seperti Gambar 4 dengan menggunakan nilai Q minimum dan memasukkan nilai $R_H = R_L = 50$ Ohm, $R_S = R_p = 18,066$ Ohm dan $Q = 2$ pada Persamaan 7-12 maka diperoleh nilai $X_{P2} = 25$ Ohm, $X_{S2} = 20$ Ohm, $X_{P1} = 20,12$ Ohm, dan $X_{S1} = 8,98$ Ohm sehingga rangkaian menjadi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Penyepadanan Impedansi Input

G. Penyepadanan Impedansi Interstage

Penyepadanan impedansi *interstage* dilakukan dengan menyepadankan Z_{S2} terhadap Z_{L1} . Teknik penyepadanan impedansi yang digunakan yakni *T-Network Impedance Matching* seperti pada Gambar 5 dengan memasukkan nilai $R_s = 7,017$ ohm, $R_L = 75,304$ ohm dan $Q = 3,5$ pada Persamaan 13-18, maka diperoleh nilai $X_{S1} = 21,40$ Ohm, $X_{P1} = 26,57$ Ohm, $X_{P2} = 193,71$ ohm, dan $X_{S2} = 36,14$ ohm sehingga rangkaian menjadi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

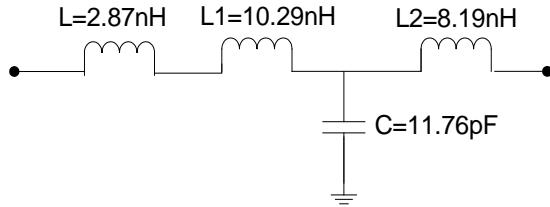


Gambar 7. Rangkaian Penyepadanan Impedansi Interstage

H. Penyepadanan Impedansi Output

Penyepadanan impedansi *output* dilakukan dengan menyepadankan Z_{L2} dengan 50 Ohm. Teknik penyepadanan impedansi yang digunakan yakni *T-*

Network Impedance Matching seperti Gambar 5. Dengan cara yang sama dengan penyepadan impedansi *interstage* dan dengan memasukkan nilai $R_s = 18,561$ ohm, $R_L = 50$ Ohm dan $Q = 1$, maka diperoleh nilai $X_{S1} = 27,84$ Ohm, $X_{P1} = 40,21$ Ohm, $X_{P2} = 134,04$ Ohm, dan $X_{S2} = 22,5$ Ohm dan rangkaian pengganti ditunjukkan oleh Gambar 8.

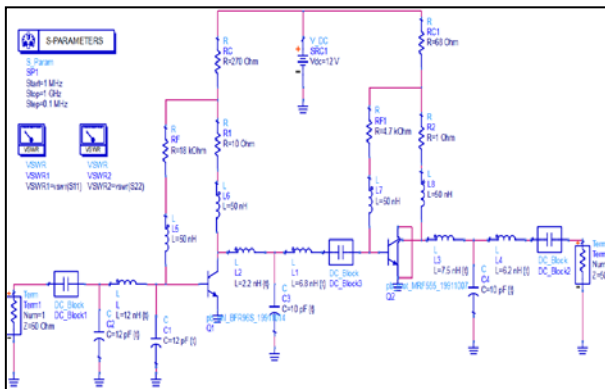


Gambar 8. Rangkaian Penyepadan Impedansi Output

III. SIMULASI RANGKAIAN HPA

Proses akhir perancangan menghasilkan rangkaian lengkap HPA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Rangkaian tersebut dilengkapi dengan *RF choke* dan *DC blocking*. *RF choke* ditunjukkan oleh komponen L5, L6, L7, dan L8. Sedangkan *DC blocking* ditunjukkan oleh DC block1 dan DC block2.

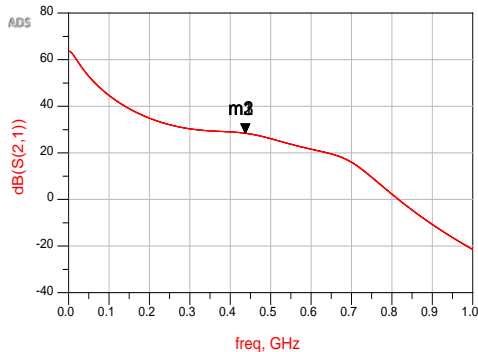
Proses selanjutnya adalah mensimulasikannya dengan menggunakan perangkat lunak ADS 2011. Tujuan simulasi untuk mendapatkan karakterisasi hasil perancangan sebelum rangkaian direalisasikan. Proses ini memberikan hasil *gain*, *VSWRin*, dan *VSWRout*.



