

# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM VHF-ER MENGGUNAKAN ROIP DI JAKARTA AIR TRAFFIC SERVICE CENTER

Ary Lea Laga Sepmiati<sup>1</sup>, Eka Purwa Laksana<sup>2</sup>

1. Fakultas Teknik

Universitas Budi Luhur, Jakarta, 12260

Telp : (021) 5853753 ext 253

1252510191@student.budiluhur.ac.id

2. Fakultas Teknik

Universitas Budi Luhur, Jakarta, 12260

Telp : (021) 5853753 ext 253

eka.purwalaksana@budiluhur.ac.id

## ABSTRAK

Penggunaan peralatan radio VHF Air to Ground (VHF A/G) sebagai sarana komunikasi antara menara Air Traffic Control (ATC) dan pesawat harus dijamin ketersediaannya. Untuk melayani kebutuhan komunikasi pada area Jakarta Air Traffic Service Center (JATSC), diperlukan penempatan radio VHF di beberapa lokasi yang disebut dengan VHF Extended Range (VHF-ER). Pada sistem VHF-ER, sinyal informasi dari radio VHF disalurkan melalui saluran transmisi Very Small Aperture Terminal (VSAT). Dalam tugas akhir ini, dibahas mengenai implementasi Radio over Internet Protocol (RoIP) pada VHF-ER dimana sinyal analog radio VHF yang dikonversikan ke data digital melalui internet protocol disalurkan menggunakan VSAT. Pendekatan yang digunakan untuk mengukur kualitas transmisi suara adalah metode penilaian kualitas subjektif dengan Mean Opinion Score (MOS) dan objektif dengan perhitungan R faktor pada E-model. Berdasarkan hasil penilaian subjektif dan objektif rata-rata nilai MOS 4,158 dan rata-rata nilai MOSCQE 3,756. Sehingga hasil implementasi RoIP pada sistem VHF-ER masih dalam kategori baik untuk digunakan operasional komunikasi antara ATC dan pilot karena nilai MOS tersebut masih lebih baik dari nilai MOS kebanyakan sistem yang menggunakan codec G.729a yaitu 3,7.

**Kata kunci:** RoIP, VHF-ER, MOS, E-Model, MOSCQE;

## ABSTRACT

The use of VHF Air to Ground (VHF A / G) radio equipment as a means of communication between the Air Traffic Control (ATC) tower and the aircraft must be guaranteed its availability. To serve the communication needs of the Jakarta Air Traffic Service Center (JATSC) area, VHF radio placement is required in some locations called VHF Extended Range (VHF-ER). In the VHF-ER system, information signals from VHF radios are routed through the Very Small Aperture Terminal (VSAT) transmission line. In this final project, we discuss about implementation of Radio over Internet Protocol (RoIP) on VHF-ER where VHF radio analog signal which is converted to digital data through internet protocol is channeled using VSAT. The approach used to measure the quality of sound transmission is the subjective quality assessment method with Mean Opinion Score (MOS) and objective with R factor calculation on E-model. Based on the results of the subjective and objective assessment the average value of MOS 4.158 and the average value of MOSCQE 3.756. So the result of RoIP implementation on VHF-ER system is still in good category for operational use of communication between ATC and pilot because MOS value is still better than MOS value of most system using G.729a codec that is 3.7.

**Keywords:** RoIP, VHF-ER, MOS, E-Model, MOSCQE

## I. PENDAHULUAN

Implementasi komunikasi penerbangan pada internet protokol telah diatur sesuai standar ICAO Doc 9896 [1]. Implementasi ini meliputi perangkat di sisi ATC maupun pesawat [2]. Penggunaan RoIP pada komunikasi radio VHF-ER dalam kondisi khusus dari sektor kontrol ATC, menggunakan media komunikasi selain kabel tembaga (jaringan *Hybrid Fiber Coaxial* atau VSAT), untuk mengkomunikasikan pusat kontrol ATC dan lokasi penempatan radio yang jauh [3]. RoIP memberikan kinerja yang sama dengan komunikasi radio yang disempurnakan dengan baik, namun menggunakan jaringan IP digital untuk memungkinkan komunikasi dan koneksi antara dua atau lebih perangkat radio analog atau jaringan radio. Data *Radio Frequency* (RF) paket dapat ditransmisikan ke manapun melalui jaringan berbasis IP, dan dapat dipulihkan di tempat tujuan. Oleh karena itu, dimungkinkan mentransmisikan data melalui jaringan berbasis IP [4]. Dengan konversi data radio ke router melalui gateway (RoIP), dimungkinkan untuk menjangkau area kontrol ATC yang melampaui jarak 250 *Nautical Miles* (NM) dari lokasi kerja ATC [5]. Secara teori implementasi RoIP bersama VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) dapat menjawab kebutuhan operasional ATC, namun untuk penerapan dalam penggunaan secara nyata perlu dibuktikan. Mengingat kekritisitas waktu yang tinggi di ATC, kombinasi RoIP dan VSAT nampaknya berisiko, karena delay pada saluran transmisi dapat menyebabkan masalah keselamatan penerbangan yang serius dan mengurangi kepadatan terbang yang dapat dicapai. Selain itu, biaya kapasitas satelit mengharuskan kompresi suara, dimana hal ini mengurangi kualitas dan kejelasannya, meningkatkan jumlah pertukaran minimum antara dua ujung pengguna dan dengan demikian meningkatkan waktu reaksi mereka. Salah satu rintangan terakhir yang menghambat jalur penelitian ini adalah bahwa manusia harus dilibatkan dalam evaluasi setiap solusi yang diajukan, karena kinerjanya mempengaruhi hasilnya [6].

Pada akhirnya, kebutuhan implementasi komunikasi penerbangan pada internet protokol akan semakin besar. Penerapan teknologi berbasis internet protokol dapat dilaksanakan dengan pengadaan peralatan baru. Hanya saja, besar biaya investasi yang diperlukan membuat hal tersebut harus dilakukan secara bertahap. Dengan rancangan sistem VHF-ER menggunakan RoIP, akan dapat mengoptimalkan peralatan berbasis analog tanpa menghambat migrasi sistem komunikasi penerbangan secara keseluruhan menuju internet protokol.

## II. DASAR TEORI

### A. Radio VHF Pada Komunikasi Penerbangan

Pelayanan lalu lintas udara adalah layanan aeronautika yang diberikan kepada pilot oleh ATC yang memenuhi syarat untuk memandu pesawat terbang yang berada di darat atau di udara dengan

tujuan utama menghindari tabrakan, mengatur, memprediksi arus lalu lintas, dan penyediaan dukungan lain yang diperlukan [7]. Komunikasi suara adalah satu dari tiga komponen dalam pelayanan lalu lintas udara yang paling vital saat ini, sehingga tidak diperbolehkan terputus komunikasi antara pilot dan ATC. Infrastruktur yang diperlukan untuk komunikasi suara pada dunia penerbangan adalah jaringan *transceiver radio* yang ditempatkan pada posisi strategis dan disetel pada frekuensi tertentu sehingga dapat memberikan jangkauan sesuai kebutuhan. Posisi dan karakteristik transceiver VHF ini dipilih secara cermat sehingga memaksimalkan jangkauan dan kapasitas jaringan. Oleh karena sifat komunikasi radio, maka ketika seorang ATC berbicara pada frekuensi tertentu, maka semua pilot yang berada di bawah arahan ATC tersebut wajib menyetel radio pada frekuensi yang sama.

Pembagian spektrum frekuensi untuk pemanfaatan berbagai kebutuhan bidang telah diatur dengan jelas. Untuk komunikasi suara antara pilot dan ATC menggunakan radio VHF pun telah diatur dan seragam di seluruh dunia pada pita frekuensi 117,975 Mhz sampai dengan 137 MHz tetapi batas frekuensi tertinggi yang boleh dipergunakan adalah 136.975 MHz. Separasi minimal (*minimum separation*) frekuensi yang telah ditentukan dalam pelayanan komunikasi penerbangan adalah 25 KHz dan/atau 8,33 KHz. Pembagian peralatan komunikasi VHF-A/G berdasarkan pada penggunaan unit lalu lintas udara secara nasional dan internasional dapat dilihat dari Tabel 1.

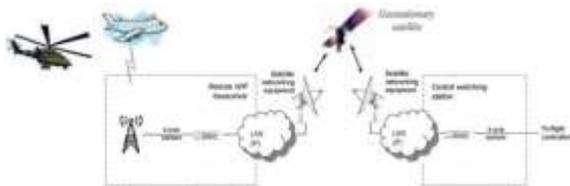
Tabel 1. Pembagian Peralatan Komunikasi VHF-A/G [8]

NO	Komunikasi <i>Air to Ground</i>	Simbol	Pelayanan		Keterangan
			Jarak NM (Nautical Miles)	Ketinggian Terbang (Flight Level)	
1.	VHF-Aerodrome Control	ADC	25	40	
2.	VHF-Approach Control Low	APP-L	25	100	
3.	VHF-Approach Control High	APP-I	40	150	
4.	VHF-Approach Control High	APP-H	50	250	
5.	VHF-Area Control Service (Lower Air Space)	ACC-L	FIR	250	FIR : Flight Information Region
6.	VHF-Flight Information Service (Lower Air Space)	AFIS	FIR	250	
7.	VHF-Area Control Service (Upper Air Space)	ACC-U	UIR	450	UIR : Upper Flight Information Region

Penggunaan peralatan radio VHF untuk memenuhi kebutuhan area kontrol yang luas seperti ACC bisa jadi terhambat oleh sifat radio VHF yang mengharuskan *Line of Sight* (LOS) antara masing-masing transceiver. Oleh karena itu infrastruktur

radio VHF dimungkinkan dapat dipasang dalam jumlah banyak baik dalam satu lokasi maupun berbeda lokasi. Hal ini disebabkan oleh pembagian sektor-sektor pada ruang udara untuk memenuhi kebutuhan komunikasi suara pada area yang sangat luas ataupun kepadatan lalu lintas udara pada suatu area. Rencana sektor dan frekuensi diperbarui tergantung pada perubahan regulasi di sebuah negara dan peningkatan kepadatan penerbangan.

