

Rancang Bangun Modulator BPSK untuk Komunikasi Citra pada ITS-Sat

Lena Miranti Siahaan, Eko Setijadi, dan Devy Kuswidiastuti

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: ekoset@ee.its.ac.id

Abstrak - ITS-Sat merupakan satelit yang dirancang dan dibuat oleh mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Salah satu subsistem *payload* satelit tersebut adalah modulator BPSK yang digunakan untuk pengiriman citra pada lintasan *downlink* dengan frekuensi *downlink* 2,4 GHz. Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan modulator BPSK yang bekerja pada frekuensi IF (*Intermediate Frequency*) dengan frekuensi 70 MHz dan *baud rate* 19200 baud. Modulator BPSK yang telah diimplementasikan memiliki dimensi 5 cm x 3,7 cm. Hasil pengujian dan pengukuran perangkat menunjukkan bahwa modulator BPSK mampu bekerja dengan kecepatan transmisi data 19200 baud pada frekuensi IF 70 MHz. Hasil ini sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan sebagai modulator BPSK pada *payload* satelit ITS-Sat.

Kata Kunci - ITS-Sat, modulator BPSK, *intermediate frequency*, komunikasi citra.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi satelit saat ini telah bergerak sangat cepat. Banyak penelitian dan pengembangan di bidang satelit yang dilakukan guna memenuhi kebutuhan komunikasi dan kapasitas. Penelitian dan pengembangan satelit itu tidak hanya dilakukan oleh institusi-institusi pemerintahan tetapi juga oleh perguruan tinggi di Indonesia. Salah satu satelit yang diciptakan atas kerjasama dari lima perguruan tinggi di Indonesia adalah satelit nano yang dinamakan IINUSAT.

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya sebagai salah satu perguruan tinggi yang turut serta dalam pengembangan satelit, kini mulai menciptakan satelit yang memiliki massa dan ukuran lebih kecil lagi dari satelit nano yaitu satelit piko. Satelit yang akan dirancang akan ditempatkan pada orbit LEO (*Low Earth Orbit*) dengan ketinggian 700 km dari permukaan bumi dengan sudut inklinasi 53° . Orbit dan sudut inklinasi ini sama dengan satelit IINUSAT. ITS-Sat yang akan dirancang tidak hanya bertujuan untuk alat komunikasi data teks dari stasiun bumi ke satelit maupun sebaliknya tetapi juga untuk mengirimkan citra dari satelit ke stasiun bumi. Perangkat komunikasi yang direncanakan untuk melakukan fungsi pengiriman citra yang bekerja pada frekuensi S-Band yaitu 2,4 GHz. Sistem komunikasi untuk pengiriman citra tersebut bersifat simpleks dimana informasi berjalan hanya pada satu lintasan saja yaitu pada lintasan *downlink*, dari satelit ke stasiun bumi.

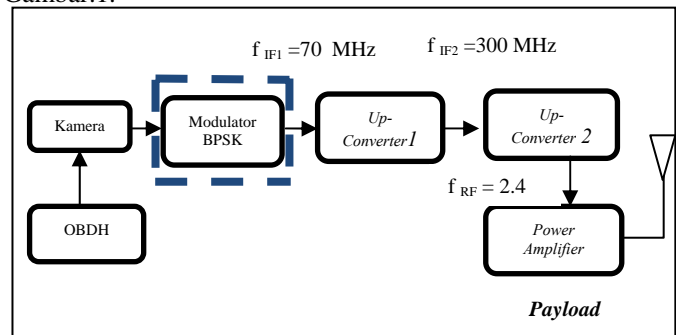
Perangkat yang digunakan untuk merealisasikan proyek tersebut terdiri beberapa modul penyusun. Salah satu

subsistem dari ITS-Sat adalah modulator untuk pengiriman citra dari satelit ke stasiun bumi. Skema modulasi yang digunakan adalah skema modulasi dari salah satu jenis skema modulasi *Phase Shift Keying* (PSK) yaitu BPSK. Jenis skema modulasi *phase shift keying* digunakan karena jenis skema ini memiliki performa lebih baik daripada teknik modulasi dengan menggunakan skema modulasi *amplitude* dan frekuensi [1]. Sedangkan BPSK dipilih untuk diterapkan pada modulator yang akan dirancang karena BPSK memiliki kelebihan performansi interferensi yang lebih baik dan sangat kokoh sehingga sering juga diterapkan pada komunikasi satelit.

