

Optimasi Prediksi High Frekuensi Untuk Komunikasi Jarak Jauh Guna Pemantauan Laut Wilayah Indonesia

Fahraini Bacharuddin¹, Setiyo Budiyo¹ dan Hadi Wuryanto¹

Abstract: HF radio waves is influenced by changes in the ionosphere so that the working frequency with a frequency channel can not be used to support communication continuously for 24 hours from time to time between the elements incorporated in the operational activities of the different positions. The study used descriptive method that aims to describe the phenomenon and the context of the optimization of the operational monitoring of HF to support Indonesia Sea region. The problems that arise in the operations of this because they have not integrated among other units, so that the delivery of information to one of the operational elements often results in failure, the use of the operating frequency is not referring to Optimum Work Frequency (OWF) prediction results corresponding time of the operation, it will result in communication can not be carried out for 24 hours from time to time and means of communication which has been presented to the ALE feature is not yet fully using frequency prediction results so that radio communication function ALE is not optimal. From the data processing to the problems that arise can be concluded that the use of nets of communication with Mesh Topology Natuna islands in the region because all the elements can communicate point-to-point or relay, Software ASAPS for working frequency assignments based on OWF predicted results

Keywords: HF, OWF, ASAPS

Abstrak: Gelombang radio HF sangat dipengaruhi oleh perubahan ionosfer sehingga frekuensi kerja dengan satu kanal frekuensi tidak dapat digunakan untuk mendukung komunikasi secara terus-menerus selama 24 jam dari waktu ke waktu antar unsur yang tergabung dalam kegiatan operasional dengan posisi yang berbeda. Penelitian menggunakan metode deskriptif [2] yang bertujuan untuk mendeskripsikan fenomena dan konteks optimasi HF guna mendukung operasional pemantauan wilayah Laut Indonesia. Permasalahan yang timbul pada kegiatan operasional ini karena belum terintegrasi antara unit yang lain, sehingga penyampaian informasi ke salah satu unsur pelaksana operasional sering mengalami kegagalan, penggunaan frekuensi kerja belum mengacu kepada *Optimum Work Frequency* (OWF) hasil prediksi sesuai waktu pelaksanaan operasi, hal ini akan berakibat komunikasi tidak dapat dilaksanakan selama 24 jam dari waktu ke waktu dan sarana komunikasi yang sudah tergelar dengan fitur ALE belum sepenuhnya menggunakan frekuensi hasil prediksi sehingga fungsi radio komunikasi ALE tidak optimal. Dari hasil pengolahan data terhadap permasalahan yang timbul dapat disimpulkan bahwa penggunaan jaring komunikasi dengan Topologi *Mesh* di wilayah kepulauan Natuna karena seluruh unsur dapat melakukan komunikasi *point-to-point* maupun estafet, *Software ASAPS* untuk penetapan frekuensi kerja berdasarkan OWF hasil prediksi

Kata kunci: HF, OWF, ASAPS

PENDAHULUAN

Frekuensi HF menggunakan lapisan atmosfer yang paling tinggi yaitu ionosfer. Ionosfer adalah lapisan udara yang merupakan bagian dari atmosfer atas bumi yang terletak pada ketinggian 60 km – 600 km di atas permukaan bumi. Lapisan Ionosfer mempunyai sifat kemampuan untuk memantulkan gelombang radio frekuensi tinggi (HF: High Frequency). Frekuensi gelombang radio yang dipantulkan bergantung pada kerapatan elektronnya, semakin tinggi kerapatan elektron lapisan tersebut maka semakin tinggi pula frekuensi yang dapat dipantulkan. Sifat tersebut dapat dipantulkan oleh manusia untuk melakukan komunikasi jarak jauh dengan menggunakan frekuensi tinggi [8]

Komunikasi jarak jauh dengan menggunakan alokasi frekuensi HF (High Frequency) memerlukan ketepatan dalam penggunaan frekuensi tersebut. Range frekuensi HF tidak terlalu lebar hanya dikisaran 3 – 30 MHz. Optimasi penggunaan frekuensi pada *range* ini berupa prediksi antara satu tempat tetap dengan area yang telah ditentukan. Prediksi dilakukan untuk dapat memilih frekuensi kerja terbaik (*Best Usable Frequency/BUF*) diantara set frekuensi yang ada untuk komunikasi dari satu stasiun tetap ke satu lokasi dimana stasiun bergerak berada. [11].

Penggunaan sistem komunikasi dengan menggunakan teknologi gelombang radio transmisi HF merupakan sistem komunikasi mandiri dalam yang tidak tergantung kepada operator selular. Komunikasi HF bekerja pada frekuensi antara 3 - 30 MHz. Sifat perambatan gelombang dengan frekuensi HF menggunakan gelombang langit (*skywave*) yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer bumi sehingga sangat efektif untuk komunikasi jarak jauh, namun sangat bergantung pada kondisi ionosfer yang bervariasi dari siang dan malam (waktu ke waktu) serta lokasi radio pemancar dan penerima. Kondisi saat ini komunikasi hanya menggunakan satu kanal frekuensi utama dan satu kanal frekuensi cadangan sehingga sering terjadi kendala tidak bisa berkomunikasi akibat perubahan ionosfer, untuk mengoptimalkan komunikasi tersebut diperlukan penetapan frekuensi hasil prediksi yang disesuaikan dengan lokasi radio dan perubahan propagasi waktu ke waktu. [13]

Jaringan komunikasi saat ini menggunakan Topologi *Tree* dengan frekuensi kerja satu kanal frekuensi utama dan satu kanal frekuensi cadangan dan belum sepenuhnya menggunakan frekuensi yang dapat digunakan untuk komunikasi selama 24 jam, sehingga sering terjadi kegagalan berkomunikasi antar unsur. Diharapkan semua unsur yang terlibat dalam pengamanan Laut Indonesia dapat berkomunikasi secara terintegrasi baik secara langsung maupun estafet dengan menggunakan frekuensi kerja yang optimal dan dapat berkomunikasi selama 24 jam dari waktu ke waktu. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana Jakarta

Kegagalan komunikasi antar unsur yang tergabung dalam kegiatan operasi diakibatkan karena jaringan masih mengacu kepada organisasi administrasi sesuai hirarki, frekuensi kerja belum mengacu kepada *Optimum Work Frequency* (OWF) hasil prediksi, sarana komunikasi yang sudah tergelar dengan fitur ALE belum sepenuhnya menggunakan frekuensi hasil prediksi sehingga fungsi radio komunikasi HF ALE tidak optimal

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana Jakarta

Upaya untuk meningkatkan kemampuan dalam pemantaun Laut Indonesia dengan penetapan jaring komunikasi terintegrasi dalam Topologi *Mesh*, prediksi frekuensi HF dengan menggunakan program *Advanced Stand Alone Prediction System (ASAPS)* untuk mendapatkan frekuensi kerja yang optimal yang dapat digunakan selama 24 jam dari waktu ke waktu dan implementasi hasil penetapan frekuensi. Prediksi frekuensi yang dilakukan untuk pola harian bulan Januari 2016 dan pola bulanan untuk bulan Januari, Februari, Maret tahun 2016 antar stasion darat dan antara stasion darat dengan KRI yang beroperasi di wilayah kepulauan Natuna. Frekuensi kerja selama tiga bulan ditetapkan berdasarkan OWF hasil prediksi yang disesuaikan dengan alokasi frekuensi dari Kementerian Pertahanan Republik Indonesia untuk TNI AL.