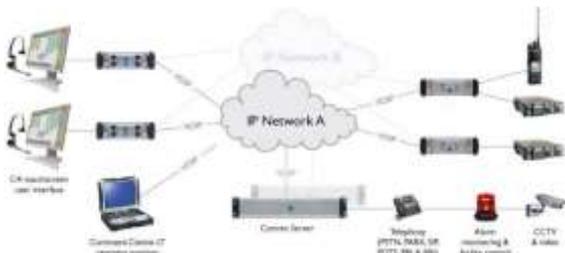
Pada penggunaan radio VHF yang mengharuskan penempatan peralatan *transceiver* sangat jauh dari pusat kontrol ATC, maka digunakan media VSAT yang menjembatani interkoneksi antara sistem radio VHF dan VCCS (*Voice Communication Control System*). Modifikasi pemanfaatan sistem radio VHF, VSAT dan VCCS seperti ini diistilahkan dengan sistem VHF-ER. Ilustrasi implementasi sistem VHF-ER pada komunikasi penerbangan terdapat pada gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Sistem VHF-ER [6]

### B. Radio over Internet Protocol (RoIP)

RoIP adalah sebuah teknologi sistem radio yang menggunakan standar *Voice over IP* (VoIP) dan bekerja melalui perangkat lunak maupun keras. RoIP memungkinkan adanya multi komunikasi dengan banyak frekuensi serta terhubung dengan perangkat komunikasi. Contoh arsitektur sistem peralatan yang menggunakan RoIP ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Contoh Pemanfaatan RoIP [9]

Prinsip dasar cara kerja RoIP adalah pemancaran radio menggunakan standar VoIP, yaitu mengubah sinyal audio analog menjadi digital melalui LAN/WAN. Perangkat-perangkat dalam sistem ini sifatnya independen atau tidak saling bergantung. Perangkat yang digunakan tidak terbatas pada satu perangkat melainkan berbagai perangkat yang berbasis internet protokol atau gerbang yang dapat mengubahnya ke dalam bahasa internet protokol. Untuk lebih memahami sistem kerja RoIP, maka perlu dijabarkan terlebih dahulu tentang VoIP yang menjadi acuan standar dalam menerapkan teknologi RoIP.

### 1) Voice over Internet Protocol (VoIP)

VoIP merupakan teknologi yang memungkinkan komunikasi suara berjalan di atas jaringan berbasis *packet switched*. Pada layanan VoIP sinyal suara akan diubah menjadi paket data kemudian dikompresi dengan menggunakan teknik kompresi tertentu sehingga ukurannya menjadi lebih kecil sehingga siap ditransmisikan pada jaringan paket. Prinsip kerja VoIP adalah mengubah suara analog yang didapatkan dari speaker pada komputer menjadi paket data digital, kemudian dari PC diteruskan melalui Hub atau Router kemudian dikirimkan melalui jaringan internet dan akan diterima oleh tempat tujuan melalui media yang sama. Selain itu, VoIP bisa juga disambungkan melalui media telepon diteruskan ke phone adapter yang terkoneksi dengan internet dan bisa diterima oleh telepon tujuan. Untuk Pengiriman sebuah sinyal ke *remote destination* dapat dilakukan secara digital yaitu sebelum dikirim data yang berupa sinyal analog diubah ke bentuk data digital dengan *Analog to Digital Converter* (ADC), kemudian ditransmisikan, dan di penerima dipulihkan kembali menjadi data analog dengan *Digital to Analog Converter* (DAC). Begitu juga dengan VoIP, digitalisasi audio dalam bentuk paket data, dikirimkan dan di pulihkan kembali dalam bentuk audio di penerima. Format digital lebih mudah dikendalikan, dalam hal ini dapat dikompresi, dan dapat diubah ke format yang lebih baik dan data digital lebih tahan terhadap *noise* dari pada analog.

### 2) Protokol Pada RoIP

Berdasarkan fungsinya, protokol pada RoIP dapat dibedakan menjadi 2 yaitu protokol persinyalan dan media transfer. Protokol persinyalan digunakan untuk membangun, menjaga suatu sesi komunikasi yang sedang berlangsung, dan memutus suatu koneksi. Sedangkan protokol media transfer berfungsi untuk mengatur komunikasi pada saat transfer data secara real-time berlangsung dengan baik. Saat ini terdapat banyak sekali protokol signaling seperti H.323, SIP, SCCP, MGCP, dan SIGTRAN. Tetapi yang paling populer dan banyak digunakan adalah Session Initiation Protocol (SIP).

SIP merupakan sebuah protokol yang bekerja pada layer aplikasi, yang berfungsi untuk membentuk, memodifikasi, dan mengakhiri sesi komunikasi antara satu atau lebih endpoint. Yang terkandung dalam sesi antara lain data-data konfrensi multimedia. Sesi multimedia adalah pertukaran data antar pengguna yang bisa meliputi suara, video, dan teks. SIP merupakan protokol berbasis teks, yang menyerupai HTTP dan SMTP, karena SIP merupakan protokol *signaling* dan bukan media transfer protokol. Maksud dari protokol *signaling* adalah SIP hanya menangani bagaimana satu *client* bisa terhubung dengan client lainnya, memberikan tanda seperti apakah koneksi berhasil atau tidak, apakah *client* mau menerima *request* dari *client* lain, apakah ada masalah koneksi yang terjadi, dan informasi lainnya. SIP tidak membawa paket data suara. Jadi saat koneksi telah terjadi, masalah transfer data suara bukan lagi dikerjakan oleh protokol SIP.

SIP memanfaatkan *Real Time Protocol* (RTP) sebagai media transfer. Dua komponen utama SIP yaitu *user agent* dan *network server*. Protokol lain yang ikut berperan dalam proses transfer data suara pada jaringan RoIP diantaranya adalah protokol TCP/IP (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*), karena protokol ini merupakan protokol yang digunakan pada jaringan Internet. Protokol ini terdiri dari dua bagian besar, yaitu TCP dan IP. Selain itu terdapat juga protokol *User Datagram Protocol* (UDP).

### 3) Codec Pada RoIP

Pada prinsipnya pengkodean suara merupakan pengalihan kode analog menjadi kode digital agar suara dapat dikirim dalam jaringan komputer. Pengodean ini dikenal dengan istilah *codec* (*compressor-decompressor*). Konversi *codec* bekerja dengan cara memotong bagian sinyal (*sampling*) audio dalam jumlah tertentu per detiknya. *Codec* juga bekerja menggunakan algoritma tertentu untuk membantunya memecah, mengurutkan, mengkompresi, dan merakit ulang audio data yang ditransmisikan. Pemilihan *codec* sangat berpengaruh pada penggunaan *bandwidth* jaringan nantinya. Makin baik *codec* melakukan *sampling*, makin efisien juga jalur yang digunakan. Kualitas akhir suara juga harus diperhatikan agar tidak sekadar cepat, *codec* juga harus menghasilkan sinyal audio yang baik. ITU-T membuat beberapa standar untuk *voice coding* yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Standar Codec Rekomendasi ITU-T [10]

Codec	Bits per Second	Notes
G.711	64.000	Most widely used Codec
G.726	48.000, 32.000, 24.000 or 16.000	Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)
GSM	13.200	2G Mobile Phone Standard
G.729	8.000	Used in a lot of VoIP Systems
IMBE	7.200	"Improved Multi Band Excitation"
AMBE	3.600	"Advanced Multi Band Excitation". Widely used in digital radio standards. Includes Error Correction.
ACELP		Algebraic Code Excite Linear Prediction
TETRA	72.000	

Secara umum, *codec* yang digunakan dan direkomendasikan untuk implementasi VoIP (termasuk RoIP) adalah G.711, G.726 dan G.729. Pemilihan *codec* berdasarkan pada kapasitas *bandwidth* yang tersedia pada jaringan.

### C. Mean Opinion Score (MOS)

MOS adalah suatu nilai rata-rata opini publik yang digunakan untuk mengukur tingkat kepuasan suatu layanan aplikasi berdasarkan deskripsi kualitatif. Nilai MOS ini didapatkan dari penilaian seorang end-user langsung berdasarkan kualitas suara yang didapatkan, penilaian ini terbagi menjadi lima tingkat. Daftar pembagian nilai MOS sesuai dengan dokumen rekomendasi P.800 yang dikeluarkan oleh ITU-T diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Standar Nilai MOS [11]

Nilai MOS	Opini
5	Sangat Baik
4	Baik
3	Cukup Baik
2	Tidak Baik
1	Buruk

Dalam penerapan penilaian MOS untuk implementasi VoIP, penggunaan *codec* tentu saja mempengaruhi nilai MOS yang dihasilkan. Hal ini karena perbedaan teknik kompresi dan penggunaan *bandwidth* yang berpengaruh pada kualitas suara di sisi penerima. Tabel 4 menunjukkan hasil nilai MOS dibanding tipe *codec* yang digunakan pada kebanyakan pengujian kualitas suara dalam transmisi.