Makalah ini melaporkan hanya mengenai desain dan implementasi modulator BPSK untuk pengiriman citra pada *payload* satelit ITS-Sat saja. Sedangkan desain dan implementasi demodulator BPSK pada *ground station* dilaporkan pada makalah [2]. Bab II menjelaskan mengenai teori penunjang yang berkaitan dengan desain dan implementasi perangkat modulator BPSK. Tahapan perancangan dan pembuatan perangkat dipaparkan pada Bab III, sedangkan hasil pengujian dan pengukuran perangkat serta kesimpulan dilaporkan pada Bab IV dan Bab V.

II. TINJAUAN PUSTAKA

ITS-Sat yang dirancang difungsikan untuk komunikasi data teks dan data citra. Untuk komunikasi data teks, modulasi yang digunakan adalah FSK sedangkan untuk komunikasi data citra digunakan modulasi BPSK. Gambar blok diagram komunikasi citra pada *payload* ITS-Sat dapat dilihat pada Gambar.1.



Gambar. 1. Blok diagram sistem komunikasi satelit ITS-Sat untuk pengiriman citra pada lintasan *downlink* 2,4 GHz

Modulator BPSK yang dirancang pada makalah ini merupakan modulator *baseband* pada frekuensi IF 70 MHz. Kemudian akan ditranslasikan oleh *up-converter* ke frekuensi RF sebesar 2,4 GHz. Mode komunikasi citra yang digunakan pada ITS-

Sat adalah simpleks (satu arah) pada lintasan *downlink*. Jadi data citra hanya akan dikirimkan dari satelit ke *receiver* yang berada pada stasiun bumi.

A. Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Binary Phase Shift Keying atau disebut juga *bipolar modulation* adalah teknik modulasi digital dimana fasa dari sinyal *carrier* di ubah-ubah sesuai dengan dua sinyal informasi yang mewakili biner 1 dan 0.

Bentuk umum persamaan BPSK adalah sebagai berikut.

$$S_n(t) = A \sin(2\pi f_c t + \pi(1-n)) ; n = 0,1, \dots, M-1 \quad (1)$$

Dimana:

A = Amplitudo (V)

f_c = Frekuensi *carrier* (Hz)

M= Jumlah sandi yang tersusun dari n bit. (BPSK, M=2)

Dari persamaan (1), jika *input* biner adalah *logic 1* maka persamaan BPSK adalah

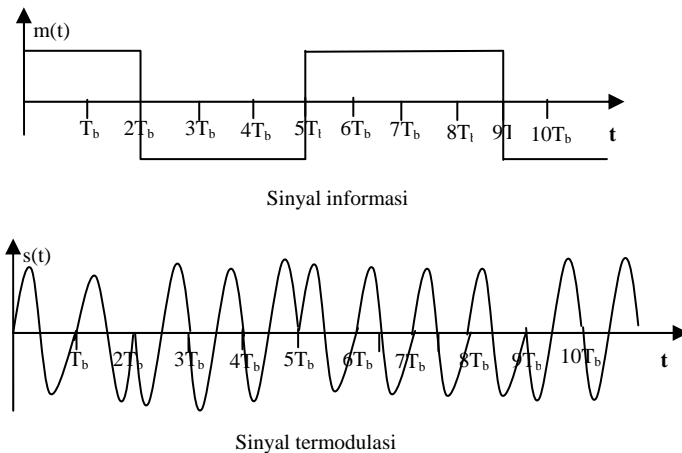
$$S_1(t) = A \sin(2\pi f_c t + 0^\circ) \quad (1a)$$

Jika *input* biner adalah *logic 0*, maka persamaan BPSK adalah

$$S_0(t) = A \sin(2\pi f_c t + 180^\circ) \quad (1b)$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa sinyal termulasi BPSK akan menghasilkan dua fasa yaitu 0° dan 180° .

Sinyal termulasi BPSK dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

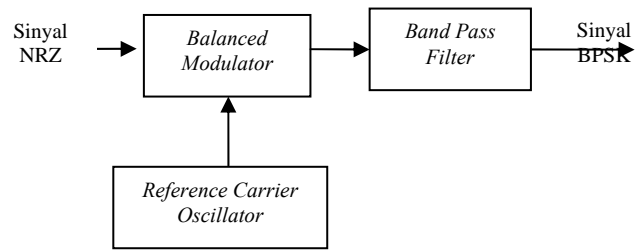


Gambar. 2. Fasa Output sebagai fungsi waktu pada sistem BPSK[3]

Pada Gambar 2 tersebut dapat dilihat bahwa sinyal termulasi berbeda fasa 180° pada saat terjadi transisi dari *logic 1* ke 0 maupun sebaliknya pada sinyal informasi.

