

## PREDIKSI JANGKAUAN JARINGAN WIRELESS HF UNTUK SISTEM PERINGATAN DINI BENCANA DI INDONESIA

**Wismanu Susetyo, Gamantyo Hendrantoro, Achmad Affandi**

Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

E-MAIL: wismanu@elect-eng.its.ac.id, gamantyo@ee.its.ac.id, affandi@elect-eng.its.ac.id

### Abstrak

*Komunikasi radio frekuensi tinggi (2–30 MHz) adalah relatif murah melebihi aplikasi line of sight. Dan memiliki kemampuan sebagai pengganti komunikasi satelit dan troposferik. Menggunakan jejaring berarah sensor nirkabel untuk memantau dan mengidentifikasi perilaku laut, tanah, gunung dan dsb. yang berhubungan dengan aktifitas bencana gempa bumi pada daerah yang relatif sempit. Semua data kemudian dikumpulkan dan diolah pada sebuah pusat daerah regional bencana untuk selanjutnya menggunakan jejaring nirkabel radio HF membentuk sistem peringatan dini bencana nasional. Media penting untuk komunikasi radio HF adalah ionosfer yang memiliki karakteristik propagasi berbeda berdasarkan tempat dan waktu, tetapi jika dapat memperhitungkan waktu dan lokasi yang tepat komunikasi jarak jauh bisa dilakukan.*

*Paper ini dititikberatkan pada prediksi jangkauan komunikasi radio HF antar titik, yang digunakan dari enam titik pusat divisi regional ke titik pusat nasional di Indonesia. Menggunakan alat analisis komunikasi radio berbasis statistik VOACAP dihasilkan bahwa komunikasi radio terbaik dapat dilakukan pada frekuensi bencana 12,6 MHz hampir sepanjang waktu tiap hari. Padang, Pontianak, Palu, Ambon, Kupang dan Tembagapura dipilih sebagai titik pusat divisi regional dengan pusat kendali nasional di Surabaya, keseluruhan kota memiliki luas cakupan yang cukup untuk membangun sistem peringatan dini bencana di Indonesia.*

**Keyword :** prediksi jangkauan, komunikasi radio HF, peringatan dini bencana

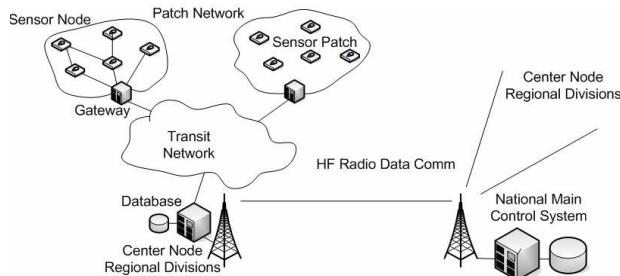
### 1. PENDAHULUAN

Link komunikasi radio HF sudah cukup popular bagi kalangan sipil maupun militer, karena relatif lebih murah untuk aplikasi komunikasi yang lebih jauh dari aplikasi komunikasi terlihat (*line-of-sight*). Aplikasi-aplikasi sipil termasuk radio broadcast gelombang pendek internasional, komunikasi darat ke kapal laut, telegrafi radio, dan kendali lalu lintas udara lintas benua. Semua layanan militer mengandalkan HF untuk strategi jarak jauh dan link taktis jarak pendek.

Meskipun gelombang langit HF memiliki beberapa sifat yang unik, disepakati bahwa hal itu merupakan kekurangan dan membatasi kegunaan maksimumnya sebagai alat yang efektif untuk komunikasi jarak jauh. Ionosfer berubah secara tepat dan pengguna HF hanya memiliki beberapa kesempatan dalam hal ini pemilihan alokasi dan penyesuaian frekuensi yang akan digunakan. Lagipula, pada umumnya tidak ada metoda pengukuran langsung, pelaporan, atau evaluasi yang memungkinkan para pengguna secara efektif menggunakan fleksibilitas kecil yang dimiliki HF.