Tabel 4. Nilai MOS Dibanding Penggunaan Tipe Codec [12]

Compression Method	Bit Rate (kbps)	MOS Score
G.711 PCM	64	4.1
G.726 ADPCM	32	3.85
G.728 LD-CELP	16	3.61
G.729 x 2 Encodings	8	3.27
G.729 x 3 Encodings	8	2.68
G.729a CS-ACELP	8	3.7
G.723.1 MPC-MLQ	6.3	3.9
G.723.1 ACELP	5.3	3.65

Meskipun tabel 4 seolah menunjukkan bahwa tipe *codec* tertentu akan menghasilkan nilai MOS tertentu, tetapi MOS *Score* pada tabel 4 hanyalah hasil nilai MOS kebanyakan pada sistem yang menggunakan tipe *codec* tersebut. Sehingga besaran nilai MOS bisa diperoleh berapa saja tergantung pada kondisi yang berkontribusi dalam sebuah sistem yang diuji.

### D. E-Model

E-model adalah metode prediksi kualitas suara yang didasarkan pada pemodelan yang telah distandardisasi oleh ITU-T pada dokumen rekomendasi G.107. Konsep ini digunakan untuk mendeskripsikan faktor-faktor gangguan yang terjadi pada jaringan yang mempengaruhi kualitas suara yang ditransmisikan. Hasil pengukuran menggunakan teknik E-model direpresentasikan dengan R faktor sebagai *transmission rating*. Perumusan dalam menghitung R faktor terdapat pada dokumen Rec. ITU-T G.107 (06/2015)[13] adalah sebagai berikut :

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad (1)$$

Keterangan :

R<sub>i</sub> = R Faktor

R<sub>o</sub> = Mewakili signal to noise ratio (SNR) yang dipengaruhi level suara yang dikirim dan diterima, noise sirkuit dan noise ruangan.

Is = Faktor penurunan kualitas yang berhubungan dengan sinyal suara seperti level keras sinyal yang tidak sesuai, gangguan kuantisasi, dan level bunyi sampling yang tidak sesuai.

Id = Faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh pengaruh delay satu arah antara pengirim dan penerima.

Ie = Faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh teknik kompresi (*codec*) dan packet loss yang terjadi.

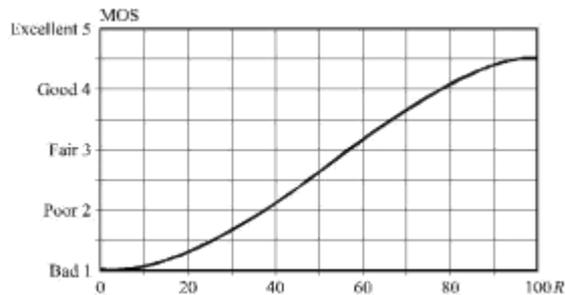
A = Faktor keuntungan lain yang mungkin terjadi sebagai kompensasi dari faktor-faktor penurunan kualitas.

E-model berlaku untuk setiap arah transmisi secara terpisah, sehingga dalam skenario asimetris, dua R Faktor (setiap arah transmisi) harus dihitung. Untuk mengonversi nilai R Faktor menjadi MOS adalah dengan persamaan berikut.

Jika  $0 < R < 100$  Maka

$$MOS_{CQE} = 1 + (0,035 \times R) + R(R - 60)(100 - R)^7 \times 10^{-6} \quad (2)$$

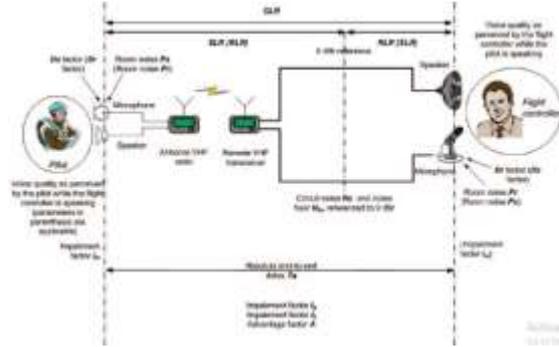
Gambar 3 menunjukkan grafik fungsi MOS<sub>CQE</sub> terhadap R faktor. Dari grafik tersebut maka dapat diketahui hasil konversi R faktor ke dalam nilai MOS. Dimana nilai maksimum R faktor yaitu 100 bila dikonversikan akan setara dengan nilai 4,5 pada MOS.



Gambar 3. Grafik Fungsi MOS<sub>CQE</sub> Terhadap R Faktor [13]

#### E. Adaptasi Perhitungan E-Model Pada Komunikasi Radio

Pada asalnya, E-model merupakan perhitungan yang digunakan untuk memprediksi layanan kualitas suara pada perancangan suatu jaringan telepon. Sehingga parameter yang digunakan dalam perhitungan faktor R tetapi tidak berlaku untuk komunikasi radio harus dihapus untuk mewakili komunikasi suara *end-to-end* yang terjadi antar ATC dan pilot. Adaptasi E-model untuk komunikasi radio ini berdasarkan riset [6] ditunjukkan pada gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Ilustrasi E-Model Dalam Komunikasi Pilot dan ATC [6]

#### 1) Modifikasi Perhitungan Ro

Sesuai penjelasan pada dokumen Rec. ITU-T G.107 (06/2015)[13], *Ro* didefinisikan sebagai berikut :

$$Ro = 15 - 1.5(SLR + No) \quad (3)$$

dimana istilah *No* (dalam dBm0p) adalah tambahan *noise* dari perangkat lain di sekitar jalur transmisi yang dimungkinkan dapat mempengaruhi SNR.

$$No = 10 \log \left[ \frac{Nc}{10^{10}} + \frac{Nos}{10^{10}} + \frac{Nor}{10^{10}} + \frac{Nfo}{10^{10}} \right] \quad (4)$$

Dari rumus *No* [13] tersebut, maka diketahui bahwa perhitungan *No* didapatkan dari beberapa faktor *noise*. Pada arah transmisi pilot ke ATC, mikrofon adalah perangkat yang terakhir dimatikan. Oleh karena itu, rumus untuk faktor *Nor* [13] yang dapat disederhanakan secara signifikan, karena kebisingan lingkungan di sisi penerima tidak mempengaruhi pendengar melalui *sidetone* karena tidak adanya *sidetone* pada saat menerima suara yang ditransmisikan. Sehingga :

$$Nor = RLR - 121 + Pr e + 0.008(Pr e - 35)^2 \quad (5)$$

dimana

$$Pr e = Pr + 10 \log_{10} \left[ 1 + 10^{\frac{10-15SLR}{10}} \right] \cong Pr \quad (6)$$

*Pr* diukur pada posisi telinga penerima dimana *noise* disini adalah tingkat kebisingan ruangan di sisi penerima dalam hal ini arah transmisi adalah pilot ke ATC. Nilai *Pr* sama dengan tingkat kebisingan di ruang pusat kontrol ATC dikurangi dengan atenuasi yang dicapai oleh *headset* yang digunakan oleh ATC. Menurut dokumen EuroCAE ED-18, tingkat kebisingan lingkungan bervariasi secara signifikan dengan nilai rata-rata 80 dB, sedangkan isolasi yang diberikan oleh *headset* ATC adalah 15-30 dB. Baik pilot maupun ATC umumnya menggunakan *headset* dalam berkomunikasi dimana atenuasi *headset* tersebut rata-rata sebesar 22 dB.

Faktor *Nos* dalam ITU-T G.107 (06/2015) [13], dihitung dengan menggunakan rumus :

$$N_{os} = P_s - SLR - D_s - 100 + 0.004 (P_s - OLR - D_s - 14)2 \quad (7)$$

Dimana  $P_s$  adalah tingkat *noise* ruangan pada sisi transmisi yang diukur pada posisi mikrofon. Sebuah survei literatur mengenai tingkat kebisingan di kabin pilot kendaraan udara telah dilaporkan terjadi, di mana para penulis menyimpulkan tingkat kebisingan yang tinggi sebesar 90 dB. Faktor  $D_s$  mendefinisikan peredaman *noise* ruangan yang dicapai oleh mikrofon. Dokumen EuroCAE ED-18 menunjukkan rasio peredaman *noise* minimal 20 dB yang ditampilkan oleh mikrofon yang digunakan di ATC, yang harus dikurangi dari tingkat kebisingan kabin di atas untuk menghitung tingkat kebisingan yang diukur pada mikrofon pilot.

Selanjutnya, harus diperhitungkan bahwa tingkat sinyal suara di sisi pilot 7 dB lebih besar dari nilai tipikal yang diukur dalam jaringan telepon, yang meningkatkan SNR secara ekuivalen, karena E-model telah dirancang untuk panggilan telepon. Hal ini berarti meningkatnya  $R_o$  sebesar 7 dB pada arah transmisi pilot ke ATC. Nilai optimal yang disebutkan dalam ITU-T G.107 (06/2015) [13] untuk *Receive Loudness Rating* (RLR) sebesar +2 dB dan *Send Loudness Rating* (SLR) sebesar +8 dB. Nilai tersebut dapat dicapai oleh peralatan komunikasi ATC dan pilot dengan menggunakan keuntungan programmable yang ada. Oleh karena itu, Overall Loudness Rating (OLR) menjadi 10 dB, karena  $OLR = SLR + RLR$ .

