

Sub-Sistem Pemancar Pada Sistem Pengukuran Kanal HF Pada Lintasan Merauke-Surabaya

Nisa Rachmadina, Gamantyo Hendratoro, dan Prasetyono Hari Mukti.
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: gamantyo@ee.its.ac.id, prasetyono@elect-eng.its.ac.id

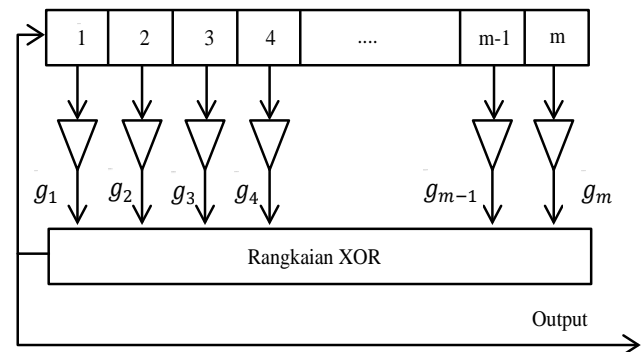
Abstrak—Keuntungan dari komunikasi Radio HF adalah kemampuannya untuk mengirimkan sinyal pada jarak yang sangat jauh dengan memanfaatkan pantulan pada lapisan ionosfer. Pada daerah ekuator seperti Indonesia, terdapat fenomena yang disebut *Equatorial Spread F* (ESF). Fenomena ini dapat menimbulkan efek *delay spread* dan *time variation* yang besar. Penelitian ini mengacu pada sistem pengukuran respon kanal HF pada lintasan Merauke dan Surabaya dengan jarak sekitar 3036 km. Subsistem pemancar diuji pada frekuensi 9, 11, dan 27 MHz dengan membangkitkan sinyal dalam bentuk *pseudo-random binary sequence* (PRBS). Kemudian sinyal tersebut dimodulasi menggunakan *modulator* BPSK. Sistem pemancar diintegrasikan dengan perangkat *Universal Software Radio Peripherals* (USRP) N210 dan LabVIEW sebagai perangkat lunaknya. Sinyal dikuatkan dengan *amplifier* lalu dikirimkan menggunakan antena HF dipole $\frac{1}{2} \lambda$. Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa autokorelasi dari sinyal PRBS menghasilkan satu nilai puncak 1 dan lainnya bernilai minimum $-1/31$. Hal itu menunjukkan dalam satu periode, bit PRBS yang dikirimkan berjumlah 31 bit. Sinyal yang dikirimkan berbentuk seperti modulasi *double-sideband full carrier* (DSBFC) dan mengalami perubahan fasa 180° . Daya pancar maksimum yang terukur adalah 21 dBm. Nilai daya pancar tersebut berbeda dengan perhitungan link budget yang membutuhkan daya pancar sebesar 43.45 dBm. Hal itu dikarenakan dalam pengujian sistem hanya menggunakan *amplifier* dengan spesifikasi daya keluaran rata-rata 30 dBm atau 1 Watt. Oleh karena itu, dalam sistem pengukuran kanal HF dibutuhkan *amplifier* tambahan untuk meningkatkan sinyal yang dikirimkan di sistem pemancar.

Kata Kunci—Komunikasi HF, PRBS, Sistem Pemancar, USRP.

I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi *High Frequency* (HF) memiliki kelebihan dalam propagasi yaitu dapat menjangkau jarak lintasan yang jauh dengan memanfaatkan lapisan ionosfer. Hal itu berguna untuk komunikasi pada daerah-daerah terpencil yang terdapat banyak penghalang sehingga menghalangi pengguna infrastruktur jaringan, relay, atau satelit. Jika dibandingkan dengan komunikasi satelit, sistem komunikasi HF lebih mudah diimplementasikan serta menggunakan peralatan yang relatif murah. Namun dalam sistem komunikasi radio HF sangat dipengaruhi oleh bertambahnya lebar kanal dan *radio frequency*.

Pada daerah ekuator, terdapat fenomena yang disebut *Equatorial Spread F* (ESF). Fenomena ini menimbulkan efek *delay spread* dan *time variation* yang besar. Analisis karakteristik respon kanal impuls pada komunikasi HF di daerah ekuator masih sedikit, termasuk mengenai pengaruh



Gambar. 1. Gambar 4 PRBS Generator Secara Umum [3]

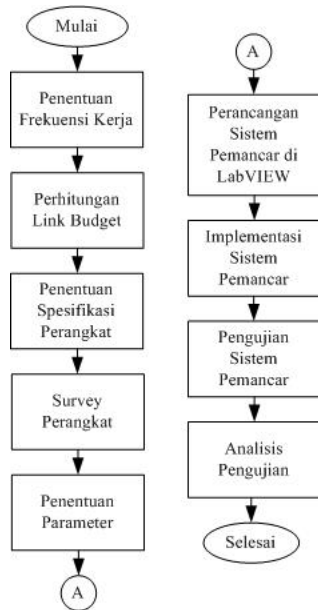
gangguan ESF pada kanal [1]. Oleh karena itu, perlu menganalisis model statistik dan karakteristik dari kanal HF sebelum merancang sistem komunikasi HF yang tepat untuk digunakan dalam daerah ekuator. Sistem pemancar ini merupakan subsistem dari sistem pengukuran respon kanal HF pada lintasan Merauke-Surabaya.