Prediksi dilakukan dengan memasukkan data lokasi stasion radio, tanggal dan bulan prediksi, penggunaan antena, prosentase keberhasilan komunikasi yang diinginkan, pemilihan untuk stasion tetap/bergerak, dan T-indeks (pengaruh sinar matahari terhadap lapisan ionosfir). Keluaran/hasil prediksi berupa tabel frekuensi *Maximum Usable Frequency (MUF)*, *Optimum Work frequency (OWF)* selama 24 jam, grafik frekuensi, *frequency planning*, dan *area prediction*.

TINJAUAN PUSTAKA

Komunikasi HF

Komunikasi menggunakan gelombang frekuensi HF merupakan komunikasi yang fleksibel dan murah karena tidak tergantung dengan operator selular. Namun frekuensi ini mempunyai kelemahan yaitu dipengaruhi oleh kondisi siang dan malam[9]. Dalam menggunakan sistem komunikasi radio HF faktor yang mempengaruhi dan perlu menjadi bahan pertimbangan adalah:

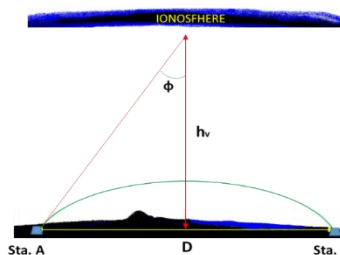
1. Sifat kesederhanaan bahwa sistem komunikasi HF secara teoritis dapat mencapai semua tempat dimuka Bumi, tidak memerlukan prasarana yang terlalu mahal dan simpel, mempunyai mobilitas dan fleksibilitas yang tinggi. Dengan adanya sifat kesederhanaan dari sistem komunikasi HF ini maka biaya investasi dan operasional relatif menjadi rendah.
2. Dalam sistem radio HF mempunyai keterbatasan-keterbatasan yang sangat mempengaruhi keandalannya, seperti sifat propagasi gelombang HF yang tergantung kepada jarak, waktu, cuaca, letak/keadaan geografis dari stasion radio yang bersangkutan.

Propagasi Gelombang Radio HF

Perambatan Gelombang angkasa (*sky wave*) pada komunikasi HF selain dipengaruhi oleh daya pancar dan jarak antar stasion radio juga tergantung pada lapisan ionosfer, dengan lapisan ini maka memungkinkan komunikasi radio jarak yang sangat jauh dapat dicapai dengan daya pancar yang tidak harus besar serta pengaruh hambatan kelengkungan bumi dan benda diatas permukaan bumi dapat diatasi. Karena lapisan ionosfer sangat dipengaruhi oleh aktifitas matahari maka terdapat beberapa vareasi yaitu vareasi harian (24 jam), musiman (bulanan), dan siklus matahari (9-11 tahunan).[5][8]

Maximum Usable Frequency (MUF).

MUF merupakan batasan frekuensi tertinggi pada gelombang radio HF yang dapat dipantulkan kembali ke bumi pada jarak tertentu. MUF dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [5]:



■ Gambar 1. Pancaran Gelombang HF

$$\cos \phi = \frac{h\nu}{\sqrt{h\nu^2 + (\frac{D}{2})^2}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\cos \phi = \frac{2h\nu}{\sqrt{(4h\nu)^2 + (\frac{D}{2})^2}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{karena } n = \sin \phi = \sqrt{1 - \frac{f_c^2}{f_m^2}} \dots\dots\dots (3)$$

maka:

$$\frac{fc^2}{fm^2} = 1 - \sin^2 \phi = \cos^2 \phi \quad \dots\dots\dots (4)$$

Penggabungan rumus (2) dengan (4) diperoleh:

$$\frac{fc^2}{fm^2} = \frac{4hv^2}{4hv^2 + D^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Untuk mendapatkan fm/MUF rumus (5) dibalik menjadi:

$$\frac{fm^2}{fc^2} = \frac{4hv^2 + D^2}{4hv^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

atau:

$$\frac{fm^2}{fc^2} = 1 + \left(\frac{D}{2hv}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

Jadi :

$$fm/MUF = fc \sqrt{1 + \left(\frac{D}{2hv}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Berdasarkan penelitian diperoleh nilai OWF:

$$OWF = 0,85 fm \quad \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

- f_m = Maximum Usable Frequency (MUF)
- D = jarak antar stasion radio
- fc = frekuensi kritis
- h_v = ketinggian Ionosfer

Prediksi HF

Merupakan proses pemilihan frekuensi pada rentang waktu tertentu untuk komunikasi radio dan hal lainnya agar gelar komunikasi radio berjalan dengan lancar, perangkat yang digunakan dalam proses manajemen frekuensi ini berupa piranti lunak (*software*) ASAPs atau buku prediksi frekuensi dan parameter komunikasi radio lainnya, data koordinat geografis atau lokasi stasiun radio (baik stasiun tetap maupun yang bergerak), informasi tentang indeks aktivitas matahari (bilangan *sunspot*) atau ionosfer (*indeks T*).[1][12]

Diagram prediksi sebagai berikut:



■ **Gambar 2.** Diagram Pengolahan Data Prediksi frekuensi

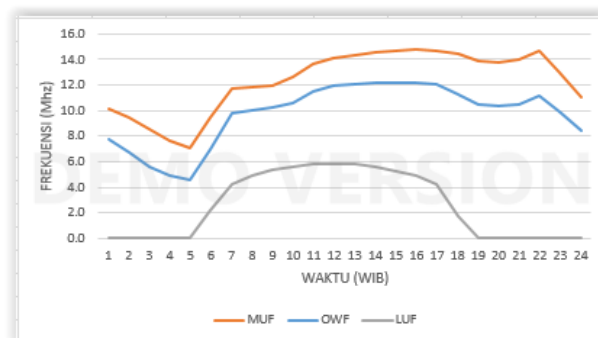
Adapun Output prediksi diperoleh MUF, OWF, LUF berdasarkan pada Gambar 2 dapat dilihat dari Tabel 1 sebagai berikut:

■ **Tabel 1.** Daftar Frekuensi November 2015

Circuit 1: JKT-TPI											Distance: 845km											Date: November 2015																					
Tx: Jakarta											-6 10.2 106 48.											Bearings: 339 159											T-index: 66										
Rx: Tandjungpinang											0 55.2 104 3.0											Path: Short Path																					
WIB		First Mode: 1F 28-47 1E 10					Second Mode: 2F 48-65 2E 22																																				
		UD	MUF	OWF	EMUF	LUF	UD	MUF	OWF	EMUF	LUF																																
1		12.5	10.1	7.7	1.5	0.0	9.6	7.8	6.0	0.9	0.0																																
2		12.4	9.5	6.7	1.5	0.0	9.5	7.4	5.3	0.9	0.0																																
3		11.8	8.6	5.6	1.5	0.0	9.0	6.7	4.5	0.9	0.0																																
4		10.4	7.6	4.9	1.5	0.0	8.1	6.0	4.0	0.9	0.0																																
5		9.8	7.1	4.6	1.5	0.0	7.2	5.4	3.6	0.9	0.0																																
6		11.7	9.4	7.0	3.6	2.2	8.5	6.8	5.2	0.0	1.7																																

7	13.2	11.7	9.8	8.1	4.2	10.1	8.9	7.6	4.6	2.8
8	13.4	11.8	10.0	10.0	4.9	10.7	9.5	8.0	5.7	3.2
9	13.7	12.0	10.2	11.1	5.4	11.5	10.2	8.7	6.3	3.5
10	14.6	12.6	10.6	11.8	5.6	12.3	10.6	9.0	6.8	3.7
11	16.4	13.6	11.5	12.2	5.8	13.4	11.2	9.5	7.0	3.8
12	17.0	14.1	12.0	12.4	5.8	13.7	11.4	9.7	7.1	3.8
13	17.3	14.3	12.1	12.2	5.8	13.8	11.5	9.8	7.0	3.8
14	17.6	14.6	12.2	11.8	5.6	14.1	11.8	9.9	6.8	3.7
15	17.9	14.7	12.2	11.0	5.3	14.4	11.9	9.9	6.4	3.5
16	17.9	14.8	12.2	9.9	4.9	14.5	12.0	10.0	5.7	3.2
17	17.8	14.7	12.1	8.0	4.2	14.5	12.0	9.9	4.6	2.7
18	17.5	14.4	11.3	2.5	1.7	14.1	11.7	9.2	1.3	1.2
19	17.1	13.9	10.5	1.5	0.0	13.8	11.3	8.6	0.9	0.0
20	16.9	13.8	10.4	1.5	0.0	13.5	11.1	8.5	0.9	0.0
21	17.2	14.0	10.5	1.5	0.0	13.7	11.2	8.6	0.9	0.0
22	18.1	14.7	11.1	1.5	0.0	13.6	11.2	8.5	0.9	0.0
23	16.0	13.0	9.9	1.5	0.0	11.8	9.6	7.4	0.9	0.0
24	13.7	11.0	8.4	1.5	0.0	10.3	8.4	6.5	0.9	0.0

Dari tabel di atas daftar frekuensi hasil prediksi bulan November 2015 dapat digambarkan secara grafik seperti yang tercantum pada Gambar 3 sebagai berikut:



■ Gambar 3 Grafik Frekuensi November 2015

Topologi Jaringan Komunikasi.

Topologi jaringan komunikasi merupakan teknik untuk menghubungkan perangkat antar stasiun radio dalam suatu model komunikasi yang disesuaikan dengan tingkat kepentingan operasi.

a. Topologi *Tree*. Topologi ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 merupakan jaringan bertingkat sesuai hirarki dan digunakan komunikasi antar stasiun radio.

b.



■ Gambar 4. Jaringan Komunikasi Topologi *Tree*

c. Topologi *Mesh*. Merupakan jaringan yang saling terhubung satu sama lain dimana setiap stasiun radio akan terhubung ke stasiun radio yang tergabung dalam kegiatan operasi dan latihan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.

d.



■ Gambar 5. Jaringan Komunikasi Topologi *Mesh*

PROSEDUR PENELITIAN

Metode Penelitian.

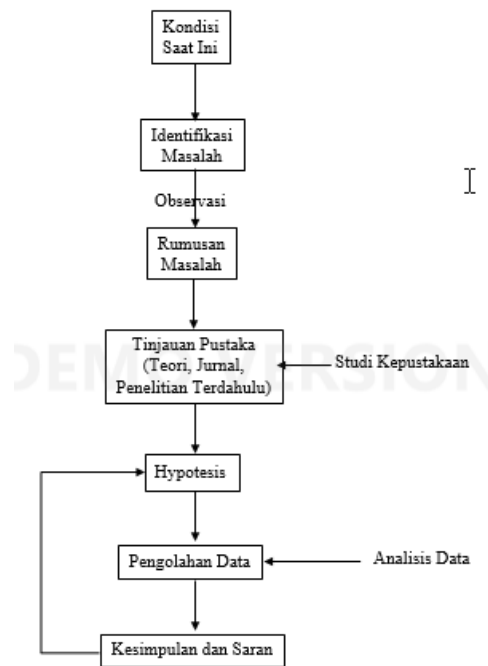
Menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif untuk menjelaskan permasalahan dalam implementasi Prediksi Frekuensi HF untuk mendukung Kodalops pengamanan jalur/corong ALKI I di wilayah kepulauan Natuna.

Unit Analisis.

Penelitian dilaksanakan di Mabesal pada satker Diskomlekal yang mengimplementasikan Prediksi Frekuensi HF, pada Juni 2015, yang difokuskan bagian yang terlibat langsung pada pengelolaan Frekuensi HF TNI Angkatan Laut.

Langkah-langkah Penelitian.

Adapun langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada flow chart seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini:



■ **Gambar 6.** Flowchart Penelitian

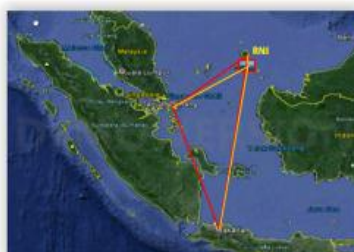
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Analisis Data.

Komando Kendali Operasi Wilayah Kepulauan Natuna.

Perairan Kepulauan Natuna memiliki kerawanan pelanggaran hukum di laut yang meliputi pelanggaran wilayah, pencurian ikan, pembalakan liar hutan, peredaran obat-obatan terlarang, dan perdagangan manusia. Peran pangkalan sangat penting karena operasi laut tidak akan berjalan dengan optimal tanpa diimbangi aspek dukungan komunikasi yang baik dan memadai. Data pangkalan dan area KRI dalam melaksanakan operasi ALKI I di wilayah kepulauan Natuna adalah sebagai berikut:

a. Pangkalan Kodalops Wilayah ALKI I Kepulauan Natuna



■ **Gambar 7.** Pangkalan Kodalops Kepulauan Natuna

b. Area KRI pada operasi ALKI I Kepulauan Natuna.