Karena tidak adanya data yang relevan,  $N_c$  dan  $N_{fo}$  ( $N_{fo} = N_{for} + RLR$ ) diatur ke nilai *default* yang diusulkan pada dokumen ITU-T G.107 (06/2015) [13] yaitu, -70 dan -64 dBm0p.

Berdasarkan hasil modifikasi perumusan di atas, diperoleh data nilai  $N_o$  berdasarkan kebanyakan kondisi kabin pesawat maupun ruangan pusat kontrol ATC yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Kontribusi Berbagai Parameter untuk Menghitung  $N_o$  [6]

Parameter	Value (dBm0p; Pilot-to-Flight Controller Transmission Direction)	Value (dBm0p; (Flight Controller-to-Pilot Transmission Direction)
$N_{os}$	-29.536	-45.376
$N_{or}$	-56.768	-39.2
$N_c$	-70	-70
$N_{fo}$	-64	-64
<b><math>N_o</math></b>	<b>-29.525</b>	<b>-38.24</b>

Dari tabel 5 dapat diketahui nilai  $N_o$  dari dua macam arah transmisi. Pada kolom sebelah kanan adalah nilai  $N_o$  dengan arah transmisi dari ATC ke pilot sedangkan kolom sebelah kiri sebaliknya. Dimana bila arah transmisi dari ATC ke pilot maka  $N_{or}$  diukur pada posisi pendengaran yang diterima pilot dan  $N_{os}$  diukur pada mikrofon ATC, begitu juga sebaliknya. Perbedaan nilai  $N_o$  sangat besar karena skala logaritmik. Pada arah transmisi dari pilot ke ATC,  $N_o$  didominasi oleh kebisingan

lingkungan di sisi pengirim, yaitu suara kabin pesawat terbang cukup mempengaruhi suara yang ditransmisikan melalui mikrofon pilot. Dalam arah sebaliknya, kebisingan ruangan pusat kontrol ATC ditekan oleh atenuasi mikrofon, sementara suara di sisi penerima (kabin pilot) tetap dapat diterima secara optimal karena headset tipe tertutup yang digunakan oleh pilot sebagai perlindungan dari tingkat kebisingan yang tinggi (sama dengan 22 dB, seperti yang disebutkan sebelumnya). Secara umum nilai  $R_o$  independen terhadap infrastruktur telekomunikasi dan hanya bergantung pada parameter peralatan dan lingkungan operasional di jalur *end-to-end* antara ATC dan pilot.

## 2) Modifikasi Perhitungan $I_s$

Faktor  $I_s$  adalah jumlah dari semua gangguan yang dapat terjadi secara bersamaan dengan transmisi suara.  $I_s$  terjadi dari tiga faktor penurunan spesifik. Berikut ini adalah rumus perhitungan  $I_s$  sesuai dokumen Rec. ITU-T G.107 (06/2015) [13] :

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q \quad (8)$$

$I_{olr}$  menunjukkan penurunan kualitas yang disebabkan oleh nilai OLR yang terlalu rendah dan dapat dihitung dengan rumus [13] sebagai berikut :

$$I_{olr} = 20 \left[ \left\{ 1 + \left( \frac{X_{olr}}{8} \right)^8 \right\}^{\frac{1}{8}} - \frac{X_{olr}}{8} \right] \quad (9)$$

Dimana

$$X_{olr} = OLR + 0.2 (64 + N_o - RLR) \quad (10)$$

Nilai  $I_{olr}$  yang didapat sebesar 0,0157 pada arah transmisi pilot ke ATC dan 0,0343 pada arah transmisi sebaliknya. Nilai ini dihitung dengan menggunakan nilai  $N_o$  dari pembahasan faktor  $N_o$  dan tidak tergantung pada infrastruktur telekomunikasi yang digunakan. Semua faktor tersebut hanya bergantung pada peralatan dan parameter lingkungan operasional di jalur *end-to-end* yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan nilai efektif dari  $I_{olr}$  yang mendekati nol, maka faktor  $I_{olr}$  dapat dengan aman dihilangkan dari perhitungan R faktor.

Kemudian,  $I_{st}$  adalah penurunan yang disebabkan oleh *sidetone non-optimum*, atau kebocoran suara seseorang ke dalam *headset* orang tersebut, dimana *sidetone* memberikan kepastian bahwa saluran tersebut berfungsi dengan baik selama komunikasi berlangsung. *Sidetone* di teleponi dibuat untuk perangkat telepon, jadi nilai tersebut diatur berdasarkan desain dan tidak dapat diubah oleh pengguna. Meskipun *sidetone* juga berlaku untuk komunikasi radio, tetapi besaran nilai dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan pengguna. Rumus perhitungan  $I_{st}$  juga dapat disederhanakan karena tidak ada gema disebabkan sifat komunikasi radio yang *half-duplex*. Akhirnya, pengaturan nilai *sidetone* dimungkinkan hingga nilai  $I_{st}$  menjadi nol,

yang mana  $I_{st}$  bisa tidak lagi disertakan dalam perhitungan R faktor.

### 3) Modifikasi Perhitungan $I_d$

$I_d$  mewakili semua gangguan karena penundaan sinyal suara. Perhitungan  $I_d$  menggunakan persamaan [13] sebagai berikut:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd} \quad (11)$$

Faktor  $I_{dte}$  memberikan perkiraan untuk gangguan karena gema pembicara, sedangkan faktor  $I_{dle}$  mewakili gangguan karena gema pendengar. Kedua faktor penurunan juga dimodelkan serupa dan dengan demikian dapat disederhanakan, dengan mempertimbangkan efek bahwa tidak adanya gema pada rumus yang digunakan untuk perhitungan, karena komunikasi radio bersifat *half-duplex*.

Faktor ketiga  $I_{dd}$  mewakili penurunan yang disebabkan oleh absolut *one-way delay* atau  $T_a$ , yang terjadi bahkan dengan pembatalan gema yang sempurna (tidak ada gema) dan dihitung dengan persamaan [13] sebagai berikut :

$$I_{dd} = 25 \left\{ (1 + X^6)^{\frac{1}{6}} - 3 \left( 1 + \left[ \frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}$$

$$X = \frac{\log \left( \frac{T_a}{100} \right)}{\log 2}, \text{ for } T_a > 100 \text{ ms} \quad (12)$$

dan  $I_{dd} = 0$  untuk  $T_a \leq 100$  ms

Parameter ini sangat penting dalam kasus *delay* tinggi seperti komunikasi satelit. Kesimpulannya,  $I_d$  hanya bisa terpengaruh oleh  $I_{dd}$ .

### 4) Modifikasi Perhitungan $I_e$

Penerapan teknologi VoIP secara cepat mengharuskan penerapan *codec* secara langsung, karena pemanfaatan yang telah diketahui dan teruji serta telah didukung oleh produsen peralatan.

Tabel 6. Rekomendasi Nilai  $I_e$  Berdasarkan Tipe *Codec* [10]

Codec type	Reference	Operating rate [kbit/s]	$I_e$ value
PCM (see Note)	G.711	64	0
ADPCM	G.726, G.727	40	2
	G.721, G.726, G.727	32	7
	G.726, G.727	24	25
	G.726, G.727	16	50
LD-CELP	G.728	16	7
		12.8	20
CS-ACELP	G.729	8	10
	G.729-A + VAD	8	11
VSELP	IS-54	8	20
ACELP	IS-641	7.4	10
QCELP	IS-96a	8	21
RCELP	IS-127	8	6
VSELP	Japanese PDC	6.7	24
RPE-LTP	GSM 06.10, full-rate	13	20
VSELP	GSM 06.20, half-rate	5.6	23
ACELP	GSM 06.60, enhanced full rate	12.2	5
ACELP	G.723.1	5.3	19
MP-MLQ	G.723.1	6.3	15

Beberapa *codec* suara yang mungkin diterapkan pada sistem komunikasi radio adalah G.711 pada 64

kbps, G.726 pada 32 kbps, G.729 pada 8 kbps, dan G.726 pada 16 kbps. Nilai faktor penurunan  $I_e$  dapat mengikuti dokumen ITU-T Rec. G.113 *Appendix I* yang ditunjukkan pada tabel 6. Nilai  $I_e$  yang ditunjukkan pada tabel 6 dapat digunakan asalkan satu pasangan *encoding* dan *decoding* terdapat pada satu jalur transmisi yang digunakan.

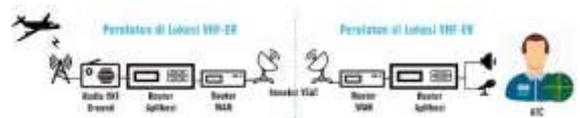
### 5) Faktor A

*Advantage factor* (faktor A) adalah faktor keuntungan yang memungkinkan untuk keuntungan akses suatu sistem tertentu dibandingkan sistem konvensional dengan mengurangi kualitas suara demi kemudahan. Faktor A diperkenalkan ke dalam perencanaan transmisi untuk pertama kalinya melalui E-model ([ITU-T G.107] dan [ETSI ETR 250]). Faktor ini memungkinkan perencanaan memperhitungkan fakta bahwa pelanggan dapat menerima beberapa penurunan kualitas untuk keuntungan akses, misal, mobilitas atau koneksi ke wilayah yang sulit dicapai. Nilai ini dapat digunakan secara langsung bersama dengan semua nilai gangguan lainnya dan sebagai parameter input ke E-model. Jika semua faktor penurunan lainnya dikurangi dari rasio *signal-to-noise* ( $R_0$ ), faktor A ditambahkan. Sehingga mengkompensasi gangguan lain dalam jumlah tertentu. Ini dapat digunakan untuk memperhitungkan fakta bahwa pengguna akan mentoleransi penurunan kualitas transmisi sebagai ganti untuk kemudahan akses. Contoh keuntungan seperti itu adalah sistem dan koneksi tanpa kabel hingga ke wilayah-wilayah yang sulit dicapai melalui *multi-hop* satelit. Tabel 7 menunjukkan standar nilai A sesuai standar G.107 ITU-T.