II. PEMBENTUKAN SINYAL PADA SISTEM PEMANCAR

A. PRBS Generator

Sinyal PRBS atau disebut juga *Pseudonoise* (PN) *Sequence* merupakan sinyal deterministik yang memiliki sifat acak, karena bentuknya seperti sinyal noise yang *random*. PRBS generator terdiri dari tiga komponen dasar, yaitu *m-stage shift register* yang biasa dikenal dengan *m-sequence*, rangkaian XOR, serta vektor yang mendefinisikan menghubungkan antara *shift register* dan rangkaian XOR. Besaran vektor menunjukkan karakteristik kinerja dari pembangkit PRBS yang dinamakan besaran *polynomial*.

PRBS generator membutuhkan parameter *initial states* yang merupakan sebuah vektor untuk menentukan nilai awal *register*. Rangkaian *feedback* dari rangkaian XOR ke input *register* juga digunakan dalam rangkaian PRBS generator sehingga *bit sequence* dibangkitkan dengan menggunakan *Linear Feedback Shift Registers* (LFSR) [3]. Rangkaian PRBS secara umum dapat ditunjukkan pada gambar 1. Jika $g_i = 1$, terdapat koneksi antara *shift register* ke-*i* dan rangkaian XOR. Sedangkan jika $g_i = 0$ menandakan bahwa tidak ada koneksi antar keduanya. Hal yang perlu diperhatikan adalah nilai g_0 dan g_m sama dengan 1.



Gambar. 2. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

B. Modulasi BPSK

Modulasi PSK merupakan salah satu jenis modulasi digital yang mengirimkan data dengan memanfaatkan perubahan fasa pada sinyal pembawa. Dalam proses modulasi ini, fase dari frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan status sinyal informasi digital. Sudut fase sangat berpengaruh untuk stabilitas frekuensi pada penerima. Untuk *binary PSK* (BPSK) memiliki $M=2$ sehingga terdapat dua perubahan fasa sinyal analog yang berbeda, yaitu 0 dan π . Modulasi BPSK menyatakan satu bit sama dengan satu simbol. Hal itu berarti kecepatan setiap bit (*bitrate*) sama dengan kecepatan data simbol modulasi (*baudrate*).

III. PERANCANGAN SISTEM PEMANCAR

A. Diagram Blok Sistem Pemancar

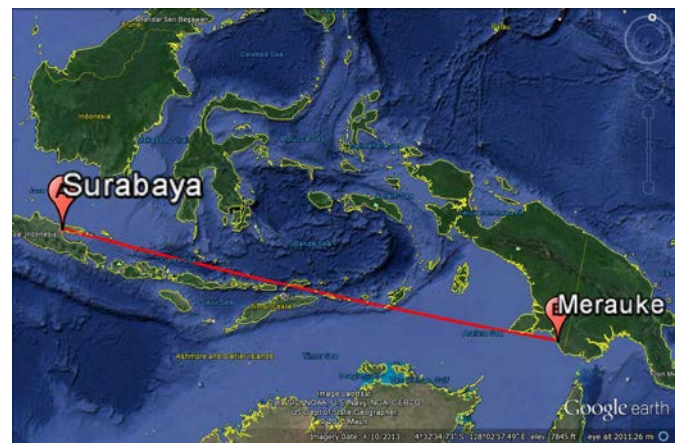
Tahap awal dari sistem adalah penentuan frekuensi kerja dan perhitungan link budget. Dari perhitungan link budget diperoleh besarnya daya pancar yang dibutuhkan, sehingga dapat menentukan spesifikasi perangkat pemancar yang digunakan. Setelah itu, implementasi sistem pemancar antara perancangan sistem pemancar pada *software* LabVIEW yang dibuat sebelumnya dengan perangkat yang digunakan. Kemudian sinyal dibangkitkan dan dianalisis autokorelasinya. Gambar diagram alir pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada gambar 2.

B. Penentuan Parameter Sistem

Penentuan parameter-parameter berikut mengacu pada pengukuran respon kanal HF lintasan Merauke-Surabaya.