Secara geografis Indonesia terletak pada tiga lempeng bumi, yakni lempeng India atau Indo-Australia di Selatan yang bergerak relatif ke Timur Laut dengan kecepatan 7 cm pertahun, lempeng Eurasia di sisi Utara yang bergerak relatif 9 cm pertahun ke Tenggara dan lempeng Pasifik di sisi Timur yang relatif bergerak ke Barat dengan kecepatan 11 cm pertahun. Karena itu, kepulauan Indonesia adalah tempat yang memiliki potensi bahan dengan aktifitas gempa bumi tinggi. Untuk keperluan memperkecil resiko akibat aktifitas gempa bumi, seperti tsunami, tanah longsor, perubahan bentuk tanah dan sebagainya diusulkan Sistem Peringatan Dini Bencana di Indonesia. Sistem ini terdiri dari beberapa jaringan sensor nirkabel berarah (*wireless sensor array network*) untuk memantau dan mengidentifikasi laut, daratan, gunung dan sebagainya yang berkaitan dengan aktifitas bencana gempa bumi. Semua data yang diperoleh dari sensor dikumpulkan dan diolah pada suatu sistem yang terletak di pusat divisi regional. Kemudian secara periodik data olahan dikirim ke pusat kendali nasional, untuk dikumpulkan dan diolah secara nasional seluruh data dari tiap divisi regional. Komunikasi antara semua titik pusat divisi regional dengan stasiun pengendali pusat dilakukan dengan menggunakan jaringan nirkabel radio frekuensi tinggi, seperti terlihat pada Gambar 1. Kita asumsikan untuk layanan nasional, Indonesia dibagi menjadi enam divisi regional yang masing-masing berpusat di: Padang, Pontianak, Palu, Ambon, Kupang dan Tembagapura seperti terlihat pada Gambar 2. Semua pusat divisi terhubung ke pusat kendali nasional di Surabaya.

Projek ini terdiri dari riset dan pengembangan sistem peringatan bencana dini di Indonesia menggunakan jaringan komunikasi nirkabel radio HF dari satu pusat regional ke yang lain dalam wilayah negara Indonesia. Hal ini dilakukan sebagai cadangan apabila jaringan komunikasi satelit atau kabel yang sedang bekerja rusak pada saat terjadi bencana. Komunikasi radio HF bisa dilakukan menggunakan gelombang bumi khususnya di atas permukaan air laut. Propagasi gelombang bumi sedikit tidak efisien di atas tanah dibanding di permukaan laut karena konduktivitas tanah yang rendah dan faktor-faktor lain. Pada pustaka dari *IPS Radio and Space Services*



**Gambar 1** Sistem Peringatan Dini Bencana menggunakan Jaringan Nirkabel radio Frekuensi Tinggi

Tabel 1 Lokasi geografis dan Jarak antar kota

City	latitude	longitude	Amboin	Kupang	Padang	Palu	Pontianak	Surabaya	Tembagapura
Amboin	3.72S	128.2E	0	880	3109	977	2136	1754	1008
Kupang	10.17S	123.58E	880	0	2765	1111	1938	1233	1628
Padang	0.95S	100.35E	3109	2765	0	2171	1004	1543	4117
Palu	0.88S	119.88E	977	1111	2171	0	1177	1061	1973
Pontianak	0.03S	109.3333	2136	1938	1004	1177	0	888	3142
Surabaya	7.25S	112.75E	1754	1233	1543	1061	888	0	2725
Tembagapura	4.62S	137.25E	1008	1628	4117	1973	3142	2725	0



**Gambar 2** Kepulauan Indonesia dengan alternatif cakupan pusat regional HF: Padang, Pontianak, Palu, Ambon, Kupang dan Tembagapura serta pusat kendali sistem nasional di Surabaya.

Pemerintah Australia, dijelaskan bahwa komunikasi sejauh 900 km bisa dilakukan pada frekuensi 2 MHz menggunakan daya pancar 100 Watt. Frekuensi 8 MHz, dalam kondisi sama dan menggunakan daya pancar sama, jarak maksimum berkurang sampai kira-kira 270 kilometer. Frekuensi kerja yang akan digunakan ada di bawah 14 MHz dengan daya pancar sekitar 500 Watts yang digunakan pada sistem agar propagasi gelombang bumi dapat lebih dieksploitasi. Berdasarkan *ITU Article S5 Radio Regulation* dipilih beberapa frekuensi yang dialokasikan sebagai frekuensi mara bahaya antara 4 MHz sampai 14 MHz. Berturut-turut adalah: 4,2 MHz; 6,3 MHz; 8,4 MHz dan 12,6 MHz. Frekuensi di bawah 4 MHz tidak dipergunakan karena pertimbangan ukuran antena yang terlalu besar.