## III. PERANCANGAN SISTEM VHF-ER MENGGUNAKAN ROIP

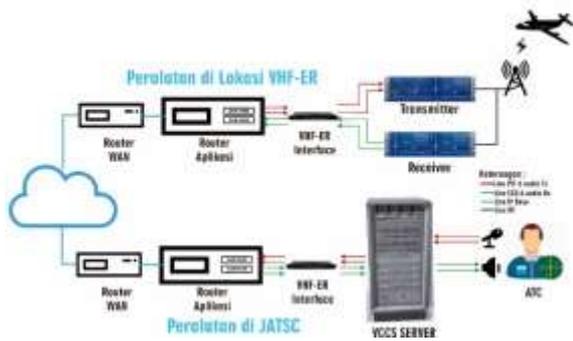
### A. Sistem VHF-ER Existing

Pemanfaatan sistem VHF-ER pada komunikasi antara pilot dan ATC saat ini menjadi solusi paling populer untuk mengatasi kondisi Indonesia sebagai negara kepulauan dengan luas area kontrol ATC yang sangat luas. Gambar 5 menunjukkan sistem VHF-ER *existing* yang digunakan sampai saat ini. Kondisi *existing* yang ditunjukkan pada gambar 5 merupakan teknologi awal dalam mengubah data analog dari radio agar dapat ditransmisikan melalui jaringan VSAT yang berbasis internet protokol.



Gambar 5. Sistem VHF-ER Existing

Agar lebih mudah dipahami arah aliran data maka gambar 6 menunjukkan ilustrasi peralatan disertai keterangan aliran data 4 *pair* kabel yang ditransmisikan yaitu sinyal PTT, audio Tx, audio Rx dan CSQ.



Gambar 6. Alur Data Radio pada 4 Pair Kabel

Pada gambar 6, bila diurutkan dari sisi ATC, maka ATC mengirimkan sinyal PTT dan audio Tx yang diteruskan oleh server VCCS ke VHF-ER interface yang membaca sinyal PTT kemudian meneruskan sinyal audio Tx ke E&M card yang terdapat di router Aplikasi untuk diubah menjadi data digital agar dapat ditransmisikan ke dalam internet protokol melalui router Aplikasi. Baru kemudian data masuk ke router WAN dan di transmisikan melalui satelit. Selanjutnya data yang diterima antenna satelit di lokasi VHF-ER akan meneruskan data digital sampai ke router Aplikasi agar data audio Tx diubah kembali menjadi analog dan sinyal PTT akan diteruskan ke VHF-ER interface sehingga transmitter VHF membaca sinyal bahwa tegangan menjadi 0 (nol) volt yang berarti PTT aktif dan meneruskan audio Tx untuk dimodulasikan dan dipancarkan oleh transmitter. Perjalanan data audio Rx dan CSQ sama seperti PTT dan audio Tx, hanya saja aliran data dimulai dari sisi radio VHF ground yaitu dari receiver VHF.

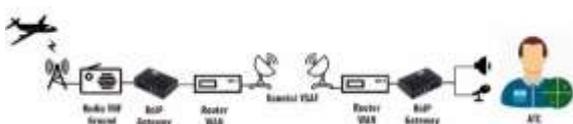
Pada kondisi existing ini, terjadi beberapa permasalahan yang menyebabkan menurunnya *availability* sistem VHF-ER, padahal dari sisi peralatan radio VHF yang digunakan berkomunikasi sebenarnya tidak terjadi *downtime* peralatan. Oleh karena itu, penggantian VHF-ER interface, E&M card dan router Aplikasi menjadi perangkat RoIP gateway yang diterapkan pada sistem VHF-ER akan dirancang dan diimplementasikan.

**B. Perancangan Topologi Sistem VHF-ER Menggunakan RoIP**

Rancangan implementasi RoIP pada sistem VHF-ER ini terbagi menjadi rencana topologi sistem VHF-ER menggunakan RoIP dan penentuan kriteria sektor/lokasi yang digunakan sebagai percontohan.

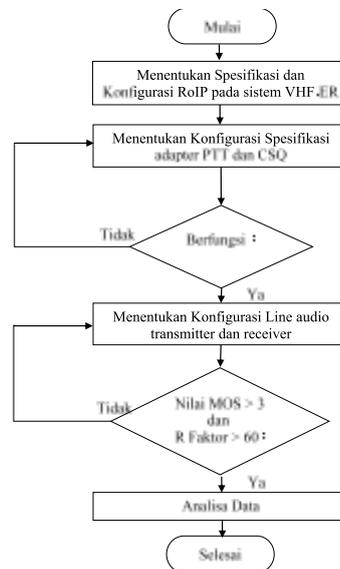
**1) Rencana Topologi Sistem VHF-ER Menggunakan Roip**

Pada Gambar 7 menunjukkan topologi sistem VHF-ER setelah menggunakan RoIP gateway.



Gambar 7. Sistem VHF-ER Menggunakan RoIP

Sebelum diimplementasikan pada sistem VHF-ER maka perlu dibuat alur perancangan sistem. Pada gambar 8 ditunjukkan diagram alir perancangan sistem VHF-ER menggunakan RoIP yang akan dilaksanakan.



Gambar 8. Diagram alir perancangan sistem VHF-ER dengan RoIP

**2) Penentuan Sektor Sebagai Percontohan**

Kriteria lokasi VHF-ER yang digunakan sebagai percontohan implementasi harus ditentukan agar dapat diketahui kinerja saat digunakan komunikasi antar pilot dan ATC setelah menggunakan RoIP gateway. Sektor yang dipilih harus sektor yang memiliki lalu lintas udara yang cukup padat, sehingga dapat mewakili kinerja improvement yang diimplementasikan terhadap sektor lain yang memiliki lalu lintas udara lebih lenggang. Setelah dilakukan konsultasi dengan pihak Airnav Indonesia Cabang JATSC, maka sektor yang digunakan sebagai percontohan adalah sektor Upper Semarang. Hal ini karena sektor Upper Semarang termasuk sektor paling padat dalam Jakarta FIR bahkan termasuk area dengan lalu lintas udara paling padat di dunia, sehingga bila ada permasalahan yang terjadi saat pengujian implementasi sistem VHF-ER menggunakan RoIP di sektor tersebut dapat menjadi gambaran yang mewakili permasalahan yang mungkin terjadi di sektor lain. Sektor Upper Semarang memiliki frekuensi primary 120,9 MHz dan frekuensi secondary 135,8 MHz.

Skenario yang memungkinkan untuk pemasangan sistem VHF-ER menggunakan RoIP tanpa mengganggu operasional komunikasi antara pilot dan ATC adalah memasang RoIP gateway pada sistem VHF-ER yang menggunakan frekuensi secondary. Kemudian, bila penggantian perangkat menggunakan RoIP gateway telah selesai dilakukan baik di lokator Cirebon maupun di JATSC, maka akan dicoba tes lokal ke peralatan radio VHF dan tes komunikasi ke satu atau dua pesawat untuk memastikan bahwa implementasi sistem VHF-ER menggunakan RoIP berhasil dan tidak ada

permasalahan. Bila implementasi sistem VHF-ER menggunakan RoIP telah dinyatakan berhasil, maka radio VHF akan diubah frekuensinya dari frekuensi sekunder 135,8 MHz menjadi frekuensi primary 120,9 MHz. Kemudian ATC yang bertanggung jawab di sektor Upper Semarang akan diarahkan untuk selalu menggunakan VHF-ER yang telah menggunakan RoIP.

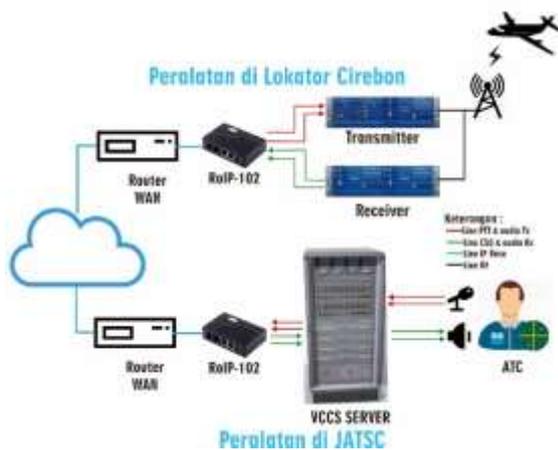
### C. Analisis Kebutuhan Sistem

Berikut ini analisis kebutuhan sistem VHF-ER menggunakan RoIP :

- RoIP Gateway [14] merupakan perangkat yang mengubah sinyal analog dari radio VHF menjadi paket data pada internet protokol
- PPT adapter berfungsi untuk interkoneksi jalur perkabelan antara radio VHF atau VCCS serta penyesuaian PTT dari radio VHF ke RoIP 102 [14].

### D. Implementasi Sistem

Ilustrasi implementasi sistem VHF-ER menggunakan RoIP pada gambar 9.