1) Penentuan Frekuensi Kerja

Lapisan ionosfer sebagai pemantul sinyal, terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan D, E, dan F. Masing-masing lapisan memiliki pengaruh bagi komunikasi radio HF. Secara umum frekuensi pada gelombang radio HF akan meningkat di siang hari dan akan turun pada malam hari. Hal ini disebabkan karena pengaruh radiasi matahari yang memproduksi elektron di lapisan ionosfer meningkat saat siang hari [4].



Gambar. 3. Peta Lokasi Komunikasi HF

Berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika No.29 Tahun 2009 dan *Radio and Space Services Australia Government* [5], perkiraan band frekuensi pada waktu pengukuran ini adalah 9, 11, dan 27 MHz. Pemilihan band frekuensi yang digunakan dalam proses pengukuran kanal HF adalah band frekuensi yang bebas dan dapat digunakan oleh siapapun. Frekuensi bebas yang dimaksud adalah frekuensi yang tidak digunakan oleh lembaga penerbangan atau siaran radio. Jadi diharapkan nilai daya yang terukur pada penerima berasal dari pemancar pasangannya saja, bukan dari pemancar lain. Hal ini dilakukan untuk mengurangi atau bahkan meniadakan pengaruh interferensi pada sistem pengukuran.

2) Perhitungan Link Budget

Link budget dimaksudkan untuk dapat menghitung atau merencanakan daya pancar yang dibutuhkan, P_T sehingga kualitas sinyal di penerima memenuhi standar yang digunakan. Jika P_R adalah daya penerima (dBm), A_T adalah redaman lintasan propagasi (dB), serta G_T , G_R , L_T , dan L_R adalah gain dan loss pada sistem pemancar dan penerima (dB), maka daya pancar yang dibutuhkan, P_T dapat ditulis dengan persamaan:

$$P_T = P_R - G_R + L_R + A_T - G_T + L_T + L_f \tag{1}$$

Redaman lintasan propagasi untuk lintasan HF dipengaruhi oleh beberapa redaman, yaitu redaman *absorption*, *free space*, *ground reflection*, *polarisasi*, dan *sporadic E*.

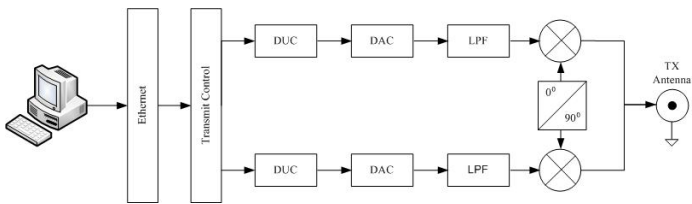
Redaman *absorption*, L_a terjadi adanya penyerapan daya di lapisan E sehingga daya tidak dapat diteruskan ke lapisan F. Rugi ini dapat dihitung dengan persamaan linier [7]:

$$L_a = 1/f^2 \tag{2}$$

Dimana f merupakan nilai dari frekuensi kerja dalam MHz yang digunakan dalam sistem komunikasi. Perhitungan redaman *absorption* diperoleh sebesar 20.83 dB dengan asumsi mengalami satu kali pantulan di lapisan ionosfer.

Propagasi ruang bebas (*free space*), L_{FSL} terjadi ketika sinyal yang dipancarkan langsung diterima oleh antena penerima sehingga tidak ada rugi yang disebabkan oleh *obstacle*. Berikut persamaan dari redaman *free space* [7].

$$L_{FSL} = 32.4 + 20 \log d + 20 \log f \tag{3}$$



Gambar 4. Diagram Blok USRP N210 dengan *Daughterboard LFTX* Dimana d merupakan jarak antara pemancar dan penerima (km) yaitu 3036 km dan f adalah frekuensi kerja (MHz). Redaman yang diperoleh dari persamaan (3) adalah 123 dB.

Redaman *ground reflection*, L_g dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dan dielektrik dari pantulan gelombang di permukaan bumi. Biasanya untuk pantulan di permukaan air laut, jauh lebih kecil dibanding permukaan bumi yang kering (sekitar 0 dan 3 dB).

Redaman polarisasi, L_p terjadi karena adanya perbedaan polarisasi antara gelombang yang diterima dengan antenna penerima. Sedangkan pada redaman *sporadic E*, L_q dipengaruhi oleh nilai *critical frequency* di lapisan E sporadik [7]. Total redaman pada lintasan komunikasi HF dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$A_T = L_a + L_{FSL} + L_g + L_p + L_q \quad (4)$$

Dari perhitungan, total redaman lintasan komunikasi HF Merauke-Surabaya diperoleh sebesar 148.83 dB.