B. Pemancar BPSK

Pemancar BPSK terdiri dari *balanced modulator*, sinyal NRZ, *reference carrier oscillator*, dan *band pass filter*. Blok diagram tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

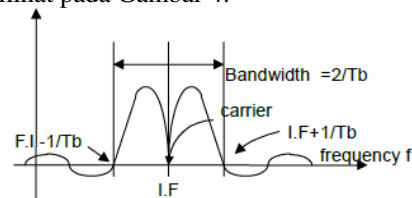


Gambar. 3. Modulator BPSK

Sinyal NRZ (*Non-Return to Zero*) adalah suatu kode dimana tegangan negatif dipakai untuk mewakili suatu *binary* dan tegangan positif dipakai untuk mewakili *binary* lainnya.. Jadi pada modulator ini *logic 1* direpresentasikan oleh tegangan sinyal +1V dan *logic 0* direpresentasikan oleh tegangan sinyal -1V. Sinyal NRZ dengan bentuk seperti ini biasanya disebut juga dengan *Non-Return to Zero Level* (NRZ-L). Sinyal NRZ tersebut merupakan sinyal informasi yang digunakan *balanced modulator* sebagai salah satu *input*. *Balanced modulator* pada blok diagram diatas berfungsi sebagai *product modulator*, juga bekerja seperti suatu *switch* pembalik fasa. *Output balanced modulator* adalah perkalian dari dua sinyal *input*, yaitu *reference carrier* berupa sinyal sinusoida dan sinyal informasi berupa sinyal digital. Setelah diperoleh sinyal termulasi yang merupakan *output* dari *balanced modulator* maka perlu dilakukan pemfilteran untuk mengurangi interferensi. Filter yang digunakan adalah *band pass filter*.

C. Bandwidth BPSK

Bandwidth BPSK dapat dilihat pada domain frekuensi dari sinyal termulasi BPSK yang biasa disebut spektrum BPSK. Spektrum BPSK tersebut merupakan spektrum dari hasil perkalian dua sinyal yaitu sinyal informasi (data) yang berbentuk pulsa dengan sinyal *carrier* yang berbentuk sinus. Spektrum sinyal termulasi BPSK adalah spektrum *baseband* yang digeser ke frekuensi *carrier*. *Bandwidth* BPSK dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar. 4. Bandwidth BPSK [4]

Bandwidth sinyal termulasi BPSK adalah sebesar $\frac{2}{T_b}$, dimana T_b adalah peroida bit. *Bandwidth* ini juga dapat dikatakan $2 f_b$ karena $f_b = \frac{1}{T_b}$, dimana f_b adalah *bit rate*. *Bandwidth* ini merupakan *bandwidth null-to-null* yang merupakan daerah *main lobe* dari sinyal tersebut.

D. Band Pass Filter

Band pass filter adalah filter yang digunakan untuk melewati frekuensi pada *range* tertentu. Filter ini dapat dirancang dengan menggunakan komponen pasif RLC dengan seri maupun paralel. Persamaan yang digunakan untuk

perancangan BPF yang dirancang dengan menggunakan RLC secara seri ditunjukkan pada persamaan (2) dan (3).

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2}$$

$$BW = \frac{R}{2\pi L} \tag{3}$$

Dimana:

f_o = frekuensi tengah (Hz)

BW = bandwidth (Hz)

R = resistor (ohm)

L = induktor (Henry)

C = kapasitor (farad)

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT

A. Penentuan Kriteria Perancangan

Penentuan kriteria perancangan modulator BPSK meliputi kecepatan transmisi data (*baud rate*) dan frekuensi IF yang diinginkan. Penentuan ini dilakukan selain agar modulator BPSK dapat bekerja secara sistem juga sebagai subsistem yang dapat disesuaikan dengan modul – modul yang terhubung langsung dengan modulator BPSK yaitu kamera dan *transmitter* khususnya *up-converter* 1.

Pada perancangan awal, kecepatan transmisi yang digunakan adalah sebesar 19200 bps. Penentuan kecepatan transmisi data menggunakan modulasi BPSK disesuaikan dengan kapasitas citra dan waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan seluruh bit citra dengan durasi visibilitas satelit yaitu pada saat satelit melewati bumi. Durasi visibilitas satelit berdasarkan penelitian sebelumnya adalah 614,48446 s atau ± 10 menit [5]. Kapasitas citra dapat dihitung dari spesifikasi kamera yang digunakan pada ITS-Sat. Kamera yang digunakan adalah kamera LS-Y201 dengan ukuran gambar 640 x 480 piksel dan ukuran *file* gambar yang sudah terkompresi adalah ± 67 KB. Data yang dikirim oleh kamera adalah data *file* gambar yang telah terkompres. Dengan file citra sebesar itu diperlukan waktu ± 28 s untuk mentransmisikan data tersebut dengan laju bit sebesar 19200 bps. Sehingga jika dibandingkan dengan durasi visibilitas satelit, kamera masih dapat mengirimkan beberapa kali hasil *capture* ke stasiun bumi.