Gambar 9. Implementasi Sistem VHF-ER menggunakan RoIP

Alur interkoneksi data 4 pair kabel dan topologi sistem VHF-ER menggunakan RoIP ditunjukkan pada gambar 9 dimana terdapat 4 sinyal yaitu PTT, audio Tx, audio Rx dan CSQ. Selanjutnya adalah setting perangkat RoIP-102 melalui jalur LAN port yang dihubungkan ke PC.

Gambar 10 merupakan tampilan *built-in web server* ROIP-102 saat pengaturan telah dilakukan, dimana kondisi tersebut sesuai dengan kondisi terakhir saat perangkat akan dipasang pada sistem VHF-ER. *Setting* yang perlu diperhatikan untuk koneksi antar ROIP-102 di JATSC dan di Lokator Cirebon adalah IP address, subnet mask, primary DNS, group SIP number dan SIP number. Oleh karena pertimbangan alokasi bandwidth yang disediakan oleh provider VSAT maka codec yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah G.729A.

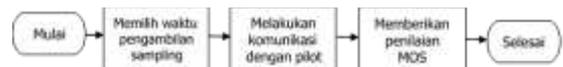


Gambar 10. Setting ROIP-102

### E. Skenario Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan dua metode yaitu MOS dan E-Model. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keseluruhan kinerja sistem secara *end-to-end* baik dari sisi penilaian subjektif (MOS) maupun objektif (E-Model).

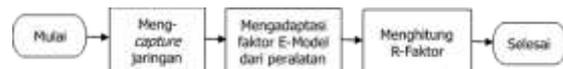
#### 1) Skenario Pengujian Menggunakan MOS



Gambar 11. Alur Pengujian Menggunakan MOS

Pada gambar 11 seorang ATC akan dipilih secara acak kemudian diminta memberi penilaian pada form yang telah disediakan untuk mencatat hasil komunikasi dengan beberapa pesawat pada sektor Upper Semarang. Penilaian dilakukan oleh tiga orang ATC yang berbeda pada waktu kerja (*shift*) yang berbeda juga.

#### 2) Skenario Pengujian Menggunakan E-Model



Gambar 12. Alur Pengujian Menggunakan E-Model

Pada gambar 12 pengambilan data jaringan dilakukan dengan mengambil data dari beberapa sampel pada waktu yang berbeda untuk mengetahui beban traffic dalam jaringan VSAT. Kemudian faktor-faktor untuk adaptasi E-Model pada komunikasi radio [6] dihitung sesuai dengan peralatan yang digunakan. Setelah faktor-faktor E-

Model diketahui, maka dapat dihitung nilai R faktor. Terakhir, nilai R faktor dikonversi ke dalam MOS<sub>CQE</sub>.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISA IMPLEMENTASI ROIP PADA SISTEM VHF-ER

##### A. Pengujian Sistem Menggunakan MOS

Pengujian sistem menggunakan MOS dilaksanakan oleh ATC yang mencatat nilai parameter komunikasi dalam dua arah transmisi. Dengan menggunakan format yang telah disediakan dimana dalam satu waktu komunikasi dapat diketahui nilai MOS dengan arah komunikasi ATC ke pilot dan sebaliknya. Pengujian dilakukan pada 3 *shift* berbeda (pagi, siang dan malam) dengan mengambil sampling perkiraan waktu lalu lintas udara terpadat pada *shift* tersebut.

##### 1) Pengujian Sistem Menggunakan MOS Pada Shift Pagi

Tabel 7. Nilai MOS *Shift* Pagi VHF-ER Upper Semarang

NO	FLIGHT	TIME (WIB)	POSISI		READIBILITY	
			Distance	FL	TX	RX
1	BTK 6501	08.14	110 NM	FL 360	5	5
2	CTV 784	08.19	200 NM	FL 340	4	4
3	LNI 877	08.21	240 NM	FL 360	4	4
4	GIA 309	08.32	225 NM	FL 330	4	3
5	QTR 965	08.34	80 NM	FL 370	5	5
6	LNI 836	08.45	200NM	FL 330	4	4
7	CTV 682	09.00	200NM	FL 280	4	3
8	GIA 403	09.06	110 NM	FL 350	4	4
9	TGW 264	09.08	200 NM	FL 340	4	4
10	IDX 8297	09.12	225NM	FL 340	4	4
11	CTV 703	12.26	70 NM	FL 340	4	4
12	IDX 7689	12.33	130 NM	FL 280	4	4
13	LNI 168	12.34	200 NM	FL 350	4	4
14	LKN 195	12.37	220 NM	FL 370	4	3
15	GIA 083	13.01	110 NM	FL 330	4	4
16	GIA 283	13.26	125 NM	FL 380	4	4
17	CTV 728	13.33	80 NM	FL 350	4	4
18	CTV 089	13.34	120 NM	FL 210	4	4
19	BTK 6827	13.37	120 NM	FL 360	5	4
20	GIA 615	13.41	220 NM	FL 330	4	4
<b>NILAI MOS ATC KE PILOT</b>					<b>4,150</b>	
<b>NILAI MOS PILOT KE ATC</b>						<b>3,950</b>

Pada tabel 7 nilai MOS ditunjukkan pada kolom READIBILITY dimana TX adalah arah komunikasi dari ATC ke pilot, sedangkan RX adalah arah komunikasi dari pilot ke ATC. Nilai MOS *shift* pagi pada arah komunikasi ATC ke pilot adalah 4,15. Sedangkan nilai MOS pada arah komunikasi pilot ke ATC adalah 3,95. Sesuai dengan standar ITU-T yang ditunjukkan pada tabel 3 maka nilai MOS *shift* pagi pada arah komunikasi ATC ke pilot termasuk dalam kategori baik.

##### 2) Pengujian Sistem Menggunakan MOS Pada Shift Siang

Tabel 8. Nilai MOS *Shift* Siang VHF-ER Upper Semarang

NO	FLIGHT	TIME (WIB)	POSISI		READIBILITY	
			Distance	FL	TX	RX
1	CTV 121	15.31	125 NM	FL 250	4	4
2	LNI 885	15.32	80 NM	FL 340	5	5
3	BTK 6572	15.40	120 NM	FL 280	4	4
4	LNI 778	15.42	210 NM	FL 350	4	4
5	LNI 635	15.50	110 NM	FL 360	4	4
6	BTK 7780	15.54	200 NM	FL 340	4	4
7	CTV 212	16.00	240 NM	FL 360	4	4
8	LNI 945	16.01	225 NM	FL 330	5	4
9	BTK6548	16.05	80 NM	FL 370	5	5
10	GIA 204	16.08	200NM	FL 340	4	4
11	SJY 251	19.01	110 NM	FL 380	5	5
12	LKN 236	19.03	125 NM	FL 350	4	4
13	BTK 7780	19.08	80 NM	FL 210	4	4
14	LNI 028	19.09	120 NM	FL 320	4	4
15	GIA 204	19.12	120 NM	FL 340	5	5
16	GIA 646	19.21	225NM	FL 370	4	4
17	BTK 6950	19.25	70 NM	FL 280	4	4
18	GIA 551	19.27	200NM	FL 350	4	4
19	BTK 6159	19.29	110 NM	FL 340	4	4
20	CTV 301	19.31	200 NM	FL 340	4	4
<b>NILAI MOS ATC KE PILOT</b>					<b>4,250</b>	
<b>NILAI MOS PILOT KE ATC</b>						<b>4,200</b>

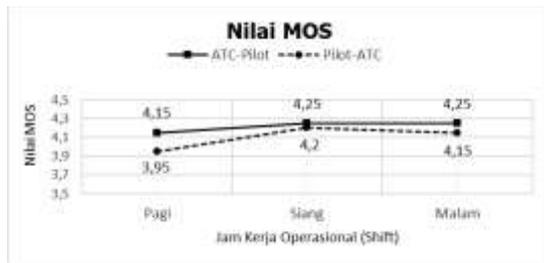
Pada tabel 8 nilai MOS *shift* siang pada arah komunikasi ATC ke pilot adalah 4,25. Sedangkan nilai MOS pada arah komunikasi pilot ke ATC adalah 4,2. Sesuai dengan standar ITU-T yang ditunjukkan pada tabel 3 maka kedua nilai tersebut termasuk dalam kategori baik.

##### 3) Pengujian Sistem Menggunakan MOS Pada Shift Malam

Tabel 9. Nilai MOS *Shift* Malam VHF-ER Upper Semarang

NO	FLIGHT	TIME (WIB)	POSISI		READIBILITY	
			Distance	FL	TX	RX
1	GIA 683	20.41	100 NM	FL 300	4	4
2	CTV 782	20.43	120 NM	FL 280	4	4
3	GIA 283	20.55	100 NM	FL 320	5	5
4	GIA 564	20.56	75 NM	FL 340	4	4
5	BTK 6159	21.02	100 NM	FL 370	4	4
6	JSA 116	21.04	70 NM	FL 360	5	5
7	LNI 010	21.16	180 NM	FL 360	5	5
8	GIA 652	21.18	200 NM	FL 370	4	4
9	AWQ 7534	21.19	210 NM	FL 330	4	4
10	LNI 798	21.22	220 NM	FL 340	4	3
11	GIA 650	00.15	200 NM	FL 340	4	3
12	GIA 883	00.18	180 NM	FL 320	4	4
13	LNI 554	00.28	170 NM	FL 360	4	5
14	LNI 018	00.39	70 NM	FL 350	5	5
15	SJY 580	05.12	90 NM	FL 340	4	4
16	CTV 183	05.15	60 NM	FL 280	4	4
17	GIA 414	05.16	120 NM	FL 320	5	4
18	BTK 6578	05.18	160 NM	FL 340	4	4
19	GIA 610	05.21	190 NM	FL 350	4	4
20	BTK 6374	05.22	180 NM	FL 340	4	4
<b>NILAI MOS ATC KE PILOT</b>					<b>4,250</b>	
<b>NILAI MOS PILOT KE ATC</b>						<b>4,150</b>

Pada tabel 9 nilai MOS *shift* malam pada arah komunikasi ATC ke pilot adalah 4,25. Sedangkan nilai MOS pada arah komunikasi pilot ke ATC adalah 4,15. Sesuai dengan standar ITU-T yang ditunjukkan pada tabel 3 maka kedua nilai tersebut termasuk dalam kategori baik.