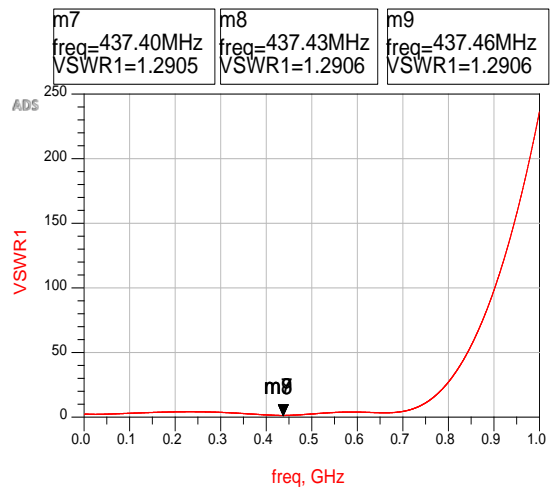
Gambar 9. Rangkaian Akhir HPA Dua Tingkat

Dari hasil simulasi pada frekuensi 437,430 MHz, HPA memiliki *gain* = 28,400 dB, *VSWRin* = 1,291 dan *VSWRout* = 1,295.

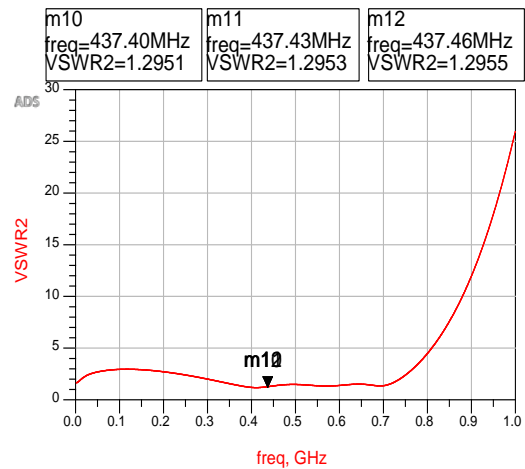
m1 freq=437.40MHz dB(S(2,1))=28.400	m2 freq=437.43MHz dB(S(2,1))=28.400	m3 freq=437.46MHz dB(S(2,1))=28.399
---	---	---



Gambar 10. Gain Hasil simulasi

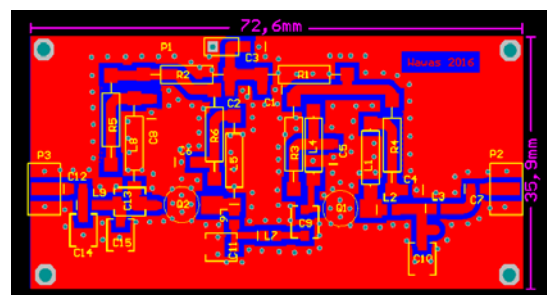


Gambar 11. VSWRin Hasil Simulasi



Gambar 12. VSWRout Hasil Simulasi

Dari hasil keseluruhan simulasi menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi kebutuhan HPA untuk nano satelit. Proses selanjutnya adalah merealisasikannya menjadi sebuah prototipe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Desain PCB Rangkaian HPA



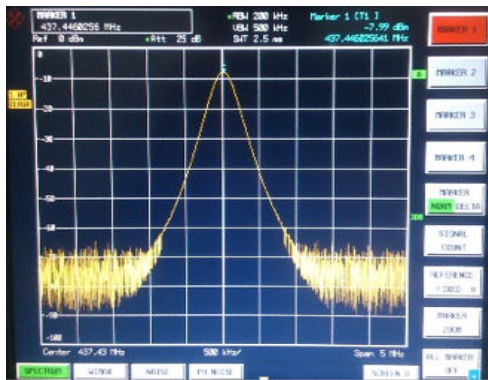
Gambar 14. Prototipe HPA

IV. PENGUKURAN DAN ANALISIS

a) Pengukuran Gain

Pengukuran *gain* dilakukan pada rentang frekuensi 300 MHz sampai 500 MHz dengan memberikan masukan level daya sebesar 0 dbm, redaman terminasi 30 dB dan redaman kabel sebesar 1 dB dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1. Pada frekuensi 437,440 MHz dan pada *bandwidth* TTC (437,40 – 437,46 MHz) menghasilkan *gain* sebesar 23,01 dB.

Terjadi perbedaan nilai *gain* antara simulai dan pengukuran realisasi HPA, hal ini dikarenakan pada simulasi menggunakan perangkat lunak ADS komponen-komponen yang digunakan yakni komponen ideal yang mempunyai faktor kualitas sangat tinggi, sedangkan pada realisasi HPA menggunakan komponen-komponen dengan faktor kualitas tertentu sehingga terjadi perbedaan nilai komponen antara simulasi dengan realisasi. Pada saat memutar nilai kapasitor *trimmer*, apabila nilainya tidak sama tepat dengan nilai pada saat simulasi maka *gain* yang dihasilkan tidak maksimal.