Komunikasi citra ITS-Sat yang dirancang akan dialokasikan pada frekuensi 2.4 GHz. Modulator BPSK yang dirancang bekerja pada frekuensi IF 70 MHz. Frekuensi IF ini akan ditranslasikan ke frekuensi RF (2.4 GHz) oleh *up-converter*. Tujuan utama penggunaan IF adalah untuk selektivitas frekuensi. Proses kebalikan dari translasi terjadi pada penerima yang berada pada stasiun bumi yaitu proses translasi frekuensi RF ke IF yang dilakukan oleh *down converter*. Proses demodulasi pada penerima dapat dilakukan setelah frekuensi IF yang pertama diperoleh kembali. Karena data dimodulasi pada IF yang pertama. Frekuensi IF 70 MHz dipilih karena frekuensi ini umum digunakan untuk IF pada komunikasi satelit.

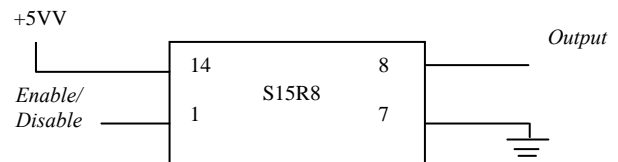
B. Perancangan dan Pembuatan Perangkat

Perancangan dan pembuatan modulator BPSK terdiri dari perancangan *balanced modulator*, osilator dan *band pass filter*. Blok diagram perancangan modulator BPSK dapat dilihat pada Gambar 3. Pada perancangan modulator BPSK terdapat blok *reference carrier oscillator* yang digunakan sebagai *carrier* untuk salah satu *input balanced modulator*. Sinyal *carrier* dari perancangan harus berbentuk sinusoidal dan memiliki frekuensi yang tetap dan stabil. Karena kriteria tersebut maka digunakan *fixed frequency crystal oscillator* (XO) dengan tipe S15R8. Sinyal yang dihasilkan oleh *crystal oscillator* tersebut berbentuk sinusoidal dengan frekuensi 70 MHz. Osilator S15R8 merupakan osilator jenis DIL-14 yang pembungkusnya terbuat dari logam. Pada tabel 1 dan Gambar 5 adalah koneksi pin dan skematik rangkaian S15R8.

Tabel 1.

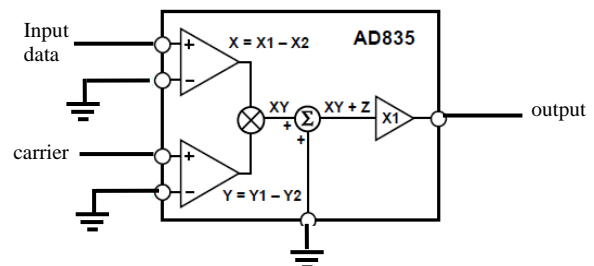
Koneksi pin S15R8[6]

Pin	Koneksi
1	Enable / Disable
7	Ground (GND)
8	Output
14	Vcc (+5V)



Gambar. 5. Skematik rangkaian S15R8

Pada perancangan *balanced modulator* digunakan IC AD835. IC ini digunakan sebagai pengali (*multiplier*). IC ini memiliki dua *input* untuk dikalikan (X dan Y) dan satu *input* untuk dijumlahkan (Z). Pada Gambar 6 dapat dilihat rangkaian skematik AD835.



Gambar. 6. Skematik AD835[7]

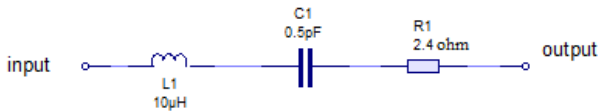
Persamaan untuk AD835 adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{(X1-X2)(Y1-Y2)}{U} + Z \tag{4}$$

Dimana variabel W, U, X, Y, dan Z merupakan tegangan. U pada rangkaian ini telah diatur 1 V. Untuk menggunakan IC ini sebagai *multiplier* maka hanya 2 *input* yang dibutuhkan yaitu X dan Y, sedangkan Z tidak digunakan karena Z merupakan *input* untuk penjumlahan. Oleh karena itu Z di *ground* kan. Sehingga *output* nya adalah XY.