Gambar 13. Grafik Nilai MOS

Grafik perbandingan nilai MOS pada arah komunikasi ATC ke pilot dan sebaliknya ditunjukkan pada gambar 13. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada seluruh *shift* kerja nilai MOS untuk arah komunikasi dari pilot ke ATC lebih rendah dari arah komunikasi ATC ke pilot.

### B. Pengujian Sistem Menggunakan E-Model

Pegujian sistem dengan menggunakan E-Model akan dihitung masing-masing faktor yang berpengaruh pada nilai R faktor sesuai dengan kondisi peralatan yang digunakan. Perhitungan masing-masing faktor mengacu pada adaptasi E-Model untuk komunikasi radio.

#### 1) Perhitungan $R_o$

$R_o$  dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 3 dimana nilai  $N_o$  harus dihitung terlebih dahulu, sedangkan nilai SLR ditetapkan dengan nilai optimal yaitu +8 dB. Nilai  $N_o$  dihitung menggunakan persamaan 4 dimana  $N_c$  dan  $N_{fo}$  diatur ke nilai default yaitu -70 dBm0p dan -64 dBm0p. Sehingga yang perlu dihitung hanya  $N_{os}$  dan  $N_{or}$ . Perhitungan  $N_{os}$  dan  $N_{or}$  menggunakan persamaan 5 dan 7 dimana kedua variabel tersebut dipengaruhi oleh tingkat kebisingan ruangan (ruang kontrol ATC dan kokpit pesawat) serta *noise reduction* dari perangkat *headset* yang digunakan oleh ATC maupun pilot. Tingkat kebisingan di kokpit pesawat ditetapkan sebesar 90 dB berdasarkan keumuman riset tentang *noise* dalam kokpit pesawat. Sedangkan tingkat kebisingan di ruang kontrol ATC ditetapkan sebesar 80 dB dengan pertimbangan riset tentang *noise room* dengan aktifitas padat, dimana sumber *noise room* ruang kontrol ATC berasal dari aktifitas para ATC yang berkomunikasi dan dari berbagai peralatan di *console desk* ATC. Dari hasil survey lapangan, nilai *noise reduction* dari *headset* dan *microphone* yang digunakan ATC adalah 20 dB dan 22 dB, nilai ini dapat diseragamkan karena semua ATC di Airnav Cabang JATSC menggunakan *headset* dengan merk dan tipe yang sama. Sedangkan untuk nilai *noise reduction* dari *headset* dan *microphone* yang digunakan oleh pilot di Indonesia berkisar antara 23 dB sampai 30 dB. Oleh karena itu diambil nilai tengah sebesar 27 dB mengacu pada spesifikasi salah satu merk.

Tabel 10 menunjukkan nilai  $R_o$  pada arah komunikasi pilot ke ATC yaitu 61,243 lebih kecil dibandingkan arah komunikasi ATC ke pilot yaitu 65,965. Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat kebisingan pada ruang kokpit pilot, dimana redaman

sebesar 27 dB cukup efektif untuk menekan *noise* tetapi peningkatan nilainya tidak terlalu besar.

Tabel 10. Nilai  $R_o$  Dan Parameter Yang Berkontribusi

Parameter	Arah Komunikasi Pilot ke ATC Nilai (dalam dBm0p)	Arah Komunikasi ATC ke Pilot Nilai (dalam dBm0p)
$N_{os}$	-38,916	-42,816
$N_{or}$	-56,768	-49,728
$N_c$	-70	-70
$N_{fo}$	-64	-64
$N_o$	-38,829	-41,977
$R_o$	<b>61,243</b>	<b>65,965</b>

Secara umum besaran nilai  $R_o$  dipengaruhi oleh kondisi ruang kerja ATC maupun pilot dan spesifikasi *aviation headset* yang digunakan. Kedua faktor utama tersebut tidak terpengaruh oleh kondisi traffic dan intensitas komunikasi ATC dengan pilot, sehingga nilai  $R_o$  dianggap sama pada semua *shift* kerja ATC (pagi, siang, malam).

Selanjutnya, perhitungan  $I_s$  tidak lagi dihitung karena telah diketahui bahwa nilai  $I_{olr}$  mendekati nol sehingga nilai  $I_s$  ditiadakan atau ditetapkan sebesar nol dalam perhitungan R faktor. Penetapan nilai tersebut disebabkan karena *sidetone* pada sistem VHF-ER dapat diatur sesuai kebutuhan pengguna.

#### 2) Perhitungan $I_d$

Faktor yang berpengaruh pada perhitungan  $I_d$  adalah  $I_{dd}$ . Ini dikarenakan sifat komunikasi radio VHF A/G yang *half-duplex* sehingga tidak ada gema. Sedangkan  $I_{dd}$  dipengaruhi oleh *one-way delay* ( $T_a$ ) yang tetap ada meskipun tidak ada gema yang terjadi. Tabel 4.6 menunjukkan data delay hasil capture jaringan.

Tabel 11. Rangkuman Data Nilai  $I_d$  dan Faktor Yang Berkontribusi

Arah Komunikasi	Shift	$T_a$	$X$	$I_{dd} = I_d$
ATC-Pilot	Pagi	70,603 ms	0	0
Pilot-ATC	Pagi	151,301 ms	0,597	0,185
ATC-Pilot	Siang	86,171 ms	0	0
Pilot-ATC	Siang	132,136 ms	0,402	0,017
ATC-Pilot	Malam	79,631 ms	0	0
Pilot-ATC	Malam	147,249 ms	0,558	0,124

Dari tabel 11 diketahui bahwa nilai  $T_a$  pada arah komunikasi Pilot ke ATC cenderung lebih besar dibanding arah komunikasi dari ATC ke Pilot. Karena nilai  $T_a$  untuk arah komunikasi kurang dari 100 ms, maka nilai  $I_d$  untuk arah komunikasi tersebut tidak dihitung dan ditetapkan sebesar nol.

#### 3) Perhitungan $I_e$

Nilai  $I_e$  merupakan representasi dari *codec* yang digunakan dalam sebuah sistem yang memanfaatkan standar VoIP. Nilai  $I_e$  dapat mengikuti standar ITU-T pada dokumen G.113 selama padangan *encoder* dan *decoder* untuk *codec* tersebut berada pada satu saluran transmisi. Pada implementasi VHF-ER dengan menggunakan RoIP ini, *codec* yang digunakan adalah G.729. Berdasarkan tabel 6 maka nilai  $I_e$  untuk *codec* G.729 adalah 10.

#### 4) Perhitungan A

Nilai A ditambahkan dengan pertimbangan keuntungan akses dimana pengguna komunikasi dalam hal ini ATC dan pilot dapat senantiasa berkomunikasi meskipun kompensasinya dengan mentoleransi penurunan kualitas transmisi sebagai ganti untuk "keuntungan akses". Keuntungan ini tentu sangat tepat bila diterapkan dalam kasus pemanfaatan koneksi satelit untuk sistem VHF-ER, dimana pengguna mendapat keuntungan akses komunikasi meskipun secara topografi negara Indonesia terdiri dari banyak kepulauan. Oleh karena itu, nilai A ditetapkan sebesar 20 sesuai tabel 7 tentang rekomendasi nilai A maksimum pada koneksi satelit.

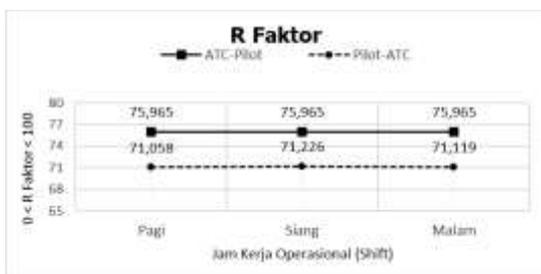
#### 5) Perhitungan R Faktor Dan Konversi Ke MOSCQE

Nilai R faktor dapat dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai rumusan dasar dari E-model kemudian untuk mengonversi ke nilai MOS dengan persamaan 2. Sebelum menghitung R faktor dari tiga shift kerja dengan dua arah komunikasi berbeda, perlu ditekankan bahwa satu-satunya faktor yang terpengaruh oleh perbedaan kondisi tiap shift kerja adalah *Id*. Karena *Id* merupakan faktor yang mengukur penurunan kualitas berdasarkan *delay* dalam jaringan, dimana kondisi jaringan tentu saja terpengaruh oleh intensitas para pengguna sebuah jaringan dalam waktu bersamaan. Maka, dapat diketahui bahwa perhitungan R faktor pada arah komunikasi ATC ke pilot baik pada shift kerja pagi, siang maupun malam memiliki nilai sama karena nilai *Id* untuk arah komunikasi ATC ke pilot adalah sama yaitu nol.