■ **Gambar 8.** Area KRI Operasi corong ALKI I Kepulauan Natuna

e. Posisi Pangkalan dan KRI

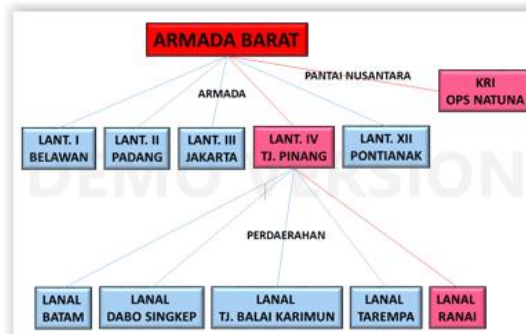
Berikut ini adalah daftar posisi statio radio dari pangkalan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

■ **Tabel 2.** Daftar Posisi Stasion Radio

PANGKALAN/KRI	LINTANG	BUJUR	LOKASI
Armada Barat (JKT)	6° 10,2' S	106° 48,0' T	Jakarta
Lantamal IV (TPI)	0° 55,2' U	104° 3,0' T	Tanjung Pinang
Lanal Ranai (RNI)	3° 49,2' U	108° 22,8' T	Natuna
KRI (Perairan Kepulauan Natuna)	2° 56,0' U	107° 50,0' T	A
	3° 33,0' U	107° 50,0' T	B
	3° 33,0' U	108° 45,0' T	C
	2° 56,0' U	108° 45,0' T	D

Jaring Komunikasi Kodalops ALKI I (Wilayah Kepulauan Natuna).

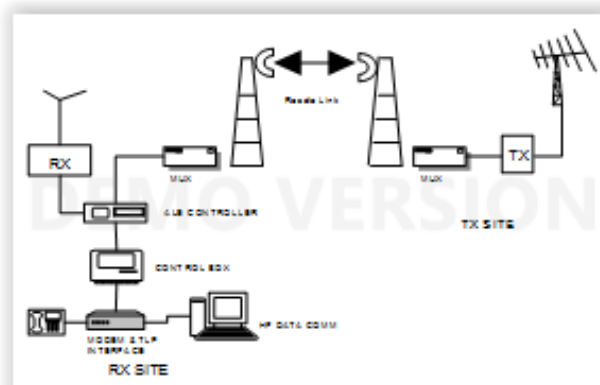
Jaring komunikasi wilayah barat dapat digambarkan pada Gambar 9 sebagai berikut:



■ **Gambar 9.** Jaring komunikasi HF Wilayah Barat

Sistem Komunikasi HF TNI AL.

Peratan komunikasi dipisahkan dalam dua lokasi (*splitsite*) yaitu Stasion Penerima (RX) dan Stasion Pemancar (TX) yang keduanya di hubungkan dengan radio Link untuk transmisi data antara RX dan TX, hal ini dimaksudkan agar setiap jaring komunikasi tidak saling mengganggu saat secara bersamaan melaksanakan komunikasi. Diagram *splitsite* dan peralatan komunikasi unsur yang tergabung dalam Kodalops ALKI I adalah sebagai berikut:



■ **Gambar 10.** Diagram Stasion Radio TNI AL

■ **Tabel 3.** Daftar peralatan komunikasi

Stasion Radio	Antena	Power Radio	Keterangan
Armada Barat	Monochrome	1000 Watt (150, 250, 500, 1000)	ALE
Lantamal IV (TPI)	Monochrome	1000 Watt (150, 250, 500, 1000)	ALE
Lanal Ranai (RNI)	Dipole (V Inverted)	150 Watt	ALE
KRI	Whip	500 Watt (150, 250, 500)	ALE

Pembahasan.

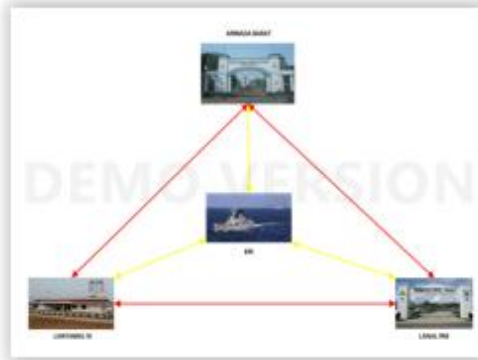
Komando Kendali Operasi.

Dengan dukungan komunikasi yang handal dan menggunakan frekuensi kerja yang tepat sesuai waktu pelaksanaan operasi diharapkan Kodalops mempunyai kemampuan:

- Memiliki komando kendali yang tidak terpengaruh oleh gangguan frekuensi.
- Mempunyai kemampuan menyampaikan informasi pada waktu yang sama (*real time*).
- Sistem kendali yang terintegrasi sehingga Informasi yang ditampilkan oleh Puskodal dapat memperlancar kecepatan proses pengambilan keputusan.
- Mempunyai kemampuan untuk memonitor pergerakan kapal yang sedang melaksanakan operasi.

Komunikasi HF.

Komunikasi dalam mendukung kegiatan operasi di wilayah Kepulauan Natuna mengacu pada topologi jaringan *mesh* hal ini agar setiap unsur mampu berkomunikasi dengan unsur lain yang tergabung dalam suatu operasi pemantauan, selain itu apabila terjadi kegagalan salah satu unsur berkomunikasi dengan station lain maka secara berjenjang dan estafet komunikasi tetap dapat dilakukan sehingga informasi dalam kegiatan operasi pemantauan tetap dapat sampai pada sasaran akhir. Adapun jaring komunikasi yang diharapkan adalah sebagai berikut:



■ Gambar 11. Jaring Komunikasi Topologi Mesh

Maximum Usable Frequency (MUF).

Perhitungan MUF berdasarkan Teori Antena dan Propagasi.

