

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

Aryo Darma Adhitya, Gamantyo Hendrantoro, dan Prasetyono Hari Mukti.
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: gamantyo@yahoo.com, prasetyono.hm@gmail.com

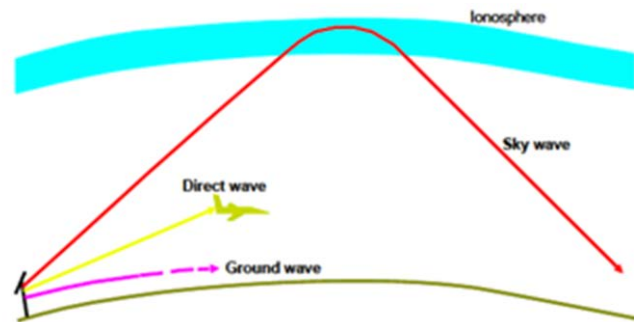
Abstrak—Gelombang radio High Frequency (HF) yang bekerja pada frekuensi 3 – 30 Mhz memiliki keunggulan yaitu, dapat melakukan komunikasi jarak jauh hingga ribuan kilometer dengan memanfaatkan pantulan lapisan ionosfer. Sistem ini dapat digunakan untuk komunikasi ke/dari daerah-daerah terpencil yang menghalangi infrastruktur jaringan yang muncul di banyak tempat di pulau-pulau Indonesia. Pada ionosfer daerah equatorial terdapat fenomena yang disebut Equatorial Spread-F (ESF) yang berpotensi menyebabkan *delay spread* dan *time varian* yang besar untuk saluran HF. Pada penelitian ini, pengukuran akan dilakukan dengan menempatkan pemancar di Merauke dan penerima di Surabaya dengan jarak lintasan 3036 km. Subsystem penerima diuji pada frekuensi 9, 11, dan 27 MHz dengan pengiriman sinyal *pseudo-random binary sequence* (PRBS) yang akan diterima menggunakan antena HF dipole dan kemudian didemodulasi dengan IQ Demodulator menggunakan perangkat Universal Software Radio Peripherals (USRP) dan LabVIEW. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa sinyal yang didemodulasi QPSK memiliki perbedaan fasa antara sinyal I dan Q dengan jumlah 1 periode *sequence* adalah 62 bit. Daya pancar rata-rata yang diterima oleh receiver berdasarkan perhitungan adalah -27,76 dBm sedangkan pada pengukuran adalah -33,83 dBm. Hal ini dapat dipengaruhi oleh redaman yang terjadi pada lapisan F, serta jarak pengukuran yang masih dalam jarak medan dekat reaktif dan radiatif.

Kata Kunci—Komunikasi HF, Sistem Penerima, USRP, LabVIEW, IQ Demodulator, Respon Impuls

I. PENDAHULUAN

Gelombang radio *High Frequency* (HF) memiliki kelebihan dalam propagasi dapat melakukan komunikasi jarak jauh hingga ribuan kilometer dengan memanfaatkan pantulan pada 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 di daerah equatorial seperti Indonesia terdapat fenomena yang disebut *Equatorial Spread-F* (ESF). Fenomena ini berpotensi menyebabkan *delay spread* dan *time variant* yang lebih besar dibandingkan daerah sub tropis atau kutub [1]. Penelitian mengenai komunikasi HF di daerah ekuator masih tergolong sedikit, termasuk mengenai pengaruh gangguan ESF pada kanal. Oleh karena itu, sebelum merancang sistem komunikasi HF pada daerah equatorial, diperlukan penelitian mengenai karakteristik kanal HF yang sesuai untuk diimplementasikan pada daerah equatorial.



Gambar. 1. Propagasi Gelombang HF [2]

Pengujian sistem penerima merupakan subsystem dari sistem pengukuran respon kanal HF pada lintasan Merauke-Surabaya. Pengukuran kanal HF ini dilakukan pada kondisi terburuk dari lintasan tersebut agar efek ESF dapat teridentifikasi.

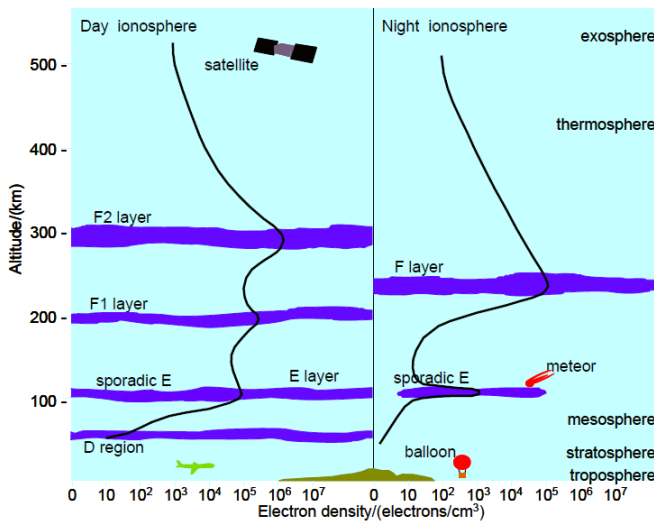
II. DASAR TEORI

A. Propagasi Gelombang Radio High Frequency

Spektrum *High Frequency* (HF) mempunyai range frekuensi 3 – 30 MHz, gelombang dapat berpropagasi dengan jarak yang jauh akibat dari pemantulan lintasan pada lapisan ionosfer [2]. Gelombang yang berpropagasi melalui lapisan ionosfer ini disebut sebagai gelombang ionosfer (*ionospheric wave*) atau juga disebut gelombang langit (*sky wave*).

Lapisan ionosfer ini tersusun dari partikel-partikel yang terionisasi. Lintasan ini tidak terkontrol dan bervariasi terhadap waktu, musim dan aktivitas matahari. Lapisan ionosfer terdiri dari beberapa lapisan yang terionisasi dengan ketinggian 40 – 400 km (25 mil – 250 mil) di atas permukaan bumi. Ionosfir tersusun dari 3 (tiga) lapisan yaitu: lapisan D, E, dan F yang tersusun dari bawah ke atas. Lapisan F dibagi menjadi dua, yaitu lapisan F1 dan F2. Lapisan ini memiliki ketinggian yang berubah-ubah terhadap permukaan bumi tergantung pada radiasi matahari.

Pada siang hari, radiasi dari matahari memiliki intensitas yang paling tinggi, sedangkan di malam hari adalah minimum. Saat radiasi matahari tidak ada, banyak ion-ion yang bergabung kembali menjadi molekul-molekul. Keadaan ini menentukan posisi dan banyaknya lapisan dalam ionosfir. Karena posisi matahari bervariasi terhadap titik tertentu di bumi dimana variasi ini bisa terjadi harian, bulanan, dan tahunan. Maka karakteristik yang tepat dari lapisan-lapisan tersebut sulit untuk ditentukan/dipastikan.



Gambar 2. Lapisan Ionosfer [3]

Tabel 1. Jenis Redaman [3]

Symbol	Jenis Rugi Rugi	Nilai (dB)	Keterangan
L_a	Absorption Loss	0 – 20	Per hop
L_b	Basic FSL Loss	50 - 120	$20 \log \frac{4\pi D}{\lambda}$
L_g	Ground Reflection Loss	1 – 3	Per Reflection
L_p	Polarization Loss	3 – 6	
L_q	Sporadic E Loss	0 – 1	
G_f	Horizon Focus Gain	0 – 9	

B. Path Loss

Salah satu parameter propagasi gelombang radio adalah *attenuation* (redaman) yang merupakan selisih dari daya pancar dengan daya terima. Hal itu disebabkan oleh adanya perubahan kondisi kanal propagasi selama proses komunikasi terjadi. Jika daya minimum yang dapat diterima oleh penerima adalah P_R (watt) dan P_T (watt) adalah daya pancar maka redaman total L_T (dB) dapat ditulis sebagai berikut:

$$L_T = L_a + L_b + L_g + L_p + L_q \quad (1)$$

Pada persamaan 1, untuk menghitung *path loss* didapat dengan menghitung jumlah seluruh rugi rugi. Setiap rugi rugi memiliki karakteristik dan nilai yang berbeda-beda. Jenis jenis dan nilai rugi rugi yang terdapat pada komunikasi HF dapat dilihat pada tabel 1.

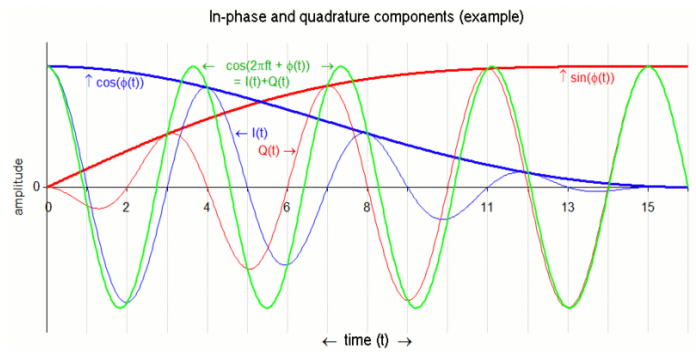
Perhitungan *link budget* dimaksudkan untuk dapat menghitung atau merencanakan kebutuhan daya sehingga kualitas sinyal dipenerima memenuhi standar yang diinginkan.

$$P_R = P_T + G_T + G_R - L_T \text{ (dBW)} \quad (2)$$

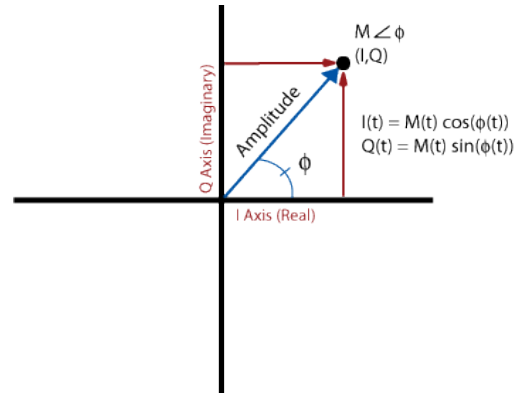
Dimana P_R adalah daya terima yang dihasilkan dari penjumlahan P_T (daya pemancar), G_T dan G_R (gain antenna), dan L_T adalah total loss pada propagasi gelombang HF.

C. In-phase dan Quadrature (I/Q)

I/Q adalah modulasi 2 buah sinyal sinusoida yang seimbang dengan perbedaan phase seperempat lingkaran ($\pi/2$) dengan frekuensi kerja yang sama. Hal ini menyebabkan perbedaan phase antara 2 sinyal tersebut dapat dinotasikan dengan



Gambar 3. I/Q Komponen



Gambar 4. Diagram I dan Q dalam bentuk polar

$$e^{j\omega_0 t} = \cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t \quad (3)$$

persamaan kompleks $\sin \omega_0 t$ dan $\cos \omega_0 t$.

Pada persamaan 3, $e^{j\omega_0 t}$ terdiri dari dua bagian penting, yaitu I, inphase (bilangan real) dan Q, quadrature (bilangan imajiner) yang keduanya saling *orthogonal*.

Sebelum sinyal bercampur dengan sinyal *carrier*, biasanya sinyal sinusoidal dituliskan dalam bentuk polar sebagai satuan vektor atau perputaran fasa ω_0 radian/s. Sedangkan saat sinyal telah dimodulasi dengan sinyal *carrier*, dari diagram IQ dapat ditentukan perubahan fasa yang terjadi dari sistem modulasinya.

Sinyal sinusoidal yang mengalami perubahan fasa dapat dituliskan sebagai berikut:

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \varphi) \quad (4)$$

dimana A adalah amplitudo, f_c adalah frekuensi carrier dan φ merupakan perubahan fasa.

Dari persamaan 4, sinyal sinusoidal dapat direpresentasikan dengan diagram IQ. Berikut persamaan inphase dan quadraturenya.

$$I(t) = A \cos \varphi \cos 2\pi f_c t \quad (5)$$

$$Q(t) = A \sin \varphi \sin 2\pi f_c t \quad (6)$$

Bentuk diagram IQ untuk sinyal sinusoidal dalam bentuk koordinat cartesian x dan y ditunjukkan pada gambar 4.

III. PERANCANGAN SISTEM PENERIMA

A. Perencanaan Pengukuran

Tahap awal dari sistem adalah penentuan frekuensi kerja, perhitungan link budget, serta pemilihan perangkat. Dari perhitungan link budget diperoleh besarnya daya pancar yang

dibutuhkan, sehingga dapat menentukan spesifikasi perangkat yang digunakan.

1) *Perencanaan Frekuensi Kerja*

Pengukuran kanal HF ini memakai frekuensi 11 MHz. Hal ini didasari oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Indonesia, *Radio and Space Services Australia Government* serta berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika No.29 Tahun 2009 yang memberi perkiraan bahwa pada waktu pengukuran untuk terjadinya ESF adalah saat frekuensi 11 Mhz. Band frekuensi ini juga ditujukan untuk komunikasi radio amatir sehingga frekuensi ini bebas untuk digunakan. Frekuensi bebas yang dimaksud adalah frekuensi tidak digunakan oleh siapapun sehingga tidak menimbulkan interferensi ketika pengukuran dilakukan. Hal ini dilakukan agar daya yang terukur pada penerima tidak berasal dari beberapa pemancar, melainkan pemancar pasangannya saja.

Pada penelitian ini hanya dibatasi satu band frekuensi saja, namun tidak menutup kemungkinan untuk beberapa frekuensi seperti 9 MHz dan 27 MHz jika pada saat pengukuran frekuensi 11 MHz mengalami interferensi.

2) *Perencanaan Link Budget*

Perencanaan perhitungan Link budget bertujuan untuk dapat merencanakan daya yang dibutuhkan agar kualitas sinyal di penerima memenuhi standar yang digunakan. Berikut perhitungan link budget untuk komunikasi radio HF link Surabaya ke Merauke adalah sebagai berikut:

1. Sensitivitas Penerima $P_R = -112$ dBm
2. Gain Antena Pemancar $G_T = 3$ dBi
3. Gain Antena Penerima $G_R = 3$ dBi
4. Loss kabel

Pemancar

Redaman kabel *coaxial* RG8 = 1.64 dB/100 m dengan panjang kabel 50 m

$$\text{Redaman kabel } L_T = \frac{1.64}{100} \times 50 = 0.82 \text{ dB}$$

Penerima

Redaman kabel *coaxial* RG58 = 3.6 dB/100 m dengan panjang kabel 50 m

$$\text{Redaman kabel } L_R = \frac{3.6}{100} \times 50 = 1.8 \text{ dB}$$

5. *Free Space Loss* dihitung sebagai berikut:

$$FSL = 20 \log \frac{4\pi D}{\lambda} \text{ (dB)}$$

$$\pi = \text{Jari - jari lingkaran} = 3.14$$

$$D = \text{Panjang lintasan} = 3036 \text{ Km}$$

$$\lambda = \text{Panjang gelombang} = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{11 \times 10^6} = 0,0272727 \text{ Km}$$

$$\text{maka, } FSL = 20 \log \frac{4 \times 3.14 \times 3036}{0,0272727}$$

$$= 122,915 \text{ dB}$$

6. *Loss Absorption* dihitung sebagai berikut:

$$L_a = 10 \log \left(\frac{1}{r^2} \right) \text{ dB}$$

$$= 10 \log \left(\frac{1}{11^2} \right)$$

$$= 20,833 \text{ dB}$$



Gambar 5. Antena ICOM MN-100

7. $Loss \text{ Ground} = 0$ dB, diasumsikan konstanta dielektrik bumi = 1

$$L_g = 10 \log(1)$$

$$= 0 \text{ dB}$$

8. $Loss \text{ Polarization} = 4$ dB
9. $Loss \text{ Fading} = 10$ dB
10. $Loss \text{ Sporadic E} = 1$ dB, diasumsikan kondisi terburuk
11. Total Loss dapat dihitung sebagai berikut:

$$L_T = L_a + L_b + L_g + L_p + L_q - 15$$

$$= 122,915 + 20,833 + 0 + 4 + 1$$

$$= 148,748 \text{ dB}$$

Maka, daya transmisi dari Surabaya ke Merauke dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_T = P_R - G_T(\beta) - G_R(\beta) + L_T + Loss \text{ Cable}$$

$$= -112 - 3 - 3 + 148,748 + 1,8 + 0,82 + 10$$

$$= 43,368 \text{ dBm} = 21,717 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan link budget menunjukkan bahwa daya pancar yang dibutuhkan untuk sistem komunikasi radio HF link Merauke-Surabaya yang dioperasikan pada frekuensi 11 MHz adalah sebesar 43.368 dBm atau 21,717 Watt.

3) *Perencanaan Pemilihan Perangkat*

A). *Antenna*

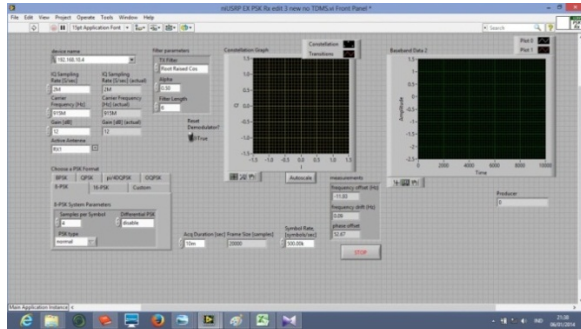
Antena yang digunakan adalah antena dipole $\frac{1}{2} \lambda$. Pada penelitian ini menggunakan produk dari ICOM MN-100L seperti yang terdapat pada gambar 3.5. Antena ini dapat bekerja multi frekuensi dari 1,5 MHz sampai 30 MHz. Pemilihan perangkat ini bertujuan agar saat pengukuran di frekuensi yang berbeda, tidak diperlukan penggantian antena.

B). *Universal Software Radio Peripheral (USRP)*

USRP merupakan perangkat SDR yang digunakan pada sistem pengukuran kanal HF ini. Pada penelitian ini menggunakan produk dari Ettus Research dengan jenis USRP 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*. Pada USRP N210 ini, terdapat *daughterboard* yang berfungsi agar USRP dapat bekerja pada frekuensi 3 – 30 MHz.



Gambar 6. USRP N210



Gambar 7. Front Panel Sistem Penerima

C). Low Noise Amplifier

Pada sistem pengukuran ini menggunakan produk dari Mini Circuit dengan tipe ZFL-1000LN . LNA ini dapat bekerja dalam frekuensi 0.1 s.d 1000 Mhz dan memiliki gain sebesar 20dB.

B. Perancangan Program Penerima

Perancangan program penerima menggunakan LabVIEW. Sistem ini dirancang agar dapat menerima sinyal PRBS yang ditransmisikan lalu mendemodulasikan menggunakan QPSK kemudian sinyal yang ditampilkan berupa sinyal yang telah termodulasi yaitu sinyal *Inphase* dan *Quadrature*. Pada proses perancangan sistem ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Sub Program USRP

USRP digunakan memasukkan parameter serta memproses sinyal yang dibutuhkan pada sistem pengukuran seperti: frekuensi carrier, IQ sampling rate, dan penguatan.

2. Sub Program Demodulasi

Setelah USRP menerima sinyal dari pemancar, sinyal akan dimasukkan ke dalam proses demodulasi. Proses ini menggunakan modulasi QPSK agar dapat melihat sinyal *Inphase* dan *Quadrature*.

3. Sub Program Tampilan Diagram

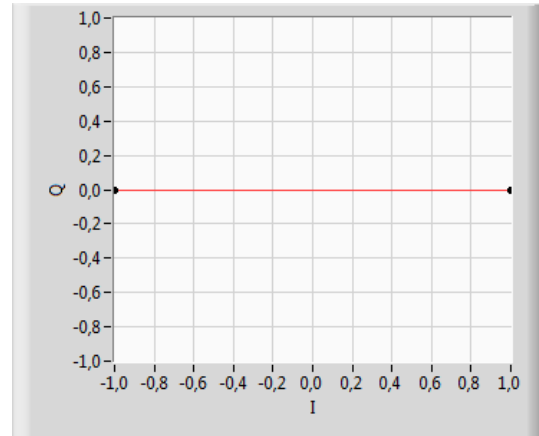
Pada program ini dapat menampilkan diagram sinyal IQ setelah demodulasi, sinyal IQ sebelum demodulasi, dan sinyal output bit stream.

IV. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian sistem penerima, dan hasil pengujian berupa sinyal yang diterima oleh sistem penerima beserta analisisnya. Pengujian sistem ini akan menampilkan daya output yang diterima oleh sistem sehingga dapat diketahui apakah daya yang terukur sama dengan hasil perhitungan *link budget* serta pengaruh interferensi yang terjadi pada frekuensi kerja.

Tabel 2.
Symbol Map Pada Pengirim

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



Gambar 8. Diagram Konstelasi pada Pengirim

Pengujian sistem dilakukan di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan jarak antar pemancar dan penerima sejauh 25 meter dan 50 meter. Waktu uji coba sistem dilakukan malam hari yang dilakukan sama dengan saat realisasi pengukuran. Pengukuran dilakukan pada pukul 22.00 – 00.00 WIB. Untuk waktu penerimaan data ditentukan sebesar 30 detik ON dan 9 Menit 30 detik OFF.

Parameter yang digunakan pada sistem penerima menggunakan IQ demodulator, dengan frekuensi kerja kerja 9, 11, dan 27 MHz. Pada masing masing frekuensi menggunakan parameter IQ Sampling Rate 1 dan 2 MS/s dan Sample/Symbol 2 dan 4.

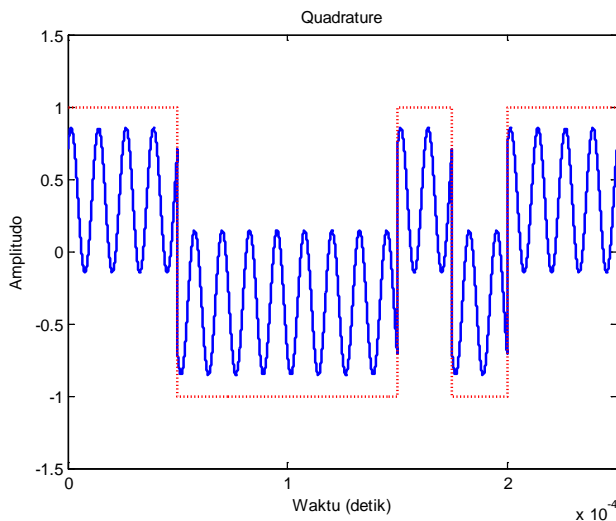
A. Hasil Sinyal IQ Demodulator

Sinyal yang baseband I dan Q yang dikirimkan dari pemancar, akan berpropagasi melalui media udara hingga sampai pada sistem penerima. Propagasi melalui media udara ini dapat disebut dengan kanal.

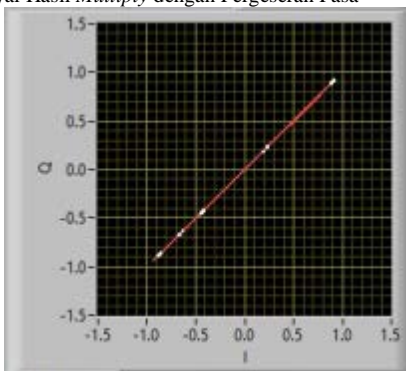
Bit PRBS yang dikirimkan akan dikodekan terlebih dahulu. Untuk simbol -1 mengidentifikasi bahwa bit yang dikodekan adalah bit “1”, dan simbol 1 adalah bit “0”. Bilangan real (*inphase*) bervariasi antara -1 atau 1, sedangkan bilangan imajiner (*quadrature*) selalu bernilai 0. Sehingga menghasilkan diagram konstelasi seperti pada gambar 11.

Sinyal yang telah termodulasi, akan dikirimkan melewati kanal untuk sampai pada pengirim. Pada kanal ini, terdapat beberapa hal yang mempengaruhi sinyal salah satunya adalah fading. Sinyal yang dikirimkan melewati kanal dapat menyebabkan penurunan level *magnitudo* maupun pergeseran fasa dikarenakan pengaruh dari fading..

Didalam kanal yang tidak ideal terdapat proses konvolusi. Maka, output menjadi $y[n] = x[n] \cdot [h]e^{-j\theta}$. Pada proses inilah sinyal dapat bergeser sejauh θ . Sinyal yang telah



Gambar 9. Sinyal Hasil *Multiply* dengan Pergeseran Fasa

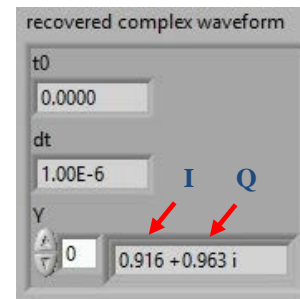


Gambar 10. Konstelasi IQ Demodulator

melewati kanal akan masuk ke dalam sistem IQ demodulator. Pada tahap ini, output kanal akan dikalikan terhadap komponen I dan Q. Pada proses tersebut, sinyal input akan dikalikan dengan sinyal referensi yang dibangkitkan pada sistem demodulator. Sinyal yang telah melewati kanal bernilai demodulasi bernilai $y[t] = \sin(\omega t + \theta)$ kemudian dikalikan dengan sinyal referensi untuk *quadrature* yang dibangkitkan yaitu $\psi(t) = \cos(\omega t)$. Maka pada output hasil *multiply* diperoleh hasil sinyal yang mengalami pergeseran fasa sebesar θ seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.

Gambar 13 menunjukkan bahwa sinyal mengalami pergeseran fasa yang dapat dilihat titik awal sinyal tidak berada pada posisi 0. Kemudian level daya yang tidak mencapai nilai maksimum. Hal ini membuktikan bahwa sinyal yang diterima bergeser fasanya yang terjadi pada kanal. Maka pada hasil diagram konstelasi IQ demodulator sinyal I dan Q memiliki nilai perbedaan phase dengan nilai amplitudo yang memiliki range antara 1 s.d -1 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 10.

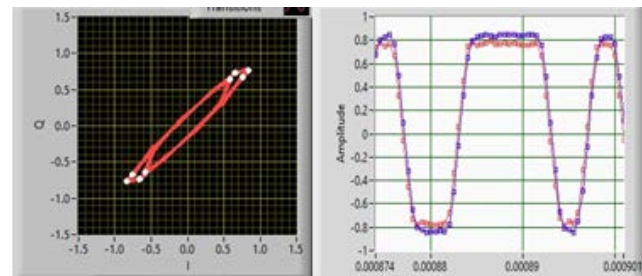
Untuk mengetahui seberapa besar perbedaan fase yang terjadi, dapat dilihat pada bilangan kompleks yang dihasilkan oleh IQ demodulator pada gambar 11. Dengan membagi nilai Q dengan A kemudian di *arc tan*-kan maka menghasilkan sudut sebesar $46,5^\circ$. Sehingga dapat disimpulkan saat pengukuran, kanal memberikan perubahan sudut sebesar $46,5^\circ$.



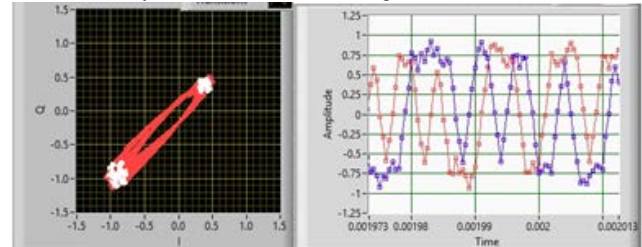
Gambar 11. Bilangan *Real* dan *Imajiner* Demodulasi

Tabel 3.

Radius Antena		
Frekuensi (MHz)	Medan Dekat (m)	Medan Jauh (m)
9	9,6	25
11	10,6	29
27	16,6	72



Gambar 14. Sinyal IQ frekuensi 9 MHz dengan Jarak 25 m



Gambar 13. Sinyal IQ frekuensi 11 MHz dengan Jarak 50 m

B. Hasil Pengukuran Sinyal I dan Q di Sistem Penerima

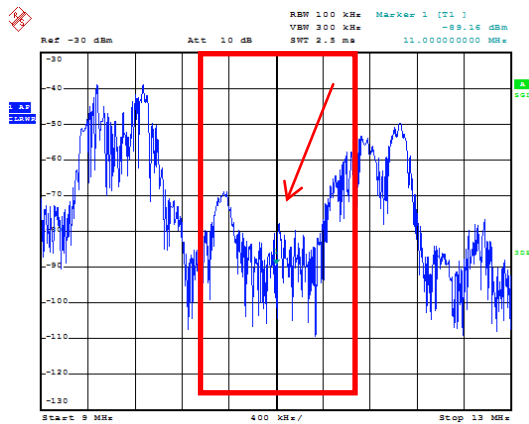
Jarak antara antenna pemancar dengan antenna penerima memiliki pengaruh dalam pengukuran. Hal ini disebabkan antenna memiliki daya radiasi yang cukup besar. Pada masing masing frekuensi kerja, memiliki daya radiasi yang berbeda beda pada antenna. Hal inilah yang dapat mempengaruhi pengukuran karena pengukuran masih dapat dikatakan medan dekat atau sudah melewati batas medan jauh suatu antenna. Untuk daya radiasi antenna yang dibagi menjadi 3 frekuensi pengukuran, dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{(Radius Medan Dekat) } R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \text{ meter} \tag{4}$$

$$\text{(Radius Medan Jauh) } R > 2 \frac{D^2}{\lambda} \text{ meter} \tag{5}$$

Dimana D adalah panjang antenna keseluruhan, dan λ adalah panjang gelombang. Untuk mengetahui, jarak medan dekat dan medan jauh pada seluruh frekuensi kerja, dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil pengukuran frekuensi 9 MHz untuk jarak 25 meter seperti yang terlihat pada gambar 12, memiliki perbedaan fase yang relatif kecil. Hal ini disebabkan sinyal yang diterima masih berada dalam medan radiasi *fresnel region*. Sinyal yang



Gambar 14. Pengecekan Frekuensi 11 MHz

Tabel 4.
Level Daya Sinyal Pada Sistem Penerima

Jarak Pengukuran (m)	Frekuensi (MHz)	Level Daya (dBm)
25	9	-20,27
	11	-23,76
	27	-39,26
50	9	-26,29
	11	-29,78
	27	-45,38

diterima oleh pemancar merupakan sinyal radiasi pengirim, bukan melalui propagasi gelombang, sehingga sinyal I dan Q yang diterima, memiliki kriteria yang mirip dengan perbedaan fasa yang kecil.

Hasil pengukuran frekuensi 11 MHz pada gambar 13 menunjukkan perbedaan fase yang sangat besar. Hal ini dapat diakibatkan oleh beberapa hal. Salah satunya adalah adanya interferensi pada frekuensi tersebut. Saat waktu pengukuran, frekuensi 11 MHz tersebut juga digunakan oleh komunikasi lain. Untuk membuktikan interferensi tersebut, dilakukan pengecekan frekuensi menggunakan spektrum analyzer.

Pada gambar 14 diatas, memperlihatkan bahwa pada frekuensi sekitar 11 MHz terdapat banyak aktivitas komunikasi sehingga dapat menyebabkan interferensi pada saat melakukan pengukuran. Penyebab pergeseran fasa yang besar lainnya adalah kondisi lapisan F yang bisa terjadi pada kondisi terburuk saat pengukuran.

C. Hasil Pengukuran Level daya Sistem Penerima

Pengujian ini dilakukan saat pemancar mengirimkan bit bit PRBS dengan daya output 1 watt, lalu sinyal diterima melalui antenna penerima yang kemudian akan diukur level dayanya menggunakan spektrum analyzer. Dengan menggunakan rumus *Path Loss*, akan diperoleh level daya terima pada masing masing frekuensi pada tabel 4.

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian sistem dan analisis mengacu pada skenario dan parameter yang ada, didapatkan kesimpulan bahwa Sinyal yang melewati kanal akan memiliki pergeseran fasa sebesar $0 \leq \phi < 45^\circ$. Kemudian pada saat pengujian sistem pengukuran, terjadi interferensi pada frekuensi 9 dan 11 MHz. Sehingga pada pengukuran di frekuensi tersebut, hasilnya

memiliki perbedaan fasa yang besar. Level daya pada penerima bervariasi terhadap frekuensi dan jarak pengukuran. Untuk pengukuran jarak 25 meter memiliki rata rata -33,83 dBm. Sedangkan untuk pengukuran dengan jarak 50 meter, nilai rata-ratanya sebesar -27,42 dBm. Hal ini dapat disebabkan pengukuran yang terhalang *obstacle* yang dapat menimbulkan difraksi. Kemudian pengukuran yang dilakukan pada jarak 25 meter masih merupakan daerah medan dekat reaktif dan radiatif.

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] C. J Coleman, "A Propagation Model for Radiowave System," IEEE1994
- [3] Leo. F. McNamara. "Prediction for HF Communications". Chapter 4, pg 87. Krieger Publishing Company. 1991.
- [4] Gilley, James E. "Digital Phase Modulation". Transcript International, Inc. August, 2003.