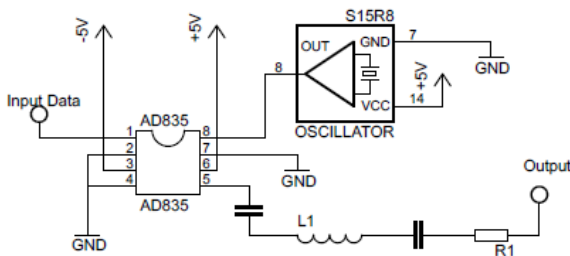
Pada perancangan *band pass filter*, *bandwidth* yang digunakan adalah 40 KHz dengan frekuensi tengah 70 MHz. Untuk mendapatkan nilai L dan C, maka salah satu nilai (L

atau C) harus ditentukan terlebih dahulu untuk memudahkan dalam melakukan perhitungan. Nilai yang ditentukan adalah frekuensi tengah (f_o) = 70 MHz dan C = 0.5 pF. Perhitungan untuk memperoleh nilai L digunakan persamaan (2) dan dari hasil perhitungan dengan kriteria yang telah ditentukan diperoleh hasil untuk nilai L (induktor) sebesar 10 μ H. Setelah diperoleh nilai L dan C maka dapat menghitung nilai R dengan *bandwidth* filter adalah 40 KHz. Dengan menggunakan persamaan (3) diperoleh nilai R adalah sebesar 2,5 ohm. Tetapi yang digunakan dalam perancangan ini adalah resistor dengan hambatan 2,4 ohm karena nilai 2,5 tidak diperoleh di pasaran. Rangkaian BPF dapat dilihat pada Gambar 7.

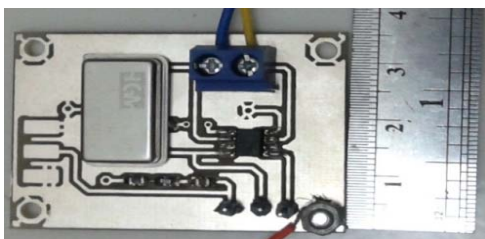


Gambar. 7. Rangkaian BPF

Dari perancangan setiap blok untuk perancangan modulator BPSK di atas maka diperoleh skematik dari keseluruhan untuk pembuatan perangkat modulator BPSK yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sedangkan realisasi perangkat modulator BPSK ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar. 8. Skematik modulator BPSK

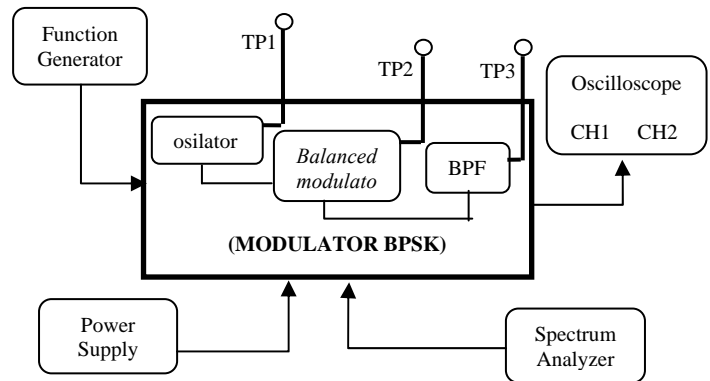


Gambar. 9. Realisasi modulator BPSK

Perangkat modulator yang telah direalisasikan memiliki dimensi 5 cm x 3,7 cm dengan massa 15 gram.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian dan pengukuran alat dilakukan untuk melihat sinyal keluaran baik pada domain waktu maupun domain frekuensi dari perangkat modulator BPSK. Blok diagram pengujian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 10.

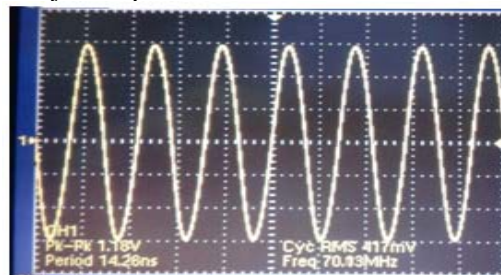


Gambar. 10. Blok diagram pengujian modulator BPSK

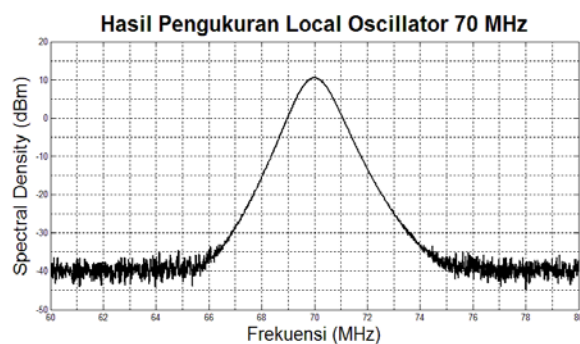
Test point 1 (TP1) digunakan untuk pengujian tahap osilator, TP2 digunakan untuk pengujian pada tahap *balanced modulato* dan TP3 digunakan untuk pengujian pada tahap BPF yang berarti pada TP3 merupakan *output* dari perangkat modulator BPSK. Untuk melihat hasil dari setiap *output* pada *test point* tersebut digunakan osiloskop untuk mengamati bentuk sinyal dalam domain waktu dan *spektrum analyzer* yang digunakan untuk mengamati sinyal dalam domain frekuensi.