Berdasarkan permasalahan pada *Antennas and Wave Propagation* edisi ke-8 yang dikeluarkan oleh TCE, MUF/ f_m sesuai dengan rumus (2.8) dengan asumsi $h_v = 300$ meter (malam hari), f_c menggunakan foF2 dari LAPAN dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f_m = f_c \sqrt{1 + \left(\frac{D}{2h_v}\right)^2}$$

Untuk $f_c = 6$ MHz:

$$f_m = 6 \times \sqrt{1 + \left(\frac{848883}{2 \times 300}\right)^2}$$

$$f_m = 6 \times 1.7325$$

$$f_m = \mathbf{10,39519432 \text{ MHz}}$$

Untuk $f_c = 7$ MHz:

$$f_m = 7 \times \sqrt{1 + \left(\frac{848883}{2 \times 300}\right)^2}$$

$$f_m = 7 \times 1.7325$$

$$f_m = \mathbf{12,1275 \text{ MHz}}$$

Sehingga diperoleh OWF sebagai berikut:

$$\text{OWF (6MHz)} = 10,39519432 \times 0,85$$

$$= \mathbf{8,835915174 \text{ MHz}}$$

$$\text{OWF (7MHz)} = 12,1275 \times 0,85$$

$$= \mathbf{10,308375 \text{ MHz}}$$

Jadi OWF Jakarta – Tanjung Pinang antara frekuensi 8,835915174 MHz sampai dengan frekuensi 10,308375 MHz, frekuensi rata-rata sebesar **9,572145087 MHz**.

Prediksi Frekuensi dengan Software ASAPs.

Dari hasil prediksi frekuensi dengan menggunakan software ASAPs untuk bulan Nopember 2015 pada jam 17 UT (00 wib) diperoleh frekuensi untuk model satu kali pantulan lapisan 1F sebesar MUF = **11,1 MHz** dan OWF = **8,4 MHz** serta model dua kali pantulan lapisan 2F sebesar MUF = **8,4 MHz** dan OWF = **6,5 MHz**.

Penggunaan *software* ASAPs akan memberikan kemudahan kepada pengguna karena tanpa harus menghitung secara matematis dengan asumsi ketinggian lapisan ionosfer dan frekuensi kritis selama 24 jam. Selain itu kemungkinan keberhasilan komunikasi, besaran MUF, OWF, LUF, banyaknya pantulan gelombang radio pada lapisan ionosfer, sudut elevasi antenna, arah baringan antenna, jarak antar stasion radio dan grafik frekuensi secara langsung dapat diketahui.

Hasil prediksi dan alokasi frekuensi kerja

Berdasarkan hasil prediksi frekuensi dengan menggunakan *software* untuk wilayah kepulauan Natuna untuk bulan Januari, Februari dan Maret 2016 adalah sebagai berikut:

■ Tabel 4. Daftar Frekuensi Bulan Januari 2016

JAM	JKT-RNI				TPI-RNI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	9.4	7.1	0	7.0	6.7	5.1	0	4.8
2	8.6	6	0	5.9	6.1	4.3	0	3.5
3	7.6	4.9	0	3.8	5.3	3.5	0	3.5
4	6.9	4.4	0	3.8	4.7	3	0	3.5
5	6.7	4.2	0	3.8	4.4	2.8	0	3.5
6	8	5.9	3.5	5.9	5.1	3.8	1.2	3.5
7	11.6	9.7	5.4	9.2	8.2	6.9	3.2	6.9
8	12.4	10.4	6.3	10.3	9.6	8.1	3.8	7.9
9	12.3	10.3	6.8	10.3	10.1	8.5	4.1	7.9
10	11.8	10.4	7.1	10.3	10	8.5	4.3	7.9
11	12.2	10.8	7.3	10.3	9.9	8.4	4.4	7.9
12	13.1	11.1	7.3	11.0	10.3	8.7	4.4	7.9
13	13.9	11.8	7.2	10.3	10.6	9	4.4	9.0
14	14.4	12	7	11.5	10.9	9.1	4.3	9.0
15	14.2	11.7	6.6	11.5	11.1	9.1	4	9.0
16	14.2	11.7	6	11.5	11.2	9.2	3.7	9.0
17	14.2	11.7	5	11.5	11	9.1	3.1	9.0
18	13.8	10.8	0	10.3	10.9	8.5	0	7.9
19	13	9.8	0	9.2	10.3	7.7	0	7.6
20	12.5	9.3	0	9.2	9.7	7.3	0	7.0
21	12.8	9.6	0	9.2	9.5	7.2	0	7.0
22	13	9.7	0	9.2	9.4	7	0	7.0
23	11.3	8.6	0	7.9	8.1	6.1	0	5.9
24	9.6	7.3	0	7.0	7	5.3	0	4.8

JAM	RNI-KRI				JKT-TPI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	5.6	4.3	0	3.8	8.3	6.3	0	5.1
2	5	3.6	0	3.5	7.7	5.4	0	5.1
3	4.4	3	0	3.5	6.9	4.4	0	3.7
4	3.8	2.6	0	3.5	6.2	4	0	3.7
5	3.6	2.4	0	3.5	5.8	3.7	0	3.7
6	4.5	3.5	1.3	3.5	6.5	4.8	2.3	4.8

7	7.1	6	2.3	5.9	9.4	7.9	4.2	7.8
8	8.3	7.1	2.6	7.0	10.5	8.9	4.9	8.8
9	8.9	7.6	2.9	7.6	10.7	9.1	5.3	9.1
10	9.2	7.8	3	7.6	10.8	9.1	5.6	9.1
11	9.1	7.7	3.1	7.6	11.3	9.5	5.7	9.1
12	9.3	7.9	3.1	7.9	12.2	10.3	5.8	10.3
13	9.4	8	3.1	7.9	13.2	11.2	5.7	11.2
14	9.6	8.1	3	7.9	13.6	11.3	5.6	11.2
15	9.7	8.1	2.8	7.9	13.3	11	5.3	10.8
16	9.8	8.1	2.5	7.9	13.1	10.8	4.9	10.8
17	9.5	7.9	2	7.9	13.1	10.8	4.1	10.8
18	9.4	7.4	0	7.0	12.6	9.8	1.8	9.1
19	8.8	6.7	0	5.9	11.7	8.8	0	8.8
20	8.3	6.3	0	5.9	11.2	8.4	0	7.8
21	8	6.1	0	5.9	11.2	8.4	0	7.8
22	7.6	5.8	0	5.1	11.3	8.5	0	7.8
23	6.7	5.1	0	5.1	10.2	7.8	0	7.8
24	6	4.6	0	4.8	8.8	6.6	0	5.9