Tujuan penelitian ini dibatasi hanya pada prediksi jangkauan jaringan wireless HF untuk sistem peringatan dini bencana di Indonesia yang telah diusulkan di atas. Apakah tempat-tempat yang terpilih sebagai pusat regional memenuhi syarat luas cakupan dan frekuensi mana dari keempat frekuensi darurat yang paling baik digunakan. Kita gunakan program prediksi radio ionosferik untuk merancang jangkauan pancaran dari tiap pusat regional ke pusat sistem peringatan dini bencana nasional menggunakan komunikasi radio HF.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Redaman, fading lintasan jamak dsb. dalam kaitannya dengan propagasi ionosfer perlu diperhitungkan dan diprediksi untuk merancang luas cakupan sebuah sistem komunikasi radio HF. Untuk keperluan tersebut, program-program prediksi secara umum dipergunakan, yang antara lain dapat dikelompokkan seperti secara statistik, empirik dan numerik. Program prediksi kinerja radio HF modern menghitung sebuah distribusi daya sinyal juga distribusi daya noise sebagai fungsi dari lokasi geografis, frekuensi, jam, bulan dan jumlah titik matahari (*sunspot number*). Metoda statistik yang paling umum digunakan terimplementasi pada ITU REC 533, *Ionospheric Communication Analysis and Prediction Program; IONCAP, Voice of America's VOACAP* dan *Ionospheric Communication Enhanced Profile Analysis and Circuit Prediction Program; ICEPAC* Bradley dkk menjelaskan bahwa formulasi yang lebih akurat untuk beberapa komponen propagasi yang terlibat dapat

dilakukan, menambah sumber-sumber untuk mengangkat hasil studi yang dibutuhkan. Dan pendekatan prediksi sederhana dapat digunakan yang tentu saja memberi estimasi tidak lebih akurat dibandingkan program yang sudah ada.

Tentang ICEPAC, Lane menjelaskan bahwa ICEPAC dibuat untuk memprediksi propagasi EM di daerah garis lintang rendah, menengah dan tinggi sampai ke daerah kutub. Model yang digunakan pada ICEPAC pada dasarnya sama dengan yang digunakan pada IONCAP, tetapi beberapa modifikasi telah dibuat untuk memasukkan koreksi empiris dan hasil pengukuran. ICEPAC menggunakan lapisan Chapman untuk lapisan E, F<sub>1</sub> dan F<sub>2</sub> bahkan lapisan parabolik dan juga diimplementasikan koefisien baru yang telah disetujui oleh URSI. *Ionospheric Conductivity and Electron Density (ICED)* profil model yang dipakai dalam ICEPAC, adalah model statistikal dari fitur-fitur skala luas dari belahan utara bumi, yakni dari sub auroral sampai daerah ekuator bagian dari zona auroral, daerah kutub dari zona auroral dan zona kutub. Terakhir Lane juga menjelaskan bahwa ICEPAC masih dalam taraf pengembangan dengan beberapa kesalahan yang signifikan.

Gökhun dkk. menjelaskan bahwa VOACAP dapat dengan mudah difungsikan seperti IONCAP dalam platform Windows dan Unix/Linux. VOACAP merupakan program berbasis komputer internasional, yang memprediksi kinerja sistem propagasi HF dengan menghitung parameter-parameter propagasi HF pada beberapa lokasi di bumi. Tim pengembang VOACAP menerangkan bahwa VOACAP menghitung secara detil point to point dan memetakan luas cakupan untuk beberapa parameter seperti: SNR; Reliabilitas; penguatan daya yang dibutuhkan, daya sinyal, MUF; sudut sinyal datang/pergi, dan sebagainya. Dua metoda pemetaan luas cakupan pada VOACAP:

Satu pemancar ke banyak penerima [VOAAREA], atau banyak pemancar ke satu penerima [VOAAREA Inverse] untuk studi sirkuit dua arah. Banyak peneliti telah membuktikan bahwa prediksi VOACAP lebih akurat dibandingkan yang lain, karena itu kita memprediksi luas cakupan komunikasi radio HF yang akan digunakan dalam sistem peringatan dini bencana menggunakan VOACAP.