C. Implementasi Sistem Pemancar

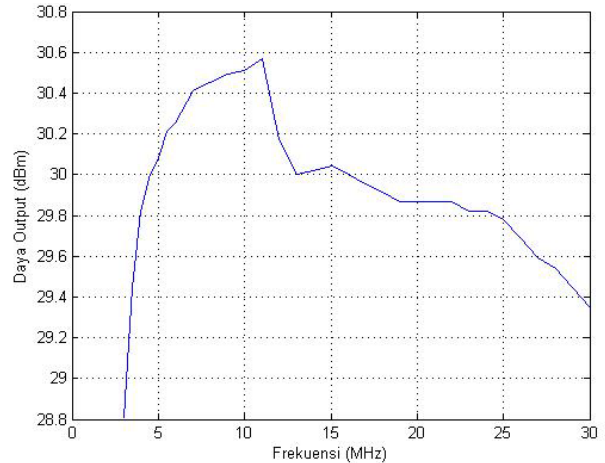
Perangkat yang digunakan pada sistem pemancar terdiri dari perangkat *Software Defined Radio* (SDR), *amplifier*, dan antenna.

1) *Universal Software Radio Peripheral* (USRP)

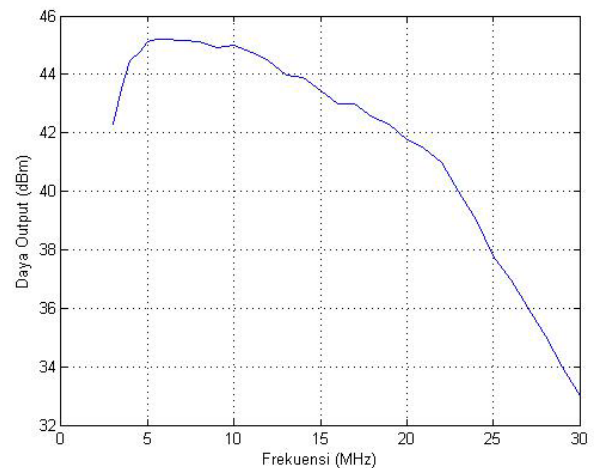
USRP merupakan salah satu jenis perangkat SDR. Pada penelitian ini menggunakan jenis USRP dari *Ettus Research* dengan model N210. Dalam penerapannya, USRP N210 menggunakan ADC/DAC, *RF Front-End* dikenal dengan *daughterboard* yang dapat sebagai penerima ataupun pemancar, *chip* FPGA yang melakukan beberapa proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi, serta koneksi antara *host* PC menggunakan kabel Gigabit *Ethernet*. Semua blok sistem kecuali *daughterboard* terdapat dalam *main board* yang disebut *motherboard*. *Daughterboard* yang digunakan ialah model LFTX dan LFRX karena menggunakan frekuensi kerja 0-30 MHz. Sinyal analog yang dihasilkan terbatas hanya 3 dBm dikarenakan tidak adanya proses amplifikasi pada *daughterboard* ini. USRP N210 dapat diintegrasikan menggunakan *software GNU Radio, LabView*, atau *Simulink Matlab*, tetapi dalam penelitian ini menggunakan *software LabView*. Blok diagram USRP N210 dapat dilihat pada Gambar 4.

Konfigurasi hubungan antara perangkat USRP N210 dengan PC menggunakan *Internet Protocol* (IP) jaringan *point to point*. IP *default* jaringan *point to point* adalah 192.168.10.0/24 dan pada USRP menggunakan IP *default* 192.168.10.2, sehingga pada PC dapat menggunakan IP *address* yang sesuai dengan *subnet mask* yang sama atau satu jaringan.

2) *Amplifier*



Gambar 5. Karakteristik *Amplifier* dengan menggunakan IC MHW591



Gambar 6. Karakteristik *Amplifier* dengan menggunakan IC MRF421

Amplifier dibutuhkan karena daya pancar yang dikeluarkan oleh USRP sangat kecil, yaitu 3 dBm, sehingga tidak memungkinkan sinyal dapat diterima oleh sistem penerima dengan jarak lebih dari 5 meter. Berdasarkan dari perhitungan link budget, daya pancar yang dibutuhkan untuk mengirimkan sinyal sebesar 43.45 dBm. Oleh karena itu, *amplifier* yang digunakan memiliki gain hingga 40 dB.

Penelitian ini menggunakan *amplifier* berbentuk IC dan rangkaian penguat keluaran motorola. IC yang digunakan adalah MHW591 yang memiliki gain 36 dB, sedangkan sedangkan rangkaian penguat transistor MRF421 memiliki daya output hingga 30 watt. Gambar 5 dan 6 menunjukkan karakteristik daya output terhadap frekuensi kerja dari kedua *amplifier*.