JAM	JKT-RNI				TPI-RNI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	9.4	7.1	0	7.0	6.7	5.1	0	4.8
2	8.6	6	0	5.9	6.1	4.3	0	3.5
3	7.6	4.9	0	3.8	5.3	3.5	0	3.5
4	6.9	4.4	0	3.8	4.7	3	0	3.5
5	6.7	4.2	0	3.8	4.4	2.8	0	3.5
6	8	5.9	3.5	5.9	5.1	3.8	1.2	3.5
7	11.6	9.7	5.4	9.2	8.2	6.9	3.2	6.9
8	12.4	10.4	6.3	10.3	9.6	8.1	3.8	7.9
9	12.3	10.3	6.8	10.3	10.1	8.5	4.1	7.9
10	11.8	10.4	7.1	10.3	10	8.5	4.3	7.9
11	12.2	10.8	7.3	10.3	9.9	8.4	4.4	7.9
12	13.1	11.1	7.3	11.0	10.3	8.7	4.4	7.9
13	13.9	11.8	7.2	10.3	10.6	9	4.4	9.0
14	14.4	12	7	11.5	10.9	9.1	4.3	9.0
15	14.2	11.7	6.6	11.5	11.1	9.1	4	9.0
16	14.2	11.7	6	11.5	11.2	9.2	3.7	9.0
17	14.2	11.7	5	11.5	11	9.1	3.1	9.0
18	13.8	10.8	0	10.3	10.9	8.5	0	7.9
19	13	9.8	0	9.2	10.3	7.7	0	7.6
20	12.5	9.3	0	9.2	9.7	7.3	0	7.0
21	12.8	9.6	0	9.2	9.5	7.2	0	7.0
22	13	9.7	0	9.2	9.4	7	0	7.0
23	11.3	8.6	0	7.9	8.1	6.1	0	5.9
24	9.6	7.3	0	7.0	7	5.3	0	4.8

■ Tabel 5. Daftar Frekuensi Bulan Februari 2016

JAM	JKT-KRI				TPI-KRI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	9.6	7.2	0	7.0	7.2	5.5	0	5.1
2	9.4	6.6	0	5.9	6.7	4.8	0	4.8
3	8.7	5.6	0	5.1	5.9	3.9	0	3.8
4	8.1	5.2	0	5.1	5.6	3.6	0	3.6
5	7.4	4.7	0	3.8	4.9	3.2	0	3.6
6	7.9	5.8	3.3	5.1	4.9	3.7	1.2	3.6
7	12.6	10.6	5.3	10.3	8.5	7.2	2.9	7.0
8	13.4	11.3	6.1	11.3	10	8.5	3.4	7.9
9	13	11	6.6	10.8	10.4	8.8	3.7	8.8

10	13	11	6.9	10.8	10.5	8.9	3.9	8.8
11	13.9	11.7	7.1	11.5	10.9	9.2	4	9.1
12	14.3	12.1	7.1	12.1	11	9.3	4	9.1
13	14.7	12.4	7	12.1	11.1	9.4	4	9.1
14	14.9	12.4	6.8	12.1	11.3	9.4	3.8	9.1
15	15.4	12.7	6.5	12.1	11.6	9.6	3.6	9.1
16	15.4	12.7	5.9	12.1	11.6	9.6	3.3	9.1
17	15.3	12.6	4.9	12.1	11.7	9.7	2.8	9.1
18	15.4	12	0	11.5	11.5	9.1	0	9.1
19	14.8	11.1	0	10.8	11.2	8.4	0	7.9
20	14.3	10.8	0	10.8	10.7	8.1	0	7.9
21	15.1	11.3	0	11.3	10.9	8.2	0	7.9
22	16.1	12	0	11.8	10.9	8.2	0	7.9
23	14.5	11	0	10.8	9.8	7.5	0	7.5
24	11	8.3	0	7.9	7.8	5.9	0	5.9

JAM	RNI-KRI				JKT-TPI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	6.5	5	0	4.9	8.7	6.6	0	5.9
2	5.9	4.3	0	3.8	8.6	6	0	5.9
3	5.1	3.4	0	3.3	7.9	5.1	0	4.8
4	4.7	3.1	0	3.3	7.2	4.7	0	4.8
5	4.1	2.8	0	3.3	6.6	4.3	0	4.8
6	4.7	3.5	1.4	3.5	6.6	4.9	2.1	4.8
7	7.6	6.5	2.3	5.9	10.6	8.9	4.2	8.8
8	9	7.7	2.7	7.5	11.6	9.8	4.9	9.2
9	9.4	8	2.9	7.9	11.6	9.8	5.4	9.2
10	9.6	8.2	3.1	7.9	11.8	10	5.6	9.2
11	9.8	8.4	3.1	7.9	12.9	10.9	5.8	10.8
12	10	8.5	3.1	7.9	13.7	11.6	5.8	11.5
13	10	8.5	3.1	7.9	14.2	12	5.8	11.5
14	10.2	8.6	3	7.9	14.4	12.1	5.6	11.5
15	10.4	8.7	2.8	7.9	14.8	12.2	5.3	11.5
16	10.4	8.6	2.6	7.9	14.7	12.1	4.9	11.5
17	10.4	8.7	2.1	7.9	14.3	11.8	4.2	11.5
18	10.2	8	0	7.9	14.3	11.2	1.4	11.2
19	9.8	7.5	0	7.5	13.7	10.4	0	10.3
20	9.4	7.1	0	7.0	13.2	10	0	9.2
21	9.3	7.1	0	7.0	13.4	10.1	0	9.2
22	8.9	6.8	0	5.9	14.1	10.6	0	10.3
23	8	6.2	0	5.9	12.9	9.8	0	9.2
24	6.8	5.3	0	5.1	10	7.6	0	9.2

JAM	JKT-RNI				TPI-RNI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	9.8	7.4	0	7.4	7.6	5.7	0	5.1
2	9.6	6.7	0	5.9	7.1	5	0	4.9
3	8.9	5.7	0	5.1	6.2	4	0	3.8
4	8.3	5.3	0	5.1	5.8	3.8	0	3.8
5	7.6	4.8	0	4.8	5.1	3.3	0	3.3
6	8.2	6	3.5	5.9	5.2	3.9	1.5	3.8
7	13	10.9	5.5	10.8	9	7.6	3.3	7.5
8	13.8	11.6	6.3	11.2	10.5	8.9	3.8	8.8
9	13.3	11.2	6.9	11.2	10.8	9.1	4.2	9.1
10	13.3	11.2	7.2	11.2	10.8	9.2	4.4	9.1
11	14.1	11.9	7.3	11.2	11.2	9.4	4.5	9.1
12	14.5	12.2	7.4	12.1	11.2	9.5	4.5	9.1
13	14.9	12.6	7.3	12.1	11.3	9.6	4.5	9.1

14	15.1	12.6	7.1	12.1	11.5	9.6	4.3	9.1
15	15.6	12.8	6.7	12.1	11.9	9.8	4.1	9.1
16	15.7	12.9	6.1	12.1	12	9.9	3.7	9.1
17	15.5	12.8	5.1	12.1	12.1	10	3.1	9.1
18	15.6	12.2	0	12.1	11.9	9.3	0	9.1
19	15	11.3	0	11.2	11.5	8.7	0	7.9
20	14.6	11	0	10.8	11.1	8.4	0	7.9
21	15.4	11.6	0	11.2	11.3	8.5	0	7.9
22	16.4	12.3	0	12.1	11.3	8.5	0	7.9
23	14.8	11.2	0	11.2	10.2	7.8	0	7.8
24	11.2	8.5	0	7.9	8.2	6.2	0	5.9

■ Tabel 6. Daftar Frekuensi Bulan Maret 2016

JAM	JKT-KRI				TPI-KRI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	11.8	9.2	0	9.2	8.8	6.9	0	6.9
2	10.3	7.4	0	7.4	7.9	5.7	0	5.1
3	9.9	6.5	0	5.9	7.3	4.9	0	4.9
4	9	5.9	0	5.9	6.4	4.2	0	3.8
5	7.8	5.1	0	5.1	5.4	3.6	0	3.6
6	8.6	6.5	3.2	5.9	5.7	4.3	1.4	3.8
7	14.1	12	5.3	11.5	9.6	8.2	2.9	7.9
8	14.8	12.7	6.2	13.7	11	9.4	3.4	9.2
9	15.2	13	6.7	12.7	11.8	10.1	3.7	10.1
10	15.3	13.2	7	12.7	11.7	10.2	3.9	10.1
11	15.6	13.9	7.1	13.9	11.8	10.4	4	10.3
12	16.2	14.4	7.2	14.4	11.9	10.5	4	10.3
13	17.4	15.5	7.1	14.9	12.1	10.8	4	10.8
14	18	15.4	6.9	14.9	12.5	10.7	3.9	10.3
15	17.8	14.9	6.5	14.9	12.7	10.6	3.7	10.3
16	17.7	14.8	5.9	14.8	12.9	10.8	3.4	10.8
17	17.7	14.7	4.9	14.5	13.1	11	2.8	10.8
18	16.8	13.5	0	13.4	12.8	10.3	0	10.3
19	17	13.3	0	12.7	12.4	9.8	0	9.2
20	18	14.1	0	13.9	12.7	9.9	0	9.2
21	18.5	14.5	0	14.5	12.6	9.9	0	9.2
22	18.5	14.5	0	14.5	12.5	9.8	0	9.2
23	18.2	14.3	0	13.9	12.1	9.5	0	9.2
24	14.8	11.5	0	11.5	10.1	7.9	0	7.9

JAM	RNI-KRI				JKT-TPI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	7.7	6.1	0	5.9	10.7	8.3	0	7.9
2	6.9	5.1	0	5.1	8.9	6.4	0	5.9
3	6.2	4.2	0	3.8	8.3	5.5	0	5.1
4	5.3	3.6	0	3.6	7.6	5	0	4.9
5	4.5	3.1	0	3.6	6.7	4.4	0	3.8
6	5.4	4.2	1.5	3.8	7.1	5.3	1.8	5.1
7	8.5	7.3	2.4	7.3	11.7	9.9	4.2	9.2
8	9.9	8.5	2.7	7.9	12.8	10.9	5	10.8
9	10.6	9.1	3	9.1	13.5	11.6	5.4	11.5
10	10.5	9.1	3.1	9.1	14.1	12.2	5.7	12.1
11	10.4	9.2	3.2	9.1	14.8	13.1	5.8	12.7
12	10.4	9.2	3.2	9.1	15.4	13.7	5.9	13.4
13	10.5	9.4	3.1	9.1	16.6	14.7	5.8	14.5
14	10.8	9.3	3	9.1	16.9	14.4	5.7	14.4
15	11.1	9.4	2.9	9.2	16.8	14.1	5.4	13.9
16	11.5	9.6	2.6	9.2	16.5	13.8	4.9	13.4

17	11.5	9.7	2.1	9.2	16.4	13.7	4.2	13.4
18	11.1	9	0	9.0	15.5	12.5	0	12.4
19	10.7	8.5	0	7.9	15.5	12.1	0	12.1
20	10.7	8.4	0	7.9	16.3	12.8	0	12.7
21	10.5	8.3	0	7.9	16.5	12.9	0	12.7
22	10.3	8.1	0	7.9	16	12.5	0	12.4
23	9.8	7.7	0	7.6	15.6	12.2	0	12.1
24	8.5	6.7	0	5.9	13.3	10.4	0	10.3

JAM	JKT-RNI				TPI-RNI			
	MUF	OWF	LUF	ALK	MUF	OWF	LUF	ALK
1	12.1	9.4	0	9.2	9.2	7.2	0	7.0
2	10.6	7.6	0	7.6	8.3	6	0	5.9
3	10.2	6.7	0	5.9	7.7	5.1	0	5.1
4	9.2	6	0	5.9	6.7	4.4	0	3.8
5	8.1	5.2	0	5.1	5.7	3.7	0	3.7
6	8.9	6.7	3.5	5.9	6	4.6	1.7	3.8
7	14.6	12.4	5.5	12.4	10.2	8.7	3.3	7.9
8	15.2	13	6.4	12.7	11.6	9.9	3.9	9.2
9	15.5	13.3	6.9	12.7	12.3	10.5	4.2	10.3
10	15.6	13.5	7.2	13.4	12	10.4	4.4	10.3
11	15.9	14.1	7.4	13.9	12	10.6	4.5	10.3
12	16.5	14.6	7.5	14.5	12.1	10.7	4.6	10.3
13	17.7	15.7	7.4	14.9	12.5	11.1	4.5	11.1
14	18.2	15.6	7.1	14.9	12.9	11	4.4	10.8
15	18	15	6.8	14.9	13.1	11	4.2	10.8
16	18	15	6.1	14.9	13.4	11.2	3.8	11.1
17	17.9	15	5.1	14.9	13.6	11.3	3.2	11.1
18	17.1	13.8	0	13.4	13.2	10.6	0	10.3
19	17.3	13.6	0	13.4	12.8	10.1	0	10.1
20	18.3	14.4	0	14.4	13	10.2	0	10.1
21	18.8	14.8	0	14.8	13	10.2	0	10.1
22	19	14.8	0	14.8	13	10.2	0	10.1
23	18.7	14.6	0	14.4	12.7	9.9	0	9.2
24	15.1	11.8	0	11.5	10.6	8.3	0	7.9

Kemungkinan keberhasilan 50-90%

Implementasi Frekuensi Kerja pada ALE.

Dari hasil prediksi antar stasion darat dan antara stasion darat dengan KRI untuk bulan Januari, Februari dan Maret 2016 diperoleh besaran frekuensi kerja untuk mendukung operasional di wilayah kepulauan Natuna sebagai berikut:

■ **Tabel 7.** Kanal Frekuensi Hasil Prediksi bulan Januari, Februari, Maret 2016.

Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)
CH. 0	3.3	CH. 14	7.6	CH. 28	11.3
CH. 1	3.5	CH. 15	7.8	CH. 29	11.5
CH. 2	3.6	CH. 16	7.9	CH. 30	11.8
CH. 3	3.7	CH. 17	8.8	CH. 31	12.1
CH. 4	3.8	CH. 18	8.9	CH. 32	12.4
CH. 5	4.8	CH. 19	9.0	CH. 33	12.7
CH. 6	4.9	CH. 20	9.1	CH. 34	13.4
CH. 7	5.1	CH. 21	9.2	CH. 35	13.7
CH. 8	5.9	CH. 22	10.1	CH. 36	13.9
CH. 9	6.9	CH. 23	10.3	CH. 37	14.4
CH. 10	7.0	CH. 24	10.8	CH. 38	14.5
CH. 11	7.3	CH. 25	11.0	CH. 39	14.8
CH. 12	7.4	CH. 26	11.1	CH. 40	14.9

CH. 13	7.5	CH. 27	11.2		
--------	-----	--------	------	--	--

Frekuensi kerja untuk bulan Januari 2016 adalah sebagai berikut:

■ Tabel 8. Group 1 (Januari 2016).

Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)
CH. 0	3.3	CH. 8	5.9	CH. 20	9.1
CH. 1	3.5	CH. 10	7.0	CH. 21	9.2
CH. 2	3.6	CH. 14	7.6	CH. 22	10.1
CH. 3	3.7	CH. 15	7.8	CH. 23	10.3
CH. 4	3.8	CH. 16	7.9	CH. 24	10.8
CH. 5	4.8	CH. 17	8.8	CH. 25	11.0
CH. 7	5.1	CH. 18	8.9	CH. 29	11.5
CH. 9	6.9	CH. 19	9.0		

Frekuensi kerja untuk bulan Februari 2016 adalah sebagai berikut:

■ Tabel 9. Group 2 (Februari 2016).

Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)
CH. 0	3.3	CH. 10	7.0	CH. 21	9.2
CH. 1	3.5	CH. 12	7.4	CH. 23	10.3
CH. 2	3.6	CH. 13	7.5	CH. 24	10.8
CH. 4	3.8	CH. 15	7.8	CH. 27	11.2
CH. 5	4.8	CH. 16	7.9	CH. 28	11.3
CH. 6	4.9	CH. 17	8.8	CH. 29	11.5
CH. 7	5.1	CH. 19	9.0	CH. 30	11.8
CH. 8	5.9	CH. 20	9.1	CH. 31	12.1

Frekuensi kerja untuk bulan Maret 2016 adalah sebagai berikut:

■ Tabel 10. Group 3 (Maret 2016)

Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)	Kanal	Frek. (MHz)
CH. 2	3.6	CH. 14	7.6	CH. 31	12.1
CH. 3	3.7	CH. 16	7.9	CH. 32	12.4
CH. 4	3.8	CH. 19	9.0	CH. 33	12.7
CH. 6	4.9	CH. 20	9.1	CH. 34	13.4
CH. 7	5.1	CH. 21	9.2	CH. 35	13.7
CH. 8	5.9	CH. 22	10.1	CH. 36	13.9
CH. 9	6.9	CH. 23	10.3	CH. 37	14.4
CH. 10	7.0	CH. 24	10.8	CH. 38	14.5
CH. 11	7.3	CH. 26	11.1	CH. 39	14.8
CH. 12	7.4	CH. 29	11.5	CH. 40	14.9

KESIMPULAN

Jaring komunikasi dengan Topologi *Mesh* sangat mendukung pelaksanaan pemantauan di wilayah kepulauan Natuna karena seluruh unsur dapat melakukan komunikasi *point-to-point* maupun estafet karena dengan menggunakan topologi mesh maka semua pangkalan dapat langsung berkomunikasi tanpa melalui proses dari atas terlebih dahulu. Penggunaan *software* ASAPS untuk penetapan frekuensi kerja berdasarkan OWF hasil prediksi sesuai waktu pelaksanaan operasi sangat efektif dan efisien sehingga dapat melakukan komunikasi selama 24 jam dari waktu ke waktu. Dari hasil perhitungan dapat diperoleh frekuensi rata-rata sebesar **9,572145087** MHz sedangkan pada tabel hasil simulasi ASAPS di sekitar frekuensi tersebut dan hasil pada simulasi ASAPS terdapat beberapa frekuensi yang terdiri dari frekuensi utama dan frekuensi back up termasuk dengan kanalnya. Penetapan frekuensi kerja hasil prediksi yang disesuaikan dengan alokasi frekuensi dari Kementerian Pertahanan RI untuk TNI AL dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan frekuensi pada komunikasi radio HF ALE untuk unsur yang tergabung dalam operasional pemantauan di wilayah kepulauan Natuna, sehingga penggunaan radio HF ALE akan lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bureau of Meteorology. (2008). *Tutorial IPS Radio and Space Services ASAPS for Windows V5.2*. Australia: Commonwealth.
- [2] Creswell, John W., (2014), *Research Design : Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- [3] Departement of Defense. (1997). *C4ISR Architecture Framwork Version 2.0*. USA.
- [4] Kennedy. (1970). *Electronic Communication Systems*. Australia: McGraw-Hill, Inc.
- [5] Prakash, Getha. *Antenna and Wave Propagation, 8th sem TCE. Solved Numericals on Unit 5*. Dept of ECE
- [6] Sylvania System Group. (1983). *Fundamentals of Electronic System*. Western Division GTE Communications Products Corporation.
- [7] Sugiyono. (2014). “*Metode Penelitian Manajemen*”. Bandung: Alfabeta.
- [8] Tomasi, Wayne. *Electronic Communication Systems Fundamentals Through Advanced*. Fourth Edition.
- [9] Jiyo. *Manajemen Frekuensi Dan Evaluasi Kanal HF Sebagai Langkah Adaptasi Terhadap Perubahan Kondisi Lapisan Ionosfer*. LAPAN: Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa.
- [10] Muslim B., (2002). *Penentuan MUF Menggunakan Model Sederhana Ionosfer Regional Indonesia*. LAPAN: Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa.
- [11] Suhartini S., *Komunikasi Radio HF Untuk Dinas Bergerak*. LAPAN: Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi.
- [12] Suhartini S., *Menguji Hasil Prediksi ASAPS dengan Hasil Pengamatan*. LAPAN: Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa.
- [13] Suhartini S., *Pemanfaatan Prediksi Frekuensi Komunikasi Radio HF Untuk Manajemen Frekuensi*. LAPAN: Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa.
- [14] Keputusan Menteri Pertahanan Nomor: Kep/1290/XI/2013 tanggal 20 November 2013 tentang Frekuensi HF yang digunakan Kementerian Pertahanan dan Tentara Nasional Indonesia.