A. Pengujian dan Pengukuran pada Tahap Osilator

Untuk pengujian osilator ini, pin 8 (*output*) S15R8 dihubungkan ke *oscilloscope* dan *spektrum analyzer* secara bergantian. Osilator ini di *supply* dengan tegangan 5V yang dihubungkan pada pin 14 sedangkan *ground* dihubungkan dengan pin 7. Hasil yang diperoleh dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12.



Gambar. 11. Hasil pengujian osilator pada domain waktu



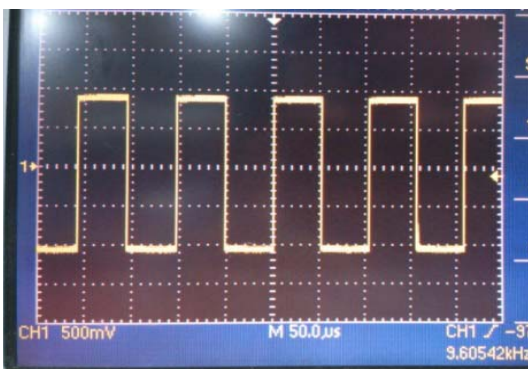
Gambar. 12. Hasil pengukuran *local oscillator* 70 MHz

Dari data hasil pengujian, pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa sinyal *output* osilator dalam domain waktu adalah sinyal sinus dengan $V=1.18$ Vp-p dan $T=14.28$ ns. Jika

dihitung secara teori, $T = \frac{1}{70 \text{ MHz}} = 14.28 \text{ ns}$. Nilai T (perioda) sinyal sinus yang dihasilkan pada pengujian sama dengan nilai yang dihitung secara teori. Sinyal sinus yang dihasilkan juga mempunyai amplitudo dan bentuk sinus yang stabil. Dari pengujian osilator pada domain frekuensi dapat dilihat bahwa frekuensi tengah osilator tersebut adalah 70 MHz dan memiliki *spectral density* +10.4 dBm. Dari pengujian pada domain waktu, maka osilator ini memenuhi kriteria karena memiliki sinus yang stabil. Dari pengujian pada domain frekuensi, osilator juga memenuhi kriteria yang diinginkan karena memiliki frekuensi kerja 70 MHz. Dari kedua pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa osilator ini memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai pembangkit *carrier*.

B. Pengujian dan Pengukuran pada Tahap Balanced Modulator

Pengujian dan pengukuran modulator BPSK dilakukan dengan menginputkan sinyal masukan dari *signal generator* (mode sinyal digital). Input ini harus memenuhi kriteria dari input yang dibutuhkan untuk membangkitkan sinyal data yang mempunyai laju bit 19200 bps. Jika dihitung secara teori maka T_b input adalah $\frac{1}{R_b} = \frac{1}{19200} = 52.08 \mu\text{s}$. Maka untuk memenuhi kriteria tersebut frekuensi input adalah 9600 Hz, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Perangkat diberikan *supply* tegangan -5V dan +5V pada pin 3 dan pin 6 IC AD835.



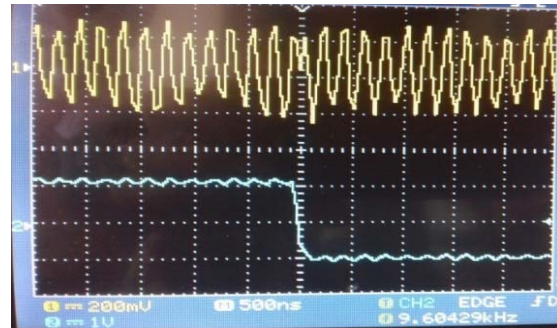
Gambar. 13. Sinyal masukan *balanced modulator*

Pada Gambar 12 dapat dilihat, sinyal input tersebut memiliki $T_b = 52 \mu\text{s}$ dan amplitudo 2.04 Vp-p. Dari hasil pengujian tersebut, input ini telah memenuhi kriteria yang diinginkan.