3) *Antena Dipole 1/2 λ*

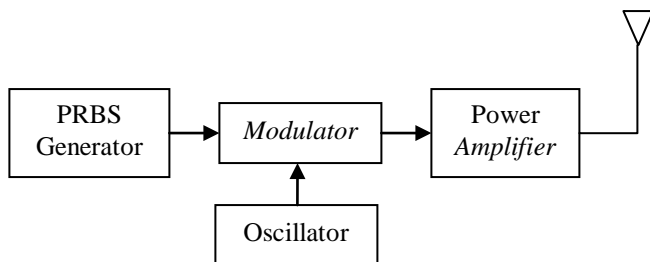


Gambar 7. Balun Antena ICOM MN-100

Antena berfungsi menerima gelombang listrik dari pemancar dan memancarkannya sebagai gelombang radio. Selain itu berfungsi pula menangkap gelombang radio dan meneruskannya sebagai gelombang listrik ke penerima [6]. Dalam komunikasi radio HF, jenis antena yang paling umum digunakan adalah antena *dipole* setengah panjang gelombang ($\frac{1}{2} \lambda$). Antena yang digunakan pada penelitian ini adalah antena ICOM tipe MN-100. Antena ini bekerja pada frekuensi HF yaitu 3-30 MHz. *Input impedance* dari antena ini 50 Ω sehingga kabel yang digunakan harus memiliki karakteristik 50 Ω pula. VSWR dari antena ini tidak lebih dari 2.

IV. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS

Pada bab ini, dibahas mengenai skenario pengujian, pengujian sistem pemancar, dan hasil pengujian berupa keluaran sinyal, yang dibangkitkan serta analisisnya. Pengujian sistem pemancar dilihat dari keluaran masing-masing blok pada diagram blok sistem pemancar yang ditunjukkan pada gambar 8.



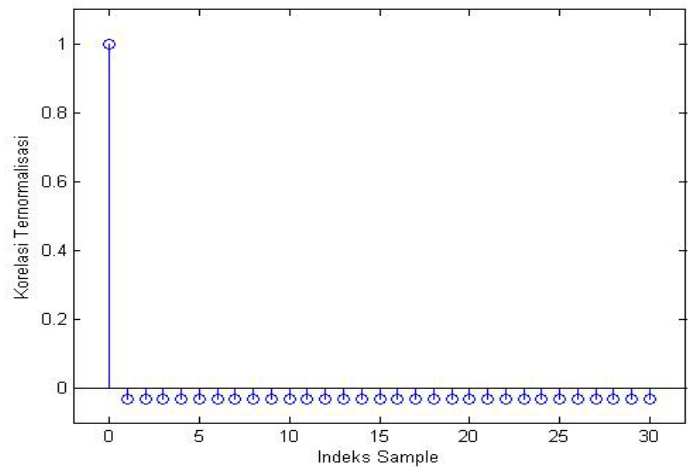
Gambar 8. Diagram Blok Sistem Pemancar

Pengujian sistem dilakukan di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan jarak antar pemancar dan penerima sejauh 25.2 meter dan 56 meter. Pengujian berlangsung selama 10 detik untuk pengambilan data di sistem penerima. Setelah data diambil, sistem pemancar berhenti bekerja dan mulai kembali jika parameter pengujian telah diubah. Pada sistem pemancar, data yang diambil berupa sinyal PRBS yang dikirimkan sedangkan pada sistem penerima data yang diambil berupa sinyal *inphase* dan *quadrature* keluaran demodulator sebelum masuk ke dalam detektor. Pengujian sistem ini menggunakan frekuensi kerja 9, 11, dan 27 MHz.

Parameter pada sistem pengukuran, di sisi pemancar menggunakan modulasi BPSK (2-ary PSK), sedangkan di sisi penerima menggunakan modulasi QPSK (4-ary PSK). Hal itu dikarenakan adanya *time delay* yang menyebabkan perubahan fasa pada penerima. Selain itu dalam pengukuran ini tidak



Gambar 9. Integrasi Sistem Pemancar



Gambar 10. Fungsi Autokorelasi dari bit PRBS

menggunakan *pulse shaping* untuk mengatasi *Intersymbol Interferensi (ISI)*.

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa bagian yang digunakan untuk membangun sistem pemancar komunikasi HF. Bagian-bagian tersebut meliputi PRBS generator, modulasi BPSK serta amplifier. Gambar 9 menunjukkan USRP yang dikontrol oleh sebuah laptop untuk menjalankan proses pembangkitan sinyal PRBS dan modulasi BPSK. Sinyal keluaran USRP kemudian dikuatkan dengan menggunakan amplifier.