Tabel 12. Data R Faktor dan MOSCQE

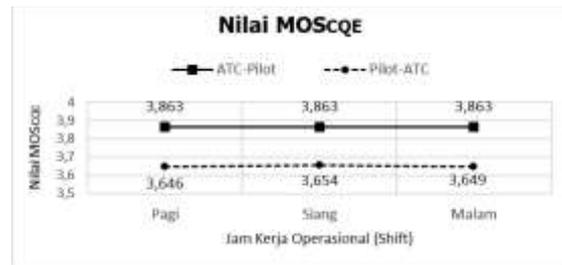
Arah Komunikasi	Shift	R Faktor	MOSCQE
ATC-Pilot	Pagi	75,965	3,863
Pilot-ATC	Pagi	71,058	3,646
ATC-Pilot	Siang	75,965	3,863
Pilot-ATC	Siang	71,226	3,654
ATC-Pilot	Malam	75,965	3,863
Pilot-ATC	Malam	71,119	3,649

Rangkuman data Nilai R faktor dan hasil konversi ke MOSCQE ditunjukkan pada tabel 12.



Gambar 14. Grafik Nilai R Faktor

Pada gambar 14 diketahui bahwa nilai R faktor arah komunikasi ATC ke pilot lebih tinggi dibanding arah komunikasi pilot ke ATC. Dimana nilai R faktor terendah adalah 71,058 yaitu pada shift pagi untuk arah komunikasi dari pilot ke ATC. Nilai tersebut masih di atas kategori layak digunakan.

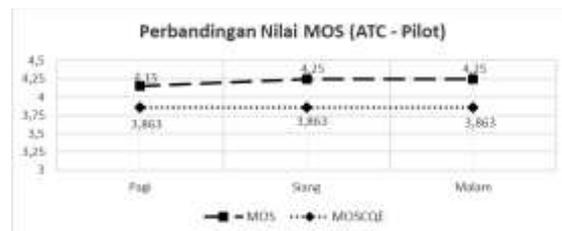


Gambar 15. Grafik Nilai MOSCQE

Grafik pada gambar 4.7 menunjukkan nilai MOSCQE komunikasi dari arah ATC ke pilot lebih tinggi dibanding nilai MOSCQE arah komunikasi sebaliknya. Tren grafik nilai MOSCQE sama dengan grafik nilai R faktor. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai R faktor maka semakin tinggi juga nilai MOSCQE

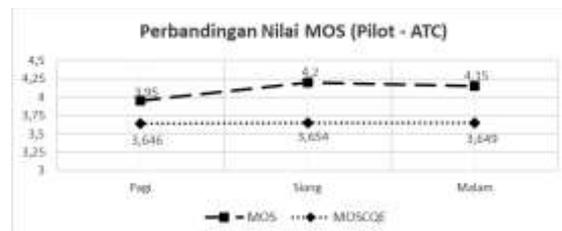
#### C. Perbandingan Nilai MOS

Berdasarkan pengambilan data sampling untuk metode subjektif MOS dan data objektif hasil perhitungan R faktor yang telah dikonversi ke MOSCQE, maka perbandingan data subjektif dan objektif pada arah komunikasi ATC ke pilot dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik Perbandingan MOS dan MOSCQE ATC-Pilot

Gambar 16 menunjukkan grafik perbandingan nilai MOS dan MOSCQE pada arah komunikasi ATC ke pilot, dimana nilai MOS cenderung lebih besar dibanding MOSCQE. Selain itu, nilai MOSCQE sama pada shift pagi, siang maupun malam. Hal ini karena pengaruh nilai *Id* yang ditetapkan sebesar nol.



Gambar 17. Grafik Perbandingan MOS dan MOSCQE Pilot-ATC

Dari gambar 17 diketahui bahwa pada arah komunikasi pilot ke ATC, nilai MOS lebih besar dari MOSCQE. Nilai MOS yang cenderung lebih besar dari nilai MOSCQE terjadi pada kedua arah komunikasi. Perbedaan nilai ini terjadi dikarenakan penilaian subjektif oleh ATC maupun pilot yang cenderung memberi nilai pada kategori baik selama komunikasi dapat langsung dimengerti dalam satu kali penyampaian. Penyebab lain nilai MOS subjektif lebih tinggi adalah toleransi kualitas suara

dalam transmisi oleh ATC. Ini disebabkan ATC sudah terbiasa menggunakan sistem VHF-ER yang pada aktual penggunaannya terdapat kompresi suara dan *delay* dibandingkan sistem VHF A/G biasa. Meskipun demikian, beberapa ATC yang baru berkerja menggunakan sistem VHF-ER memerlukan pelatihan dan pendampingan dari ATC senior dalam kurun waktu tertentu.

Secara keseluruhan, hasil implementasi RoIP pada sistem VHF-ER masih dalam kategori baik untuk digunakan operasional komunikasi antara ATC dan pilot. Meskipun hasil penilaian objektif MOS<sub>CQE</sub> dibawah 4 (kategori baik), tapi pada ATC dan pilot sebagai end-user dapat mentoleransi penurunan kualitas transmisi yang dibuktikan dengan hasil penilaian subjektif MOS hampir semuanya di atas nilai 4 (kategori baik). Nilai MOS<sub>CQE</sub> dengan arah komunikasi dari pilot ke ATC juga masih nilai MOS kebanyakan sistem yang menggunakan *codec* G.729A yaitu 3,7 seperti tertera pada tabel 4.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk metode penilaian subjektif dengan Mean Opinion Score (MOS), hasil implementasi RoIP pada sistem VHF-ER didapatkan rata-rata nilai MOS 4,158. Nilai ini dalam standar ITU-T P.800 termasuk dalam kategori baik.
2. Untuk metode penilaian objektif dengan E-model, hasil implementasi RoIP pada sistem VHF-ER didapatkan rata-rata nilai MOS<sub>CQE</sub> 3,756. Nilai tersebut masih lebih besar dari nilai MOS kebanyakan sistem yang menggunakan *codec* G.729a yaitu 3,7.
3. Perbedaan nilai MOS dan MOS<sub>CQE</sub> terjadi karena faktor manusia (human factor) dalam pengambilan keputusan untuk menentukan nilai yang tepat pada sebuah komunikasi yang sedang berlangsung. Ini juga membuktikan bahwa kepadatan lalu lintas udara dapat mempengaruhi penilaian MOS oleh seorang ATC.
4. Besaran nilai MOS<sub>CQE</sub> sangat dipengaruhi oleh tingkat kebisingan ruangan dan kualitas redaman perangkat headset yang digunakan. Selain itu, beban lalu lintas pada jaringan juga berpengaruh, tetapi tidak terlalu besar karena sifat komunikasi antara ATC dan pilot menggunakan radio VHF yang point-to-point.
5. Implementasi RoIP pada sistem VHF-ER dapat diterima tanpa ada kendala operasional dalam komunikasi antara ATC dan pilot di area kontrol *Jakarta Air Traffic Service Center* (JATSC).

## REFERENSI

- [1] ICAO, "Manual for the ATN using IPS Standards and Protocols - Doc 9896," no. Doc 9896, pp. 1–109, 2011.
- [2] J. Baddoo et al., "Technology demonstrator of a novel software defined radio-based aeronautical communications system," *IET Sci. Meas. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 370–379, 2014.
- [3] O. Fernando and P. Ortiz, "DESIGN , IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE VALIDATION OF AN IP BASED AERONAUTICAL TELECOMMUNICATIONS NETWORK USING The Colombian Airspace and the Operational Requirements," pp. 1–10, 2016.
- [4] T. Kim, C. Park, and S. Park, "The application of compression methods for RoIP data transmission efficiency in the HFC network," *Proc. - Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2017*, pp. 134–137, 2017.
- [5] B. N. Cheng, A. Coyle, S. McGarry, I. Pedan, L. Veytser, and J. Wheeler, "Characterizing routing with radio-to-router information in a heterogeneous airborne network," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 12, no. 8, pp. 4183–4195, 2013.
- [6] S. Apostolacos, A. Meliones, S. Badessi, and G. Stassinopoulos, "Adaptation of the E-model for satellite internet protocol radio calls in air traffic control," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 51, no. 1, pp. 81–96, 2015.
- [7] FAA, "Order 7110.65P," 2004.
- [8] ICAO, "AIR TRAFFIC SERVICES PLANNING MANUAL Catalogue of ICAO Publications and Audio-visual Training Aids," no. Doc 9426, 1984.
- [9] "RoIP." [Online]. Available: <http://www.c4i.com/images/products/switchPlusIP.jpg>. [Accessed: 05-Apr-2018].
- [10] I.-T. G.113, "Transmission impairments due to speech processing," p. 26, 2007.
- [11] International Telecommunication Union, "P.800: Series P: Telephony transmission quality, Methods for subjective determination of transmission quality," *ITU-T Recomm.*, vol. 800, p. 29, 1996.
- [12] C. Used, C. Complexity, C. Negotiation, R. E. Messages, and R. Information, "Understanding Codecs: Complexity , Hardware Support , MOS , and Negotiation," vol. 1, pp. 1–8, 2005.
- [13] ITU-T, "Rec. G.107, The E-model: a computational model for use in transmission planning{Bibliography}," *Int. Telecommun. Union*, 2015.
- [14] "Cross-Network Gateway (Radio , VoIP , Public Announce) User Manual," in *ROIP102 Manual Book*, 2011.