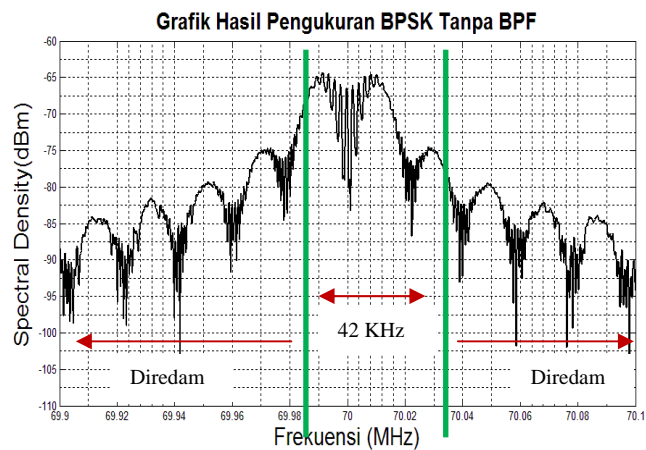
Setelah kedua *input* telah memenuhi kriteria yang diinginkan baik sebagai *carrier* maupun data *input*, maka kedua sinyal tersebut dikalikan pada *balanced modulator*. Hasil pengujian yang diperoleh baik pada domain waktu dan domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15.

Dari data yang diperoleh dari pengujian, dapat dilihat pada Gambar 14 bahwa *output* dari *balanced modulator* adalah sinyal termodulasi BPSK (lihat CH1). Sinyal *input* dari *signal generator* adalah NRZ dengan $f = 9604 \text{ Hz}$ dan $V = 2.04 \text{ Vp-p}$, sinyal ini dapat dilihat pada CH2 *oscilloscope* (sinyal yang berwarna biru). Sedangkan sinyal termodulasi BPSK dapat dilihat pada CH1 *oscilloscope*. Sinyal termodulasi BPSK memiliki level tegangan, $V = 200 \text{ mV} \times 2.4 \text{ div} = 480\text{mVp-p}$ dan $T = 14.28\text{ns}$. Sinyal termodulasi BPSK ini diamati pada T

= 500ns agar dapat memperlihatkan perubahan fasa sinyal pada saat terjadi transisi *input* dari *logic* 1 ke 0 dan perubahan fasa tersebut berbeda sebesar 180° .



Gambar. 14. Hasil pengujian *balanced modulator* pada domain waktu



Gambar. 15. Grafik hasil pengukuran BPSK tanpa BPF

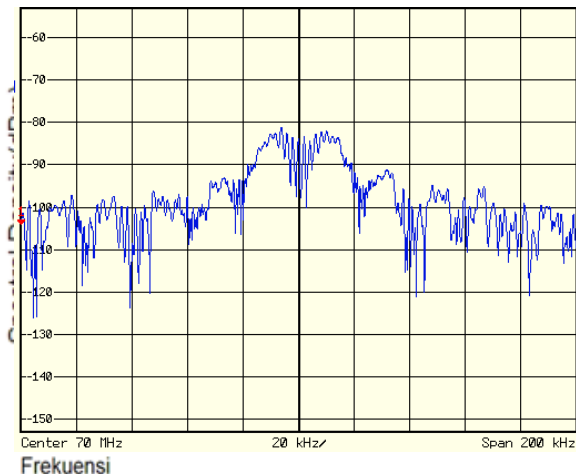
Pada Gambar 12 yaitu pengujian *balanced modulator* pada domain frekuensi, dapat dilihat bahwa sinyal termodulasi BPSK menghasilkan dua *main lobe* dengan *carrier* yang ditekan (*suppressed carrier*). Frekuensi tengah dari sinyal termodulasi BPSK tersebut berada pada frekuensi 70 MHz yang merupakan frekuensi IF modulator. Kerapatan daya pada sinyal termodulasi BPSK tersebut adalah sebesar -64,85 dBm. *Bandwidth* sinyal termodulasi tersebut dapat diukur dengan menghitung selisih frekuensi *main lobe* tersebut. Frekuensi dari sisi-sisi *main lobe* (*null-to-null bandwidth*) tersebut adalah

$$\begin{aligned} BW &= 70.021 \text{ MHz} - 69.979 \text{ MHz} \\ &= 0.042 \text{ MHz} \\ &= 42 \text{ KHz} \end{aligned}$$

Bandwidth yang diperoleh masih memenuhi nilai *bandwidth* yang diinginkan karena jika dihitung secara teori *bandwidth* yang dibutuhkan untuk laju transmisi input sebesar 19200 bps adalah 38,4 KHz ($BW = 2f_b = 2 \times 19200$). Dari pengujian *balanced modulator* yang diamati pada domain waktu dan frekuensi dapat disimpulkan bahwa *balanced modulator* telah sesuai kriteria. Pada tahap ini sebenarnya sinyal termodulasi BPSK telah dihasilkan yang berarti bisa dikatakan sudah tercipta modulator BPSK. Tetapi untuk mengurangi gangguan (*noise*) dari *sidelobe* yang dihasilkan maka digunakan *band pass filter*.