### 3. METODE PENELITIAN

Frekuensi-frekuensi yang hendak digunakan yakni: 4,2 MHz; 6,3 MHz; 8,4 MHz and 12,6 MHz. Metoda propagasi diset ke *short/long method smoothing* untuk semua kondisi musim: Januari, April, Juli and Oktober 2008. Antenna pemancar dan penerima untuk semua node pada sistem diset sebagai Isotropic dengan penguatan +10dBi untuk mensimulasikan seperti kondisi nyata tanpa bias terhadap tipe dan ketinggian antenna. Parameter sistem diset ke level noise standard (*default*): minus 145dBw/Hz, sudut pergi minimum 0,1 derajat, reliabilitas sirkuit yang dikehendaki 90%, dan dikehendaki perbandingan S/N (REQ.SNR) 73 dB. Kita telah menghitung sistem komunikasi *point to point* dari tiap pusat regional Tembagapura, Ambon, Kupang, Palu, Pontianak, dan Padang ke pusat kendali sistem di Surabaya. Kinerja sistem radio HF tergantung pada perbandingan daya singal yang diterima penerima terhadap daya noise yang tidak diinginkan. Noise yang tidak diinginkan biasanya merupakan campuran noise yang dihasilkan oleh atmosfer, manusia dan radio galaktika. Pada beberapa kasus ahli pada sistem diharapkan memasukkan pula signal yang muncul akibat interferensi daya singal dan noise ketika melakukan pengujian kinerja. Untuk memenuhi target penelitian ini, kita menggunakan parameter-parameter yang dihasilkan oleh program prediksi sebagai berikut:

- a. Ekspektasi median daya signal pada terminal masukan penerima, S dBw.
- b. Distribusi SNR yang menunjukkan ekspektasi tingkat layanan seperti apa sepanjang hari dalam satu bulan pada frekuensi kerja dan jam yang diberikan. SNR mengindikasi nilai dB-Hz yang dapat dikelola 50% keseluruhan hari (misal selama 15 hari) dalam sebulan.
- c. MUFharian adalah sebagian hari-hari dalam sebulan pada jam tersebut frekuensi kerja adalah di bawah MUF untuk mode yang paling reliabel.
- d. REL adalah hubungan antara SNR dan REQ.SNR, dan didefinisikan sebagai faktor reliabilitas sirkuit. Ia menunjukkan presentasi dari hari-hari dalam bulan ybs. Saat nilai SNR sama dengan atau lebih baik dari REQ.SNR.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabulasi dari keempat parameter untuk tiap bulan yang diamati pada tiap frekuensi yang diinginkan sebagian dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan tabel hasil prediksi VOACAP dan peta luas cakupan, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

Ekspektasi median daya signal terburuk terjadi pada bulan Januari 2008 03.00UTC pada frekuensi 4,2 MHz antara Surabaya dengan Tembagapura -396dBw dan yang terbaik bernilai -63dBw terjadi bulan Januari 2008 22.00 UTC pada 4,2 MHz antara Surabaya dengan Pontianak. Tetapi dari nilai rerata signal, frekuensi 12,6 MHz dengan variasi antara -80dBw sampai -120dBw dari semua titik pusat regional ke Surabaya akan lebih baik bila digunakan. Lihat Gambar 3 dan 4. Sebagai klarifikasi hasil pada Tabel VOACAP, bahwa -103,1dBw dari S adalah sama dengan 33,98dBuV, 50,000uV pada masukan 50 ohm.

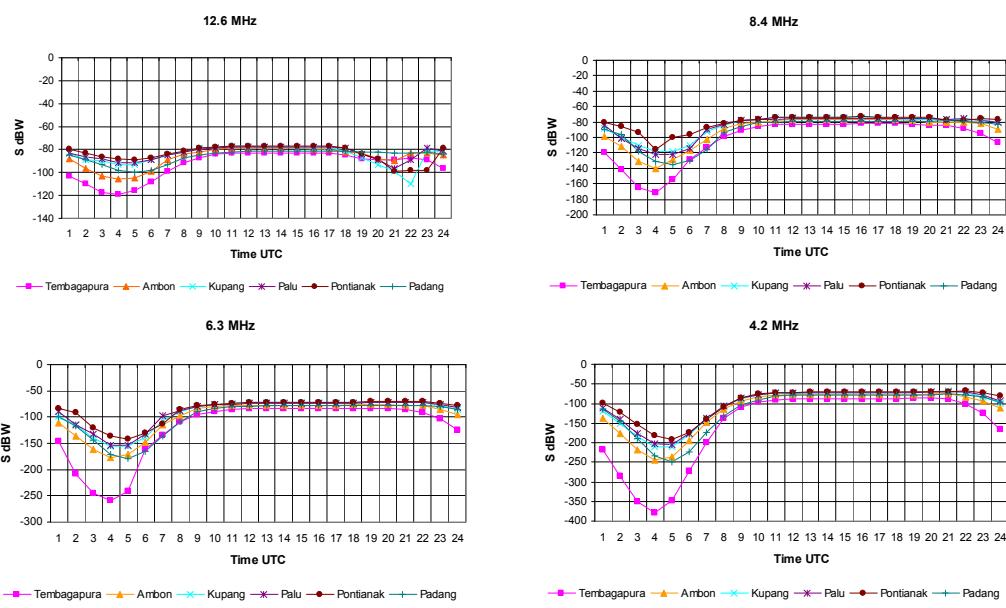
Dari distribusi SNR dapat kita amati variasi antara 25dB sampai 83dB yang terjadi pada bulan Januari 2008 pada 12,6 MHz adalah yang terbaik diantara semuanya. Rerata terbaik variasi MUF harian terjadi pada bulan Oktober

2008 pada 12,6 MHz. Dan rerata reliabilitas sirkit bulan Januari 2008 pada 12,6 MHz adalah yang terbaik dibanding frekuensi yang lain untuk semua musim. Untuk daerah terjauh seperti Tembagapura yakni berjarak sekitar 2100 km ke Surabaya, memiliki rerata MUF harian baik pada 12,6, 8,4 dan 6,3 MHz. Kondisi ini menunjukkan mode 1F2 lebih efektif dibanding daerah lain pada frekuensi yang sama. Signal terburuk dan SNR terendah terjadi pada dekat tengah hari dan yang terbaik terjadi pada dekat tengah malam waktu setempat. Hal ini menunjukkan bahwa reliabilitas sirkit menurun mendekati nol pada siang hari waktu setempat.

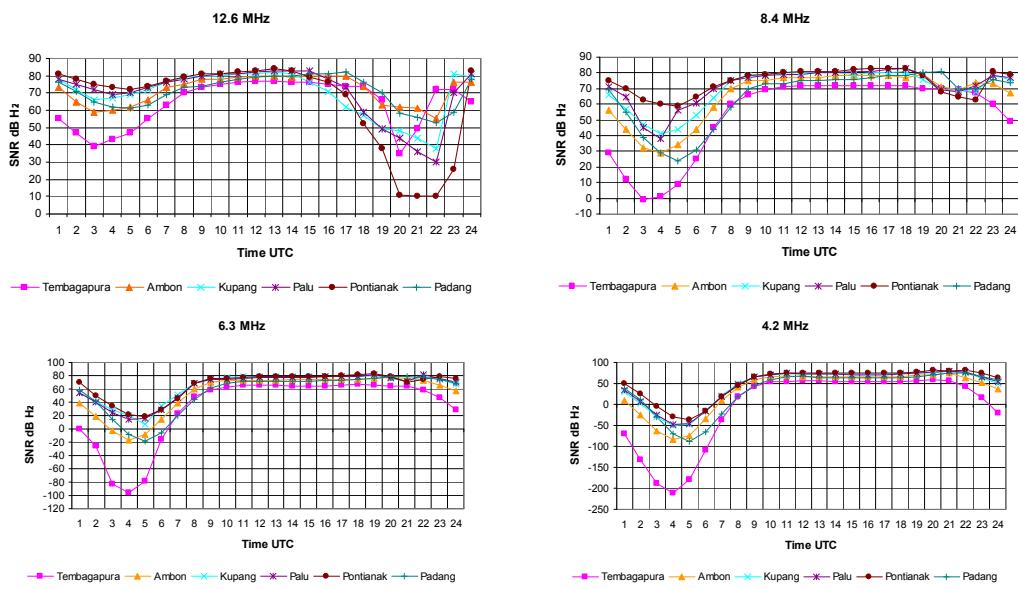
Dari Gambar 5a dan 5b peta luas cakupan penerima pada frekuensi 12,6 MHz, kita mendapatkan informasi bahwa luas cakupan dari tiap pusat regional sebagai bagian dari sistem peringatan dini bencana di Indonesia dapat diimplementasikan. *Minimum Signal to Noise median decile* (dB) tidak kurang dari 20 dB, nilai ini cukup untuk komunikasi data antara tiap pusat regional ke pusat kendali sistem. Frekuensi terbaik yang telah didiskusikan disini termasuk dalam alokasi band frekuensi darurat/bencana dan memungkinkan untuk digunakan sebagai media komunikasi data dengan modem berkecepatan minimum 300 bps.

**Tabel 2.** Prediksi Karakteristik dari SNR, S, Probabilitas MUF harian dan Reliabilitas Sirkuit dari atau ke Surabaya Pada frekuensi 12.6 MHz bulan January 2008.

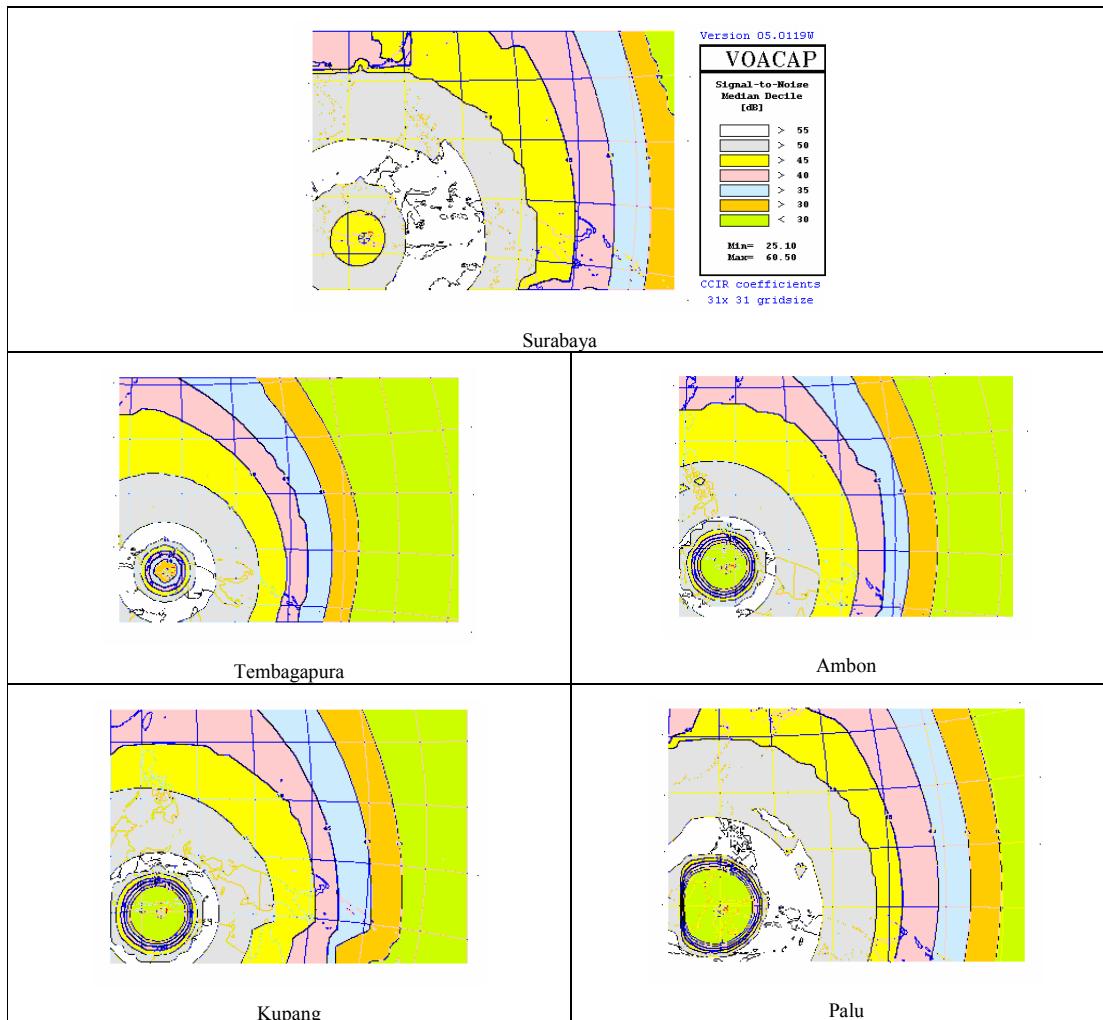
Time UTC	Surabaya S (dBW) 12.6MHz					Surabaya SNR (dB Hz) 12.6MHz					Surabaya MUFday Prob. 12.6MHz					Surabaya Cir Reliability 12.6MHz									
	Tembagapura	Ambon	Kupang	Palu	Pontianak	Padang	Tembagapura	Ambon	Kupang	Palu	Pontianak	Padang	Tembagapura	Ambon	Kupang	Palu	Pontianak	Padang	Tembagapura	Ambon	Kupang	Palu	Pontianak	Padang	Local Time (WITA)
1	-103	-88	-81	-80	-84	-83	59	74	81	81	78	78	0.89	0.99	0.88	0.73	0.46	0.97	0.02	0.56	0.84	0.85	0.61	0.76	9
2	-109	-92	-84	-82	-85	-84	53	70	78	80	77	78	0.93	0.99	0.92	0.73	0.49	0.97	0	0.31	0.75	0.8	0.61	0.73	10
3	-116	-96	-89	-86	-86	-90	46	65	73	76	76	72	0.98	1	0.97	0.81	0.52	0.98	0	0.07	0.49	0.64	0.65	0.42	11
4	-119	-100	-93	-90	-87	-96	43	62	69	72	75	66	1	1	1	0.93	0.73	0.99	0	0.02	0.23	0.44	0.58	0.1	12
5	-116	-100	-93	-90	-88	-99	46	62	69	71	73	63	1	1	1	0.98	0.9	1	0	0.03	0.25	0.39	0.52	0.04	13
6	-108	-95	-89	-88	-86	-97	54	66	72	74	75	64	0.99	1	1	0.99	0.95	1	0	0.12	0.45	0.53	0.6	0.06	14
7	-97	-89	-85	-84	-83	-92	64	72	76	77	78	69	1	1	0.99	0.96	0.9	1	0.06	0.42	0.67	0.72	0.73	0.22	15
8	-91	-84	-81	-81	-80	-87	70	76	79	79	80	74	1	1	0.99	0.94	0.88	0.99	0.27	0.68	0.8	0.81	0.83	0.54	16
9	-87	-82	-79	-79	-79	-84	73	77	80	80	81	76	1	1	0.98	0.92	0.85	0.99	0.47	0.73	0.85	0.85	0.86	0.66	17
10	-85	-81	-78	-79	-78	-82	73	77	80	80	80	76	1	0.99	1	0.91	0.82	0.99	0.52	0.74	0.85	0.84	0.85	0.69	18
11	-84	-81	-78	-78	-78	-81	74	78	80	80	80	77	1	0.98	1	0.85	0.75	0.97	0.56	0.75	0.84	0.84	0.83	0.74	19
12	-84	-81	-79	-78	-78	-81	75	78	80	81	81	78	1	0.98	0.9	0.84	0.73	0.97	0.6	0.78	0.86	0.86	0.84	0.78	20
13	-84	-81	-79	-78	-78	-81	76	79	81	81	81	79	1	0.98	0.9	0.83	0.72	0.97	0.62	0.8	0.87	0.86	0.85	0.81	21
14	-84	-81	-79	-78	-78	-81	77	79	81	82	82	79	1	0.99	0.92	0.81	0.7	0.97	0.64	0.8	0.88	0.87	0.85	0.82	22
15	-84	-81	-79	-78	-79	-81	77	79	82	82	82	80	1	0.99	0.91	0.8	0.66	0.97	0.64	0.78	0.88	0.86	0.82	0.82	23
16	-84	-82	-79	-79	-80	-81	77	79	82	82	81	80	1	0.98	0.87	0.68	0.51	0.96	0.64	0.75	0.88	0.82	0.76	0.81	24
17	-85	-82	-79	-84	-85	-81	76	79	82	77	76	80	1	0.94	0.75	0.47	0.32	0.91	0.63	0.76	0.86	0.64	0.6	0.81	1
18	-86	-83	-81	-87	-89	-81	75	78	81	74	72	80	0.91	0.74	0.52	0.29	0.16	0.82	0.56	0.71	0.76	0.53	0.47	0.8	2
19	-88	-84	-85	-87	-87	-83	74	78	76	75	74	79	0.86	0.65	0.4	0.28	0.19	0.6	0.52	0.67	0.61	0.55	0.53	0.71	3
20	-88	-84	-87	-90	-91	-83	73	77	74	71	71	79	0.79	0.51	0.28	0.16	0.11	0.5	0.5	0.64	0.53	0.43	0.42	0.7	4
21	-89	-89	-89	-94	-96	-88	72	72	72	67	66	73	0.76	0.44	0.22	0.09	0.05	0.38	0.45	0.48	0.48	0.32	0.29	0.5	5
22	-90	-83	-107	-90	-96	-89	72	78	55	71	66	72	0.99	0.68	0.03	0.14	0.05	0.33	0.4	0.71	0.14	0.42	0.29	0.46	6
23	-91	-85	-80	-97	-136	-89	71	77	81	65	25	72	1	0.97	0.55	0.08	0	0.41	0.37	0.67	0.79	0.26	0.01	0.47	7
24	-95	-86	-81	-81	-92	-83	67	76	81	81	70	79	1	0.99	0.83	0.62	0.11	0.89	0.17	0.65	0.85	0.82	0.38	0.78	8



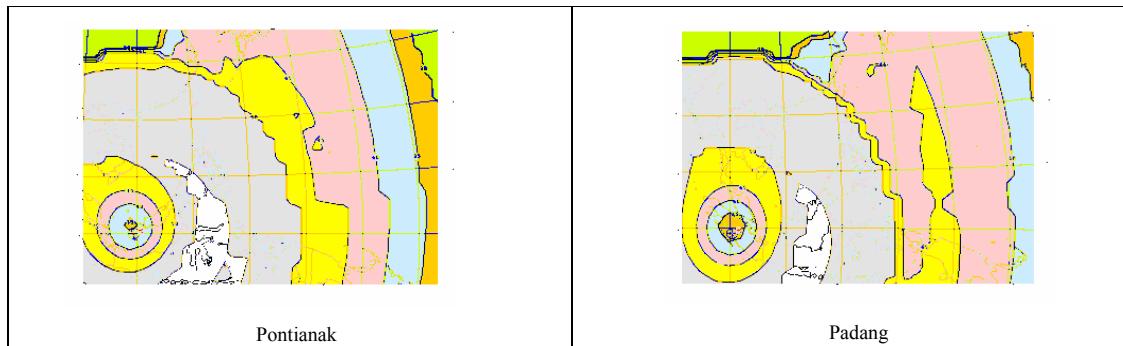
**Gambar 3.** Prediksi Karakteristik Signal Harian dari dan ke Surabaya bulan April 2008



