

# **PERFORMA WAVEFORM SISTEM ALE 2G PADA PROSES IDENTIFIKASI KETERSEDIAAN KANAL IONOSFER SIRKUIT BANDUNG-WATUKOSEK**

## **[PERFORMANCE OF THE 2G ALE WAVEFORMS FOR IDENTIFICATION PROCESS OF IONOSPHERIC CHANNEL AVAILABILITY ON BANDUNG-WATUKOSEK CIRCUITS]**

**Varuliantor Dear<sup>1,\*\*</sup> dan Adit Kurniawan<sup>\*)</sup>**

**\*) Institut Teknologi Bandung**

**Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40116 Indonesia**

**\*\*) Pusat Sains Antariksa**

**Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional**

**Jl. Dr. Djundjuna 133 Bandung 40173 Indonesia**

**<sup>1</sup>email: varuliantor.dear@lapan.go.id**

**Diterima 23 Maret 2015; Direvisi 3 April 2015; Disetujui 6 April 2015**

### **ABSTRACT**

This research analysed the performance of the second generation of the Automatic Link Establishment (2G-ALE) system in the process of identifying the channel availability. The identification process was based on the implementation result of a single circuit ionospheric communication systems. The analysis process was done by comparing the channel availability from the ionospheric reflections capability with the implementation result of the ALE waveform in Bandung (6.53°S;107.35°E) – Watukosek (7.15°S;112.45°E) circuit communication. The frequency that used in the implementation was 10.1455 MHz. The analysis results were presented in the form of the mean bit error rate (BER) curves as a function of Signal+Noise+Distortion/Noise+Distortion (SINAD) and also in the form of the distribution of SINAD. From the result curves, the capability of the identified channel availability were calculated by the outage probability ( $P_{out}$ ) values that based on the bit error rate maximum value of the ALE systems. By using 0.28 as the maximum bit error rate value, the  $P_{out}$  calculation result shows that the ALE waveform cannot used to identify the channel availability more than 50% from the maximum channel availability that limited by the Maximum Usable Frequency (MUF) and Lowest Usable Frequency (LUF). The results also show that the capability of the identified process for one day period were only 36%. This inability of the channel availability identified process, shows that the 8-CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying) modulation in the 2G ALE waveform were not optimal.

*Key words: Waveform ALE, 8-CPFSK, Identify Channel Availability*

### **ABSTRAK**

Penelitian ini menganalisis performa *waveform* sistem *Automatic Link Establishment* (ALE) generasi kedua (2G) pada proses identifikasi ketersediaan kanal yang dilakukan berdasarkan hasil penerapan pada sebuah sirkuit komunikasi kanal ionosfer. Analisis dilakukan dari hasil perbandingan antara perhitungan ketersediaan kanal berdasarkan kemampuan pantul oleh lapisan ionosfer dan hasil penerapan *waveform* sistem ALE pada sirkuit komunikasi Bandung (6,53°LS;107,35°BT) –Watukosek (7,15°LS;112,45°BT) yang menggunakan sebuah frekuensi tunggal, yakni 10,1455 MHz. Hasil analisis performa identifikasi ketersediaan kanal *waveform* ALE dilakukan dengan menyajikan kurva *Bit Error Rate* (BER) rata-rata sebagai fungsi Signal+Noise+Distorsi/Noise+Distorsi (SINAD), dan distribusi SINAD dari data empiris yang diperoleh. Dari kurva BER rata-

rata sebagai fungsi SINAD dan distribusi SINAD untuk tiap periode satu hari pengamatan, perhitungan nilai *outage probability* ( $P_{out}$ ) berdasarkan kriteria nilai SINAD minimum dari BER maksimum yang diijinkan pada sistem ALE dilakukan untuk memperoleh persentase keberhasilan identifikasi ketersediaan kanal. Hasil perhitungan  $P_{out}$  dengan kriteria BER maksimum 0,288 menunjukkan bahwa *waveform* ALE 2G tidak dapat digunakan untuk proses identifikasi ketersediaan kanal hingga mencapai lebih dari 50% dari nilai ketersediaan kanal maksimum yang telah dibatasi oleh nilai *Lowest Usable Frequency* (LUF) dan *Maximum Usable Frequency* (MUF). Dari hasil perhitungan  $P_{out}$  tersebut, persentase keberhasilan identifikasi ketersediaan kanal dalam periode satu hari juga menunjukkan bahwa penggunaan *waveform* sistem ALE 2G hanya mampu mengidentifikasi hingga 36% dari ketersediaan kanal yang tersedia dalam satu hari. Kegagalan identifikasi ketersediaan kanal tersebut menunjukkan bahwa modulasi *8-Continuous Phase Frequency Shift Keying* (CPFSK) yang digunakan pada *waveform* ALE 2G belum optimal dalam proses identifikasi ketersediaan kanal pada propagasi sistem komunikasi ionosfer.

Kata Kunci: *Waveform ALE, 8-CPFSK, Identifikasi Channel Availability*

## 1 PENDAHULUAN

Sistem *Automatic Link Establishment* (ALE) merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk mengatasi variasi frekuensi kerja pada sistem komunikasi menggunakan kanal ionosfer (Goodman, 2005). Dengan melakukan evaluasi pada tiap frekuensi yang digunakan, sistem ALE generasi kedua (2G) melakukan identifikasi ketersediaan kanal dengan menganalisis hasil penerimaan sinyal yang termodulasi dengan *8-CPFSK* (*Continuous Phase Frequency Shift Keying*) (Department of Defense, 2011). Analisis sinyal termodulasi atau *waveform* tersebut dinyatakan berdasarkan nilai kuantitatif yang berupa nilai perbandingan antara *Signal+Noise+Distorsi* terhadap *Noise+Distorsi* (SINAD) dan nilai *Bit Error Rate* (BER) sebagai cara untuk menyatakan kualitas ketersediaan kanal pada frekuensi yang digunakan. Oleh karena itu, sistem ALE dianggap sebagai sebuah solusi dari sistem adaptif yang mampu mengatasi sifat dinamis kanal ionosfer pada sebuah sistem komunikasi (Ads, 2013).

Beberapa penelitian dan implemmentasi pengembangan sistem ALE dari generasi awal hingga generasi 4G telah dilakukan di dunia industri seperti yang dilakukan oleh Thales Group (Bergot *et al.*, 2014). Namun, penelitian tentang performa *waveform* sistem ALE 2G pada kondisi kanal ionosfer yang sebenarnya, khususnya di Indonesia, belum dilakukan. Oleh karena itu, dengan merujuk bahwa Indonesia merupakan daerah yang berada dalam wilayah anomali ionosfer (Abadi *et al.*, 2014), maka informasi tentang performa *waveform* sistem ALE 2G dapat bermanfaat bagi penerapan sistem ALE di daerah Indonesia yang memiliki kondisi ionosfer yang unik.

Dