

Sistem Pengukuran Untuk Eksperimen Diversitas Kooperatif pada Sistem Komunikasi dengan Gelombang Angkasa HF

Muhammad Aditya Rizaldi Oktaviano, Gamantyo Hendranto
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: adityarizaldii@gmail.com, gamantyo@ee.its.ac.id

Abstrak— Sistem komunikasi HF sangat berguna apabila ingin berkomunikasi dengan jarak ribuan kilometer dengan memanfaatkan pantulan lapisan ionosfer. Dengan menerapkan pengukuran secara langsung dapat diketahui parameter apa saja yang bisa dibutuhkan dalam mengirimkan informasi agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Dengan melakukan pengukuran, bisa membantu dalam verifikasi data yang hasilnya nanti dapat dibandingkan dengan hasil simulasi. Salah satu metode dalam pengukuran sistem komunikasi HF dengan adalah dengan menerapkan metode Diversitas Kooperatif. Pada metode ini, suatu pemancar dan penerima yang jaraknya dipisahkan dengan jarak ribuan kilometer akan melakukan proses komunikasi bersama dengan relay yang diletakkan diantaranya.

Dalam sistem pengukuran HF dengan menggunakan metode Diversitas Kooperatif ini, jauhnya jarak pemancar dan penerima tidak menjadi masalah, dengan syarat kondisi ionosfer harus dapat memantulkan sinyal yang dipancarkan pemancar ke penerima. Maka dari itu perlu ditentukan berapa besar daya yang dibutuhkan agar sinyal yang dipancarkan bisa berhasil dikirimkan, dari hasil pengujian didapatkan nilai daya pancar untuk frekuensi 7 MHz dan 14 MHz adalah sekitar 4-15 watt. Nilai daya ini perlu dikuatkan kembali sampai dengan nilai daya pancar minimal yang dibutuhkan yaitu sebesar 40-50 watt dengan menggunakan amplifier. Kemudian dari sisi pemancar harus dipastikan tidak ada harmonisa yang diakibatkan distorsi intermodulasi. Ini penting agar tidak mengganggu pengguna frekuensi disekitar. Dengan menggunakan Low Pass Filter pada setiap frekuensi kerja hal ini dapat dihindari, dan pengukuran dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya.

Setelah melakukan pengukuran, akan didapatkan bentuk sinyal dan hasil berupa besar daya yang diterima masing-masing dari pemancar dan relay. Kemudian dengan menerapkan tiga metode Kooperatif yaitu MRC, SC, dan EGC untuk melihat SNR terbaiknya.

Kata Kunci— Sistem komunikasi HF, Teknik Diversitas Kooperatif

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sangat luas, terdiri dari 17.504 pulau besar dan kecil serta sebagian daerah yang terpencil. Di semua pulau di negara Indonesia termasuk daerah yang terpencil memerlukan adanya layanan kesehatan, pendidikan, dan informasi. Untuk menjangkau daerah terpencil perlu digunakan sistem

komunikasi digital yang murah dan tahan terhadap berbagai kondisi seperti cuaca dan adanya bencana alam.

Untuk membentuk sistem komunikasi digital dapat menggunakan beberapa media alternatif seperti kabel laut, satelit, bahkan menggunakan komunikasi *High Frequency* (HF). Pengembangan sistem komunikasi dengan menggunakan teknologi kabel, seperti kabel laut perlu dipertimbangkan kembali mengenai pembangunan infrastruktur baru sehingga kurang efisien untuk digunakan. Sistem komunikasi satelit lebih baik dari pada kabel laut, tetapi perlu biaya yang besar untuk komunikasi ini serta komunikasi untuk sampai tujuan membutuhkan waktu yang lama. Solusi dari penggunaan media sistem komunikasi ke daerah terpencil yaitu dengan komunikasi HF karena komunikasi ini tidak membutuhkan biaya yang besar, tidak diperlukan infrastruktur baru hanya menggunakan lapisan ionosfer yang telah disediakan oleh alam serta memiliki kehandalan yang dapat diusahakan dengan berbagai metode komunikasi [1]. Salah satu metode dalam pengukuran sistem komunikasi HF dengan adalah dengan menerapkan metode Diversitas Kooperatif. Pada metode ini, suatu pemancar dan penerima yang jaraknya dipisahkan dengan jarak ribuan kilometer akan melakukan proses komunikasi bersama dengan relay yang diletakkan diantaranya [2]. Dalam komunikasi kooperatif, jalur independen antara pengguna dan base station yang dihasilkan melalui pengenalan kanal *relay*. *Relay* dapat dianggap sebagai node tambahan untuk kanal langsung antara sumber dan tujuan. Sebuah aspek utama dari komunikasi kooperatif adalah proses pengolahan sinyal yang diterima dari node sumber yang dilakukan oleh *relay*. Skema pengolahan ini yang berbeda menghasilkan berbagai protokol komunikasi kooperatif [3].

Dalam sistem pengukuran HF dengan menggunakan metode Diversitas Kooperatif ini, jauhnya jarak pemancar dan penerima tidak menjadi masalah, dengan syarat kondisi ionosfer harus dapat memantulkan sinyal yang dipancarkan pemancar ke penerima. Maka dari itu perlu ditentukan berapa besar daya yang dibutuhkan agar sinyal yang dipancarkan bisa berhasil dikirimkan. Kemudian dari sisi pemancar harus dipastikan tidak ada harmonisa yang diakibatkan distorsi intermodulasi. Ini penting agar tidak mengganggu pengguna frekuensi disekitar. Dengan menggunakan Low Pass Filter pada setiap frekuensi kerja hal ini dapat dihindari, dan pengukuran dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya.

Pemilihan perangkat pengukuran yang sesuai juga diperlukan dengan harapan sinyal yang dikirimkan dari pemancar dapat terkirim dan sinyal tersebut berhasil diterima dengan baik di penerima. Agar nantinya didapatkan hasil pengukuran sesuai dengan yang ingin diamati. Proses

pengiriman dari pemancar menggunakan USRP yang dikontrol langsung oleh software LabVIEW, dimana USRP ini adalah suatu alat yang berbasis *Software Define Radio* (SDR) [5].

Setelah melakukan pengukuran, akan didapatkan bentuk sinyal dan hasil berupa besar daya yang diterima masing-masing dari pemancar dan relay. Kemudian dengan menerapkan tiga metode Kooperatif yaitu MRC, SC, dan EGC untuk melihat SNR terbaiknya.

II. DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGUKURAN DENGAN METODE DIVERSITAS KOOPERATIF

A. Penentuan Parameter Sistem

Berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika No. 29 Tahun 2009 dan *Radio and Space Service Australia Government* [8]. 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. Maka dari itu, pada pengukuran ini frekuensi yang dipilih adalah frekuensi 7Mhz dan 14Mhz.

Setelah mendapatkan frekuensi yang akan digunakan pada pengukuran nanti, perlu direncanakan daya yang dibutuhkan sehingga kualitas sinyal di penerima memenuhi standar yang digunakan. Perhitungan daya transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

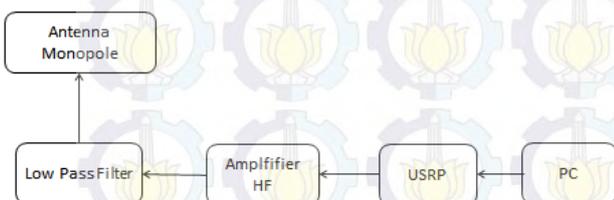
$$P_T = P_R - G_R + L_R + A_T - G_T + L_T + L_f \quad (1)$$

Tabel 1 Penggunaan daya masing-masing dari Surabaya-Ternate, Surabaya-Merauke, dan Ternate-Merauke.

Lintasan	Jarak (km)	Daya Pancar (Watt)
Surabaya-Ternate	1932	48,977
Surabaya-Merauke	3102,7	89,94
Ternate-Merauke	1932,11	49,12

B. Instalasi dan Interkoneksi Perangkat Sistem Komunikasi Kooperatif

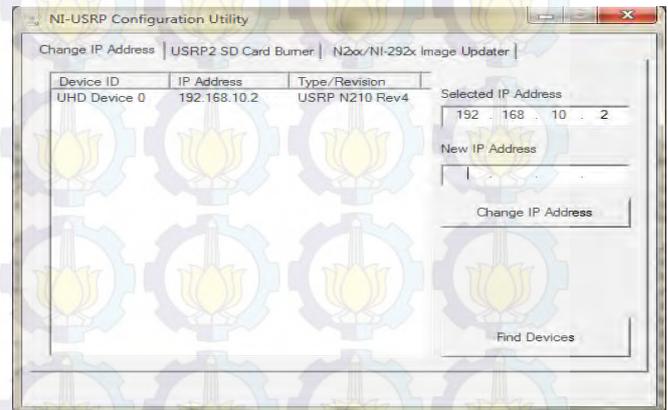
Sistem kontrol USRP yang dilakukan oleh *software* LabVIEW untuk menyiapkan sinyal bagi *transmitter* dan mengolah sinyal bagi *receiver*. Oleh karena itu, USRP harus terkoneksi dengan PC melalui *Gigabit Ethernet Interface*. Pada Gambar 2 dapat dilihat diagram blok sistem keseluruhan yang digunakan di pemancar pada sistem pengukuran.



Gambar 2 Blok Diagram sistem pemancar.

Sebelum proses pengiriman berlangsung terlebih dahulu dilakukan konfigurasi antara perangkat USRP dan PC menggunakan IP address dengan default IP 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. Pada driver USRP akan menunjukkan IP

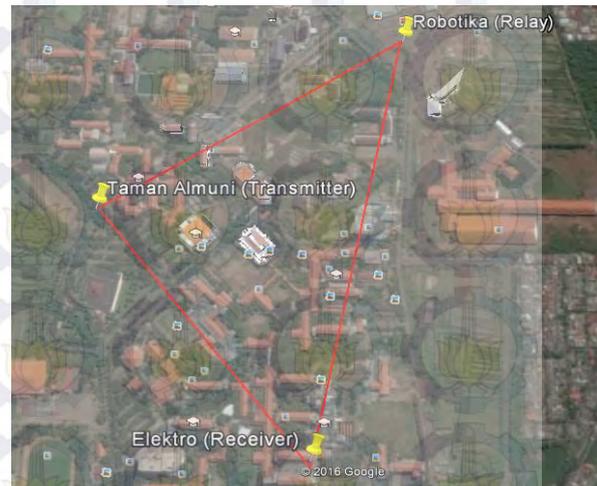
address dan tipe USRP yang digunakan seperti pada Gambar 3.4. Jika tampilan tipe USRP tidak sama dengan tipe USRP yang digunakan, maka pilih **N2xx/NI-292x Image Updater**. Kemudian update *firmware image* dan FPGA *image* sesuai dengan tipe USRP yang digunakan.



III. ANALISIS HASIL PENGUKUJIAN

A. Lokasi dan Waktu Pengujian

Pada pengujian sistem yang bertujuan untuk melakukan pengukuran dengan skala ITS ini mengambil lokasi di tiga titik pengukuran. Yaitu transmitter di Taman Alumni, receiver di Lab B306 Teknik Elektro, dan Relay di Pusat Robotika.



Gambar 1 Lokasi Pengukuran Kooperatif

Untuk menganalisa dampak ESF pada komunikasi HF, perubahan waktu antara pagi, siang maupun malam akan mempengaruhi hasil pengukuran. Maka pengukuran dilakukan pada malam hari karena fenomena ESF terjadi pada malam hari yang dapat mengganggu propagasi sinyal dengan adanya *delay spread*

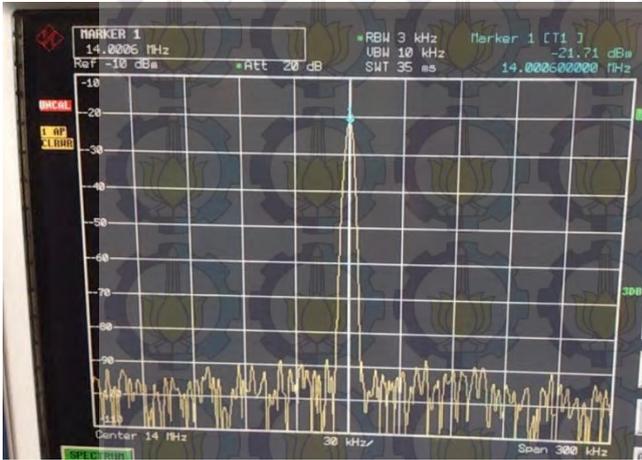
B. Pengujian daya Keluaran

Untuk perbandingan nilai daya keluaran yang berasal masing-masing dari sinyal Generator dan USRP akan ditunjukkan pada Tabel 2.

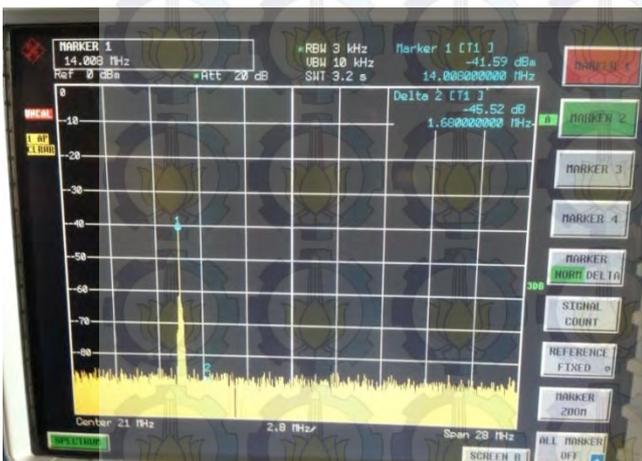
Sedangkan Ilustrasi dari bentuk spektrum sinyal keluaran USRP sebelum dan setelah menggunakan *Low Pass Filter* pada frekuensi 14 MHz akan ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 2 Perbandingan daya keluaran pada Sinyal Generator dan USRP, dengan dan tanpa *Low Pass Filter*

Frekuensi (MHz)	Daya keluaran SA pada pengujian (dBm)		
	Sinyal Generator	USRP	
		Tanpa LPF	Dengan LPF
7	-21,27	-10	-37,94
14	-21,71	-0,47	-41,59



Gambar 5 Bentuk sinyal keluaran dari USRP pada frekuensi 14 MHz sebelum menggunakan *Low Pass Filter*



Gambar 6 Bentuk sinyal keluaran dari USRP pada frekuensi 14 MHz sesudah menggunakan *Low Pass Filter*

Dapat ditarik beberapa kesimpulan, yang pertama adalah semakin besar frekuensi yang digunakan, maka daya keluaran baik dari Sinyal Generator maupun USRP akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori bahwa besarnya daya keluaran berbanding terbalik dengan frekuensi yang digunakan. Kemudian yang kedua adalah, penggunaan *Low Pass Filter* mempengaruhi daya keluaran dari USRP, meskipun mempengaruhi besarnya daya keluaran tetapi penggunaan *Low Pass Filter* sangat dibutuhkan untuk menghindari adanya harmonisa frekuensi yang diakibatkan adanya distorsi intermodulasi.

C. Sistem Pengujian di Penerima

Pada saat pengukuran daya yang diterima dari pemancar hanya digunakan frekuensi 14 MHz, alasannya adalah interferensi yang terjadi disekitar sinyal masukan yang diterima terlalu tinggi. Ini disebabkan mungkin pada saat jam tersebut banyak yang sedang menggunakan frekuensi

7MHz, sehingga tidak dilakukan pengukuran pada frekuensi tersebut.

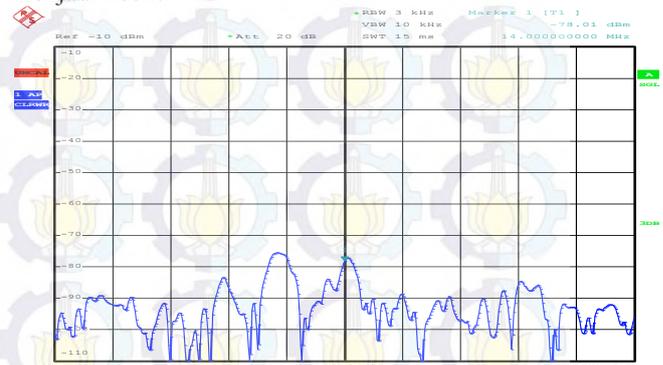
Terlihat bentuk sinyal yang kurang bagus dan noise floor yang cukup tinggi serta nilai daya terima yang kecil. Dari gambar 4.9 dapat dilihat nilai daya terima pada saat pukul 18.00 adalah -78,01 dBm dengan daya noise rata-rata pada -90dBm.

Tabel 4 Daya terima dari Pemancar

Frekuensi (MHz)	Waktu	Daya Terima (dBm)	Daya Terima (miliwatt)
14	18.00	-78,01	$1,58 \times 10^{-8}$
	19.00	-73,7	$4,26 \times 10^{-8}$

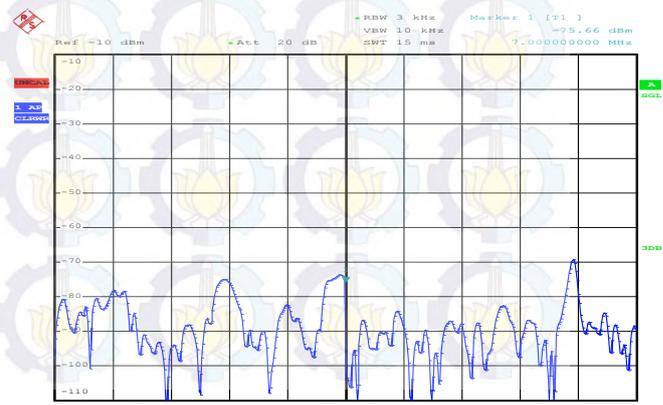
Ini bisa disebabkan beberapa hal, yang pertama adalah lingkungan sekitar antenna pemancar yang terdapat banyak pohon sehingga mengganggu propagasi yang terjadi pada saat pengiriman berlangsung.

Kemudian yang kedua adalah cukup banyak gedung bertingkat yang berada di lintasan antara pemancar dan penerima, ini mengakibatkan daya terima yang terbaca juga menjadi kecil.



Gambar 6 Bentuk sinyal masukan yang berasal dari antenna monopole pada frekuensi 14 MHz di pukul 18.00

Pengukuran pada saat sinyal dipancarkan dari *relay* mendapatkan data yang lebih banyak dan dapat menggunakan frekuensi 7 MHz dan 14 MHz, berbeda dengan di pemancar. Hal ini karena lokasi *relay* yang berada pada area bebas, yang artinya tidak banyak pohon tinggi atau gedung yang bertingkat yang dapat menghalangi propagai saat pengiriman sinyal berlangsung.



Gambar 7 Bentuk sinyal masukan yang berasal dari antenna monopole pada frekuensi 7 MHz pukul 18.10

Pengaruh dari lintasan propagasi dan lingkungan sekitar antenna baik di pemancar dan di *relay*, akan berpengaruh pada daya terima di penerima. Pemancar yang lingkungan sekitarnya dikelilingi banyak pohon, menghasilkan daya terima di penerima yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan saat di *relay*.

Untuk data mengenai perbandingan daya yang diterima pada frekuensi 7 MHz dan 14 MHz dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 5 Daya terima dari relay

Frekuensi (MHz)	Waktu	Daya Terima (dBm)	Daya Terima (miliwatt)
7	16.00	-63,33	$4,64 \times 10^{-7}$
	18.10	-73,66	$4,305 \times 10^{-8}$
	19.10	-73,38	$4,59 \times 10^{-8}$
14	16.00	-61,96	$6,36 \times 10^{-7}$
	18.10	-60,37	$9,18 \times 10^{-7}$
	19.10	-61,32	$7,37 \times 10^{-7}$

D. Sistem Pengujian di Penerima

Untuk perhitungan SNR akan mengacu pada tabel diatas yang memperlihatkan daya terima dan noise floor dalam satuan dBm. Kemudian untuk mendapatkan nilai SNR adalah dengan rumus sebagai berikut:

$$SNR = \frac{Pr (mW)}{Pn (mW)} \quad (2)$$

Dimana Pr adalah daya terima dan Pn adalah noise floor atau daya noise di sekitar.

Tabel 6 Nilai SNR dengan *link* pemancar ke penerima pada frekuensi 14 MHz

waktu	Daya Terima(mW)	Noise Floor (mW)	SNR	SNR (dB)
18.00	$1,58 \times 10^{-8}$	$7,92 \times 10^{-10}$	19,94	12,9
19.00	$4,26 \times 10^{-8}$	$5,78 \times 10^{-10}$	73,70	18,6

Tabel 7 Nilai SNR dengan *link relay* ke penerima pada frekuensi 7 MHz

waktu	Daya Terima(mW)	Noise Floor (mW)	SNR	SNR (dB)
16.00	$4,64 \times 10^{-7}$	$3,12 \times 10^{-8}$	14,87	11,7
17.00	$4,58 \times 10^{-7}$	$1,20 \times 10^{-8}$	38,16	15,8
18.00	$4,305 \times 10^{-8}$	$9,77 \times 10^{-10}$	44,38	16,4
19.00	$4,59 \times 10^{-8}$	$4,56 \times 10^{-9}$	10,06	10,02

Tabel 8 Nilai SNR dengan *link relay* ke penerima pada frekuensi 14 MHz

waktu	Daya Terima(mW)	Noise Floor (mW)	SNR	SNR (dB)
16.00	$6,36 \times 10^{-7}$	$7,74 \times 10^{-9}$	82,17	19,1
17.00	$1,83 \times 10^{-7}$	$9,46 \times 10^{-9}$	19,34	12,8
18.10	$9,18 \times 10^{-7}$	$5,83 \times 10^{-9}$	157,46	21,9
19.10	$7,37 \times 10^{-7}$	$9,74 \times 10^{-9}$	75,66	18,7

Dari Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8 dapat dilihat perbandingan nilai SNR terhadap *link* komunikasi dan frekuensi yang digunakan. Nilai SNR terbesar ada pada saat pengukuran dengan *link relay* ke penerima pukul 18.10 pada frekuensi 14 MHz. Hal ini masih dipengaruhi dari lingkungan sekitar antenna dan lintasan propagasi pada saat pengiriman sinyal.

E. Pengujian Sistem Komunikasi Kooperatif

Dengan menerapkan metode diversitas kooperatif pada hasil yang ditunjukkan Tabel 6 sampai Tabel 8, maka SNR di penerima dapat dihitung dengan beberapa metode, antara lain *Maximun Ratio Combining* (MRC), *Selection Combining* (SC), dan *Equal Gain Combining* (EGC). Berikut adalah contoh perhitungan SNR di penerima untuk masing-masing metode dengan menggunakan frekuensi 14 MHz pada pukul 18.00 dan pukul 19.00.

- Metode *Maximun Ratio Combining* (MRC)

Pada metode ini, nilai SNR dari *link* pemancar ke penerima dan *relay* ke penerima akan ditambahkan sehingga akan muncul nilai baru yang merupakan nilai SNR untuk metode ini. Seperti yang ada pada persamaan 3

- Pada pukul 18.00 nilai SNR MRC nya adalah:

$$\begin{aligned} \gamma_{MRC} &= \gamma_{Tx-Rx} + \gamma_{relay-Rx} \\ &= 19,94 + 157,46 \\ &= 177,4 \end{aligned} \quad (3)$$

- Pada pukul 19.00 nilai SNR MRC nya adalah:

$$\begin{aligned} \gamma_{MRC} &= 73,7 + 75,66 \\ &= 149,36 \end{aligned}$$

- Metode *Selection Combining* (SC)

Pada metode ini akan dipilih SNR terbesar antara *link* pemancar ke penerima dan *relay* ke penerima.

- Pada pukul 18.00 nilai SNR SC nya adalah

$$\gamma_{SC} = 157,46$$

Karna diantara dua link ini, nilai SNR terbesar ada pada lintasan *relay* ke penerima

- Pada pukul 19.00 nilai SNR SC nya adalah

$$\gamma_{SC} = 75,66$$

Karna diantara dua link ini, nilai SNR terbesar ada pada lintasan *relay* ke penerima.

- Metode *Equal Gain Combining* (EGC)

Pada metode ini, nilai SNR dari *link* pemancar ke penerima dan *relay* ke penerima akan seperti yang ada pada persamaan 4

- Pada pukul 18.00 nilai SNR EGC nya adalah:

$$\begin{aligned} \gamma_{EGC} &= \frac{1}{2} \left(\sqrt{\gamma_{Tx-Rx}} + \sqrt{\gamma_{relay-rx}} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \left(\sqrt{19,94} + \sqrt{157,46} \right)^2 \text{ mW} \\ &= 144,73 \end{aligned} \quad (4)$$

- Pada pukul 19.00 nilai SNR EGC nya adalah:

$$\begin{aligned} \gamma_{EGC} &= \left(\sqrt{73,7} + \sqrt{75,66} \right)^2 \text{ mW} \\ &= 149,35 \\ &= 149,35 \end{aligned}$$

Untuk melihat perbandingan hasil SNR dengan masing-masing metode pada pukul 18.00 dan 19.00 dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 9 Perbandingan nilai SNR dengan 3 metode

Waktu	SNR					
	MRC	(dB)	SC	(dB)	EGC	(dB)
18.00	177,4	22,4	157,46	21,97	147,73	21,69
19.00	149,36	21,74	75,66	18,7	149,38	21,74

Berdasarkan data dari 2 waktu yang diperbandingkan untuk melihat kinerja dari metode apa yang menghasilkan SNR terbaik dengan menggunakan frekuensi 14 MHz yaitu antara metode Maximum Ratio Combining (MRC), Selection Combining (SC), dan Equal Gain Combining (EGC), dapat dilihat pada pukul 18.00 SNR terbaik adalah jika menggunakan metode MRC dengan SNR sebesar 177,4. Berbeda dengan pukul 19.00, SNR terbaik adalah jika menggunakan metode EGC yaitu sebesar 149,38.

Pemilihan metode mana yang lebih tepat digunakan tidak ada aturan yang pasti, disini terlihat pada kedua waktu yang hanya berbeda satu jam, metode yang dapat digunakan bisa berbeda.

IV. KESIMPULAN

Telah dirancang dan diimplementasikan sistem pengukuran untuk eksperimen diversitas kooperatif pada sistem gelombang angkasa HF berbasis SDR (*Software Define Radio*). Sistem yang terealisasi telah diuji dalam pengukuran pada skala kampus dan dapat berfungsi sesuai tujuan eksperimen.

Untuk pengukuran dengan menerapkan teknik diversitas kooperatif kedepan nya, pemilihan tempat, waktu, frekuensi dan daya keluaran dari pemancar sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pengukuran. Kemudian sangat penting untuk menghindari terjadinya distorsi intermodulasi, maka dari itu diperlukan suatu *filter* yaitu *Low Pass Filter* yang berfungsi menghilangkan harmonisa. Daya keluaran dari USRP setelah dilewatkan ke *Low Pass Filter* pada frekuensi 7 MHz adalah $1,6 \times 10^{-6}$ Watt dan pada frekuensi 14 Mhz adalah $6,8 \times 10^{-8}$. Daya keluaran USRP ini sangat kecil sehingga dibutuhkan *amplifier* untuk menguatkan nya kembali. Daya keluaran dari *amplifier HF* untuk frekuensi 7Mhz adalah 14 Watt dan untuk frekuensi 14 MHz adalah 5 Watt. Daya terima di penerima pada saat pengukuran diantara dua link, paling besar dan paling baik berasal dari *relay*. Ini sesuai dengan fungsi relay untuk membantu proses pengiriman sinyal. Dari ketiga metode diversitas kooperatif yang digunakan, tidak selalu metode MRC yang memberikan SNR terbaik, tergantung dari hasil pengukuran dan perhitungan yang terjadi di lapangan

UCAPAN TERIMA KASIH

Muhammd Adirya Rizaldi mengucapkan terima kasih kepada orangtuanya atas segala dukungan dalam berkarya selama ini. Serta kepada seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro IS, khususnya dari Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nicholas Maslin. (1987), *HF Communication: A System Approach*, Plenum Press.
- [2] IPS, 2015. "*Introduction to HF Radio Propagation*", www.ips.gov.au. Download tanggal 20 Maret 2015.

- [3] Y.-W. Peter Hong, Wan-Jen Huang and C-C. Jay Kuo. (2010), *Cooperative Communications and Networking*, Springer, Minnesota, USA.
- [4] National Instrument "Tutorial Digital Communication" Download tanggal 2 Maret 2015.
- [5] Bernard Sklar. (1987), *Digital Communication Fundamental and Applications. Ed. 2, Tarzana, California.*
- [6] Dautbegovic, Dino. "Chirp Sounding and HF Application, SDR Technology Implementation". Bachelor's Thesis, Electrical Engineering. Linnaeus University. June, 2012.