Gambar 4. Karakteristik Perbandingan Signal terhadap Noise Ratio Harian dari dan ke Surabaya pada Juli 200



Gambar 5a. Peta luas cakupan penerima di Surabaya, Tembagapura, Ambon, Palu dan Kupang bulan Oktober 2008 jam 22.00UTC frekuensi 12,6 MHz



**Gambar 5b.** Peta luas cakupan penerima di Pontianak dan Padang bulan Oktober 2008 jam 22.00UTC frekuensi 12,6 MHz

## 5. KESIMPULAN

Untuk mengimplementasikan sistem komunikasi point to point, observasi redaman, fading lintasan jamak dsb. selama propagasi sebaiknya diprediksi terlebih dahulu. Jejaring komunikasi wireless HF antara pusat regional dengan pusat kendali sistem pada Sistem Peringatan Dini Bencana di Indonesia, sebagai cadangan (back-up) sistem komunikasi yang ada sangat mungkin untuk digunakan. Dengan menggunakan sistem komunikasi digital modern kecepatan pengiriman data dapat ditingkatkan untuk mengurangi tunda waktu selama komunikasi. Frekuensi terbaik yang dapat digunakan adalah 12,6 MHz dengan alternatif 8,4 MHz. Tempat-tempat yang dipilih sebagai pusat regional memiliki luas cakupan yang baik, kecuali daerah terjauh seperti Tembagapura yang memiliki frekuensi terbaik mungkin berubah berhubungan dengan waktu.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Article S5, 1997, *Frequency Allocation, Radio Regulation Final Act Work Recommendation Conference (WRC)-1997*, International Telecommunication Union (ITU)
- Australian Government, IPS Radio and Space Services, “*Introduction of HF Radio Propagation*”, <http://www.ips.gov.au>
- Bernard D. Perry, 1983, *A New Wideband HF Technique for MHz-Band Spread Spectrum Radio Communication*, IEEE Communication Magazine, September 1983
- Bradley P.A. et al., 2000, *Propagation Models for HF Radio Service Planning*, HF Radio Systems and Techniques, Conference Publication No. 474 @ IEE 2000
- George Lane, 2005, *Review of High Frequency Ionospheric Communication Enhanced Profile Analysis and Circuit (ICEPAC) Prediction Program*, Ionospheric Effects Symposium, Alexandria VA USA, May 3-5, 2005.
- S. Gökhun Tanyer, Cemil B. Erol, 1988, *Broadcast Analysis and Prediction in the HF Band*, IEEE Transaction On Broadcasting, Vol. 44, No.2, June 1988
- Tiar Prasetya dkk., 2006, *Gempa Bumi*, Gitanagari: Yogyakarta pp. 11-15
- VOACAP Overview, <http://www.voacap.com/overview.html>