Gambar 15. Hasil Pengukuran *Gain* pada Frekuensi 437,44 MHz

TABEL 1

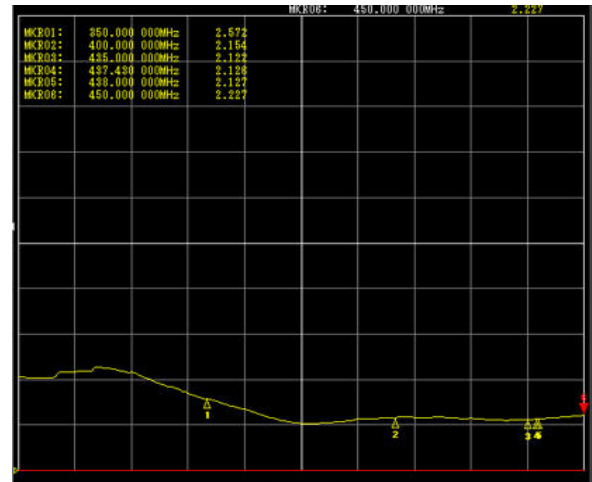
HASIL PENGUKURAN *GAIN* RANGKAIAN HPA

F(MHz)	Pin(dBm)	Pout (dBm)	Gain (dB)
300	0	-8,30	22,70
350	0	-11,03	19,97
400	0	-8,24	22,76
435	0	-7,98	23,02
437,43	0	-7,99	23,01
438	0	-8,00	23,00
450	0	-8,39	22,61
500	0	-13,91	17,09

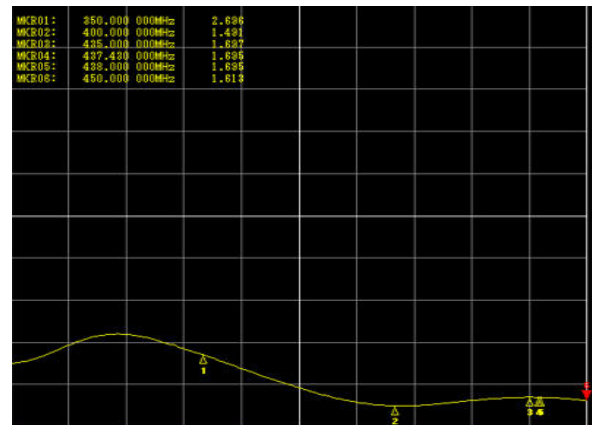
b) Pengukuran VSWR

Pengukuran VSWR menggunakan *vector network analyzer* dan dicatu dengan *DC power supply* 12 V. Pada frekuensi 437,430 MHz menghasilkan VSWR *input* sebesar 2,126 dan VSWR *output* sebesar 1,695 seperti ditunjukkan pada Gambar 16 dan 17. Apabila dibandingkan dengan spesifikasi awal hasil simulasi, maka hasil pengukuran memiliki nilai VSWR > 1,5. Hal ini diakibatkan oleh rangkaian HPA yang tidak *match*, dikarenakan komponen-komponen yang digunakan pada realisasi memiliki faktor kualitas tertentu di mana

terjadi sedikit perbedaan nilai-nilai komponen *DC biasing* dan titik kerja transistor antara simulasi dengan direalisasikan, sehingga faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi nilai *scattering parameters* yang digunakan dalam menentukan koefisien pantul dan juga penyepadanan impedansi.



Gambar 16. Hasil Pengukuran VSWR *Input*



Gambar 17. Hasil Pengukuran VSWR *Output*

KESIMPULAN

Proses perancangan dan realisasi HPA pada frekuensi 437,430 MHz untuk aplikasi TTC *downlink* nano satelit telah disimulasikan, dibuat prototipe dan dilakukan pengukuran. Dari hasil pengukuran, pada frekuensi 437,430 MHz menghasilkan *gain* sebesar 23,01 dB, VSWR_{in} sebesar 2,126, dan VSWR_{out} sebesar 1,695. Nilai-nilai tersebut tidak memenuhi spesifikasi awal perancangan HPA namun telah mendekati (*gain* 30 dB, dan $1 \leq \text{VSWR} \leq 1,5$). Secara keseluruhan, prototipe HPA ini dapat bekerja pada *range bandwidth* TTC pada frekuensi 437,40 – 437,46 MHz. Dengan adanya perbedaan ini dapat dilakukan desain ulang untuk mendapatkan nilai yang optimum dengan menggunakan komponen-komponen aktif dengan spesifikasi yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PPET – LIPI yang telah mendanai kegiatan DIPA penelitian ini pada tahun anggaran 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riki Munakata et al, "CubeSat Design Specifications Rev12," California Polytechnic State University, 2009.
- [2] Anil K. Maini and Varsha Agrawal, *Satellite Technology Principles and Applications 2nd ed.*, United Kingdom: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- [3] Johan L. Tresvig et al, "CubeSTAR - A Nanosatellite for Space Weather Monitoring," Departement of Physics, University of Oslo.
- [4] Lakshya Vaibhav Datta, *Introduction to Nanosatellite Technology and Components*, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
- [5] Paolo Colantino and Ernesto Franco, *High Efficiency RF and Microwave Solid State Power Amplifier*, United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd., 2009.
- [6] "Data-sheet BFR96S. NPN 5 GHz wideband Transistor," Philips Semiconductor.
- [7] "Data-sheet MRF555. The RF Line NPN Silicon RF Low Power Transistor," Motorola Inc.
- [8] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1997.
- [9] Chris Bowick, John Blyler and Cheryl Ajluni, *RF Circuit Design*. 2nd ed., USA: Butterworth-Heinemann, 2008.
- [10] Herman Dwi Surjono, *Elektronika Analog*, Indonesia: Cerdas Ulet Kreatif, 2008.