C. Pengujian dan Pengukuran Band Pass Filter

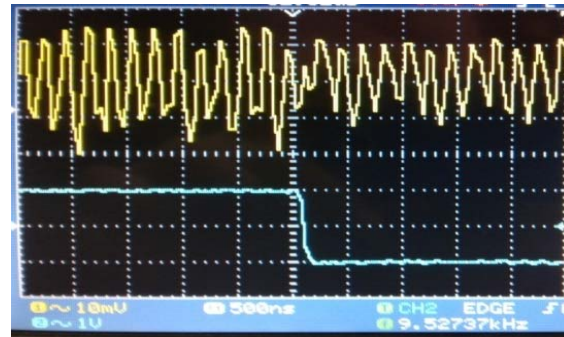
Pengujian dan pengukuran *band pass filter* dilakukan dengan menghubungkan *output* IC AD835 (*balanced modulator*) sebagai *input* BPF dan menghubungkan *output* BPF ke *spectrum analyzer*. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar. 15. Spektrum Sinyal termodulasi BPSK setelah melewati BPF

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa *bandwidth main lobe* tetap 40 KHz dan frekuensi tengah sinyal termodulasi juga tetap pada 70 MHz. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa sebagian besar *side lobe* dari sinyal termodulasi BPSK tersebut sudah difilter meskipun masih ada *side lobe* yang berada di sisi *main lobe*. Hal ini berarti masih ada frekuensi yang tidak terfilter dari BPF yang telah dirancang. Meskipun demikian BPF yang dirancang telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan karena telah mampu memfilter sebagian besar frekuensi dari *side lobe* dari sinyal termodulasi tersebut. Salah satu cara yang mungkin untuk meningkatkan kinerja dari filter yang dirancang adalah dengan meningkatkan orde filter tersebut. Dari gambar spektrum sinyal termodulasi BPSK setelah melewati BPF juga dapat dilihat bahwa terjadi penurunan *spectral density*. Penurunan *spectral density* adalah sebesar ± 17.15 dBm yaitu dari -64,85 dBm ke -82 dBm. Penurunan amplitudo juga terjadi pada sinyal termodulasi BPSK setelah melewati BPF, gambar sinyal termodulasi BPSK setelah melewati BPF dapat dilihat pada Gambar 16. Sinyal termodulasi tersebut setelah melewati BPF memiliki amplitudo 38mVp-p. Penurunan ini diakibatkan filter yang digunakan, karena filter tidak saja meredam frekuensi yang tidak diinginkan tetapi juga menurunkan amplitudo tegangan dari sinyal termodulasi tersebut.

Sinyal output dari BPF tetap mengalami perubahan fasa pada saat transisi *logic* 1 ke 0 sehingga sinyal keluaran dari BPF masih memenuhi syarat sebagai sinyal termodulasi BPSK. Karena dengan *output* tersebut yang digunakan sebagai



Gambar. 16. Sinyal termodulasi BPSK setelah melewati BPF dalam domain waktu

input pada demodulator BPSK, sinyal data (informasi awal) dapat diperoleh kembali. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan mengintegrasikan modulator BPSK dengan demodulator BPSK. Integrasi dan hasilnya dapat dilihat pada Tugas Akhir untuk perancangan demodulator BPSK[2].

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada perangkat modulator BPSK yang telah dirancang maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa perangkat modulator BPSK mampu bekerja dengan laju transmisi 19200 baud pada frekuensi 70 MHz dengan *power spectral* -82.05 dBm dan *bandwidth* sebesar 40 KHz serta dimensi dari modulator yang telah dibuat yaitu 5 cm x 3.7 cm telah memenuhi syarat untuk digunakan sebagai modulator BPSK pada *payload* satelit ITS-Sat.

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] Bilten, Tobitak, “Comparison of Advanced Modulation Schemes for LEO Satellite”, Proc. of International Conference on Recent Advances in Space Technologies, Turkey, November, 2003.
- [2] Aprilya, Atika., “ Rancang Bangun Demodulator BPSK untuk Komunikasi Citra pada Ground Station”, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2013.
- [3] Popescu, S.O, Gontean, A.S., “ Performance comparison of the BPSK and QPSK Modulation Techniques on FPGA”, Proc. International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, Timisoara, Oktober, 2011.
- [4] Dondon, Philippe, dkk., “Design of a low cost BPSK modulator/demodulator for a practical teaching of digital modulation techniques”, Einseirb, Paris, 2008.
- [5] Wijayanti, Riska Cahya., “Analisis Efek Doppler Pada Sistem Komunikasi Satelit Nano IiNUSAT”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2011.
- [6] The Connor-Wienfield Corp, “5.0V HCMOS/TTL Compatible 14 Pin Dip Crystal Clock Oscillator”, 2001.
- [7] Analog Devices, “250 MHz, Voltage Output, 4-Quadrant Multiplier”, 2010.