1) PRBS Generator

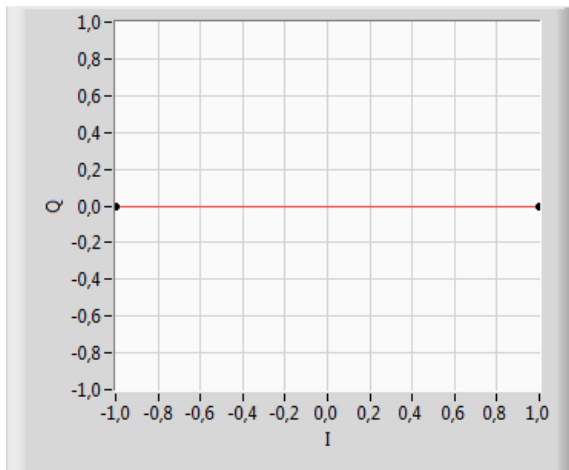
Pengujian sinyal PRBS juga mengacu dari sistem pengukuran respon kanal HF. PRBS generator membangkitkan bit-bit dengan panjang m-sequence 5. Hal itu dimaksudkan agar dalam sistem pengukuran dapat dianalisis banyaknya jumlah sequence yang diterima oleh penerima. Dengan bit polynomial [1 0 0 0 1 1], initial states [0 1 0 0 1], dan bit-bit PRBS dikodekan menjadi sinyal bipolar [-1 1], maka bit yang dibangkitkan dalam satu deretan:

0000101011101100011111001101001

Dalam deretan bit tersebut, terdapat bit “0” sebanyak 15 dan bit “1” sebanyak 16. Hal itu membuktikan bahwa jumlah bit PRBS yang dibangkitkan sebanyak 31 bit. Selain itu, sinyal PRBS memiliki sifat *one zero balance*, yaitu perbedaan jumlah bit 0 dan 1 hanya satu. Deretan bit tersebut akan dikirimkan dengan bitrate 500 kbps. Penggunaan parameter bitrate tersebut diperoleh dari [2] untuk pengukuran wideband HF.

Tabel 1.
Symbol Map BPSK

Bit	Symbol Map
0	1,000 +0,000 i
1	-1,000 +0,000 i



Gambar 11. Diagram Konstelasi Modulasi BPSK

Gambar 10 menunjukkan sinyal PRBS yang telah mengalami autokorelasi untuk menentukan sinyal yang dikirimkan adalah sinyal PRBS asli atau bukan. Pada $\tau = 0$, nilai autokorelasi bernilai 1, yang menandakan kedua urutan bit PRBS adalah sama. Pada $\tau = 1$, proses autokorelasi bernilai $-1/L$ yaitu $-1/31$. Begitupula pada $\tau = 2$ hingga $\tau = L-1$. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan korelasi sinyal PRBS memiliki nilai maksimum 1 dan nilai minimum $-1/L$. Nilai τ merupakan periode normal dari *chip* yang digunakan pada PRBS generator. Dari proses autokorelasi sinyal PRBS tersebut dapat diketahui pula bahwa bit yang dibangkitkan merupakan bit PRBS asli karena jumlah nilai maksimumnya hanya satu dan hasil korelasinya berjumlah 31, yang menunjukkan *m-sequence* bernilai 5.

Proses autokorelasi dapat terealisasi dengan menggunakan fungsi *Fast Fourier Transform* (FFT) berikut ini:

$$F_R(f) = FFT[X(t)] \tag{5}$$

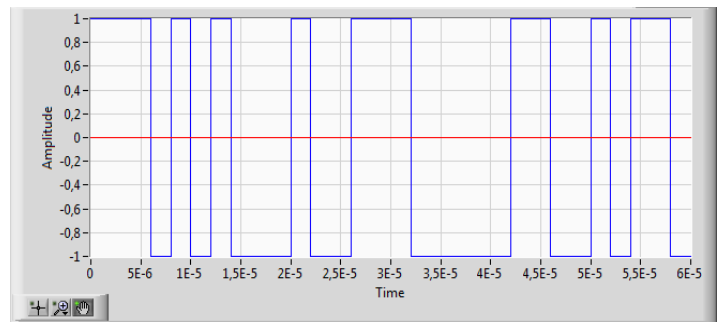
$$S(f) = F_R(f) F_R^*(f) \tag{6}$$

$$R(\tau) = IFFT[S(f)] \tag{7}$$

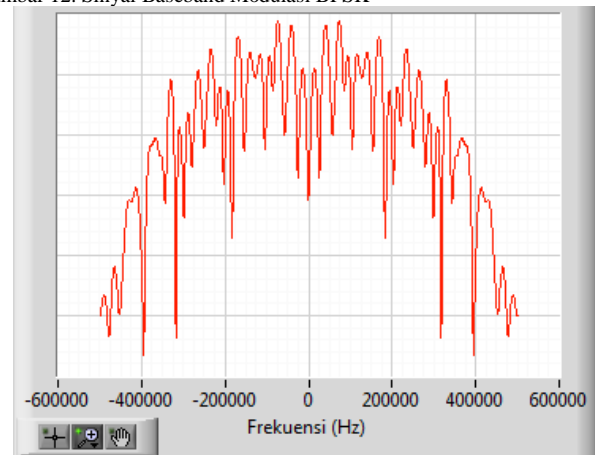
2) Hasil Sinyal Modulasi BPSK

Identitas dari modulasi BPSK yaitu dalam satu simbol terdapat satu bit PRBS yang dikodekan. Dalam diagram konstelasi pada Gambar 11 terlihat bahwa terdapat 2 simbol dalam modulasi BPSK. Simbol -1 mengidentifikasi bahwa bit yang dikodekan adalah bit 1, dan simbol 1 adalah bit 0. Bilangan real (*inphase*) selalu bernilai 0, sedangkan bilangan imajiner (*quadrature*) bervariasi antara -1 atau 1. *Inphase* dan *quadrature* memiliki perbedaan fasa sebesar 180° .

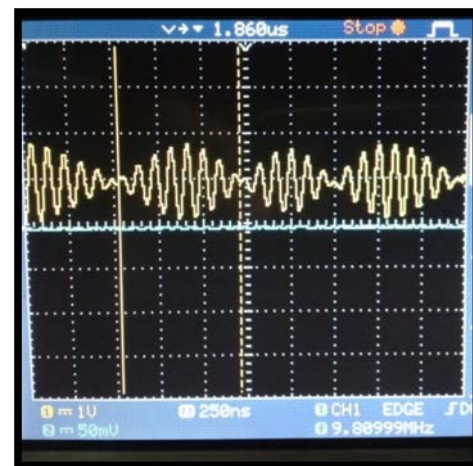
Gambar 12 terdapat dua garis kurva, yaitu garis biru yang menunjukkan nilai *quadrature* dan garis merah yang menunjukkan nilai *inphase*. Bit "0" disimbolkan dengan amplitudo 1 dan bit "1" disimbolkan dengan amplitudo -1. Sinyal tersebut merupakan sinyal *baseband* yang akan ditumpangkan ke dalam sinyal pembawa. Sinyal PRBS tadi



Gambar 12. Sinyal Baseband Modulasi BPSK



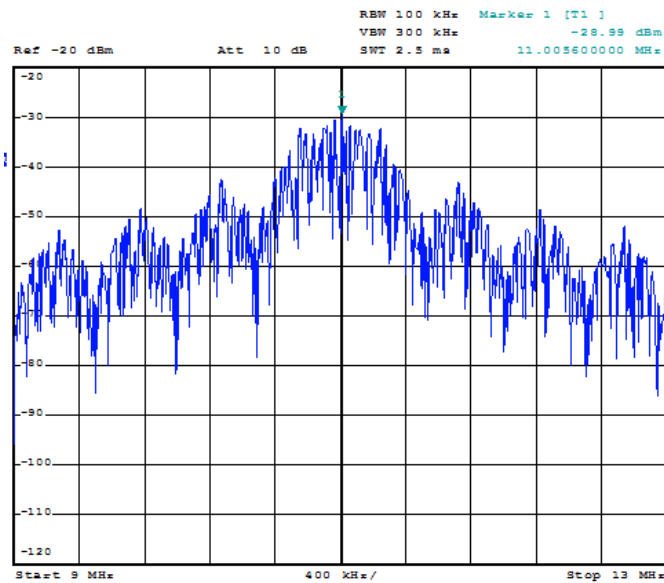
Gambar 13. Bentuk Sinyal FFT Baseband



Gambar 14. Sinyal Keluaran USRP diukur dengan Osiloskop

dicuplik dua kali sinyal informasi berdasarkan teorema Nyquist, sehingga dalam satu periode *sequence* terdapat 2×31 *sample* yaitu 62 *sample*. Bentuk FFT dari sinyal *baseband* tersebut ditunjukkan pada Gambar 13. Sinyal PRBS dikirimkan dengan kecepatan bit 500 Kbps, sehingga bandwidth menjadi 1 Mbps.

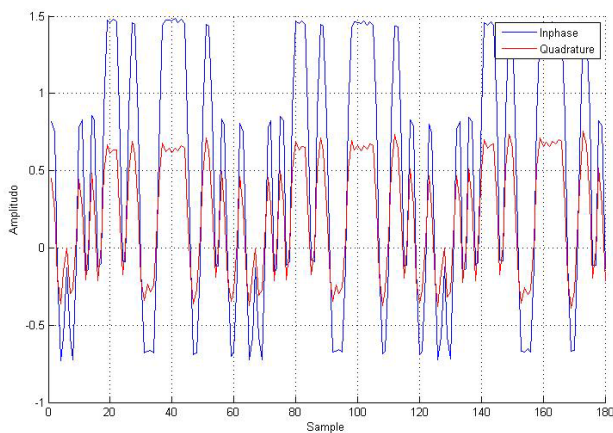
Dalam USRP terdapat *Local Oscillator* (LO) yang berfungsi membangkitkan sinyal pembawa dengan besar frekuensi pembawa sama dengan frekuensi kerja komunikasi HF. Gambar 14 menunjukkan sinyal informasi yang telah ditumpangkan ke sinyal pembawa. Hasil yang diperoleh merupakan modulasi *double-sideband full carrier* (DSBFC). Sinyal pembawa dan sinyal informasi yang berada di



Gambar 15. Bentuk Spektrum Sinyal Keluaran USRP dengan Amplifier IC MHW591 pada frekuensi 11 MHz

Tabel 2.
Daya Pancar untuk Frekuensi 9, 11, dan 27 MHz

Frekuensi (MHz)	Daya terukur (dBm)	Daya pancar (dBm)
9	-31	18
11	-28	21
27	-34	15



Gambar 16. Sinyal Inphase dan Quadrature yang diterima

dalamnya. Sinyal informasi tersebut telah mengalami perubahan fasa ditandai 180^0 dengan tanda panah.

Pada Gambar 15 mengilustrasikan bentuk spektrum dari sinyal keluaran perangkat USRP setelah dikuatkan dengan amplifier IC MHW591 yang diukur menggunakan spectrum analyzer. Dari gambar tersebut diperoleh informasi bahwa daya yang dikeluarkan sebesar 21 dBm, frekuensi kerja 11 MHz, dan bandwidth informasi 1 MHz.

Berikut tabel hasil pengukuran sinyal keluaran USRP dengan amplifier IC MHW591 menggunakan spektrum analyzer. Daya yang tercatat pada spectrum analyzer berbeda-beda setiap frekuensinya. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik dari amplifier yang digunakan. Daya pancar maksimum sebesar 21 dBm.

Hasil pengujian pada penerima diambil dari detik ke 0 sampai detik ke 10. Dari hasil pengujian didapatkan nilai *inphase* dan *quadrature* sebanyak 666114 *sample*. Gambar 16 menunjukkan grafik sinyal *inphase* maupun *quadrature* yang telah dicuplik dari *sample* ke 356 sampai 535 sehingga total pada grafik sebanyak 180 *sample*.

Hubungan *cross correlation* sinyal PRBS dengan sinyal IQ setelah demodulasi QPSK. Hal ini dilakukan untuk menganalisis respon impuls kanal HF. Sinyal yang dikorelasikan berupa sinyal PRBS yang dikirim dalam 1 periode dengan sinyal PRBS yang diterima dalam 3 periode. Hasil korelasi berjumlah 3 periode sinyal PRBS pada frekuensi pembawa 9 dan 27 MHz. Dalam satu periode berjumlah 62 *sample*.

Pada korelasi yang mendekati nilai maksimum mengakibatkan pergeseran impuls respon dari periode satu ke periode lainnya. Hal ini menyebabkan impuls yang rendah akan mengalami penambahan nilai *magnitudo*. Hal tersebut merupakan hasil *cross correlation* pada frekuensi pembawa 11 MHz.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah dilakukan pengujian sistem dan analisis mengacu pada skenario dan parameter yang ada, didapatkan kesimpulan bahwa sinyal yang dikirimkan merupakan sinyal PRBS asli. Hal itu ditunjukkan dari proses autokorelasi, yaitu jumlah bit yang dibangkitkan sama dengan nilai dari *m-sequency* pada nilai maksimum dari autokorelasi hanya terdapat satu dalam satu periode. Selain itu daya pancar maksimum yang diperoleh pada pengujian, hanya sebesar 21 dBm pada frekuensi 11 MHz. Hal itu dipengaruhi oleh besarnya gain yang diberikan pada amplifier dan besarnya redaman yang diperoleh dari lintasan dan perangkat yang digunakan. Oleh karena itu, dalam sistem pengukuran kanal HF dibutuhkan amplifier tambahan dengan gain minimal sebesar 22.45 dB untuk peningkatan gain sinyal yang dikirimkan di sistem pemancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lastovicka, J., Bourdillon, A. "Ionospheric Effects on Terrestrial Communications: Working Group 3 Overview, Annals of Geophysics", Supplement to vol. 47, no. 2/3, pp. 1269-1276, 2004.
- [2] Perry, B. and Rifkin, R. "Measured Wideband HF Mid-Latitude Channel Characteristics". The MITRE Corporation, Bedford. 1989.
- [3] Tranter, William H, dkk. "Principles of Communication System Simulation with Wireless Application". Prentice Hall, New Jersey. 2004
- [4] Davies, Kenneth. "Ionospheric Radio". Peter Peregrinus Ltd, London, UK. 1990.
- [5] __, "Prediction Tools". <URL:http://www.ips.gov.au/HF_Systems/7/1>, Mei 2013.
- [6] Suhartini, Sri. "Sudut elevasi dan Ketinggian Antena Untuk Komunikasi Radio HF". LAPAN, Indonesia.
- [7] Leo, F. McNamara. "Prediction for HF Communications". Chapter 4, pg 87. Krieger Publishing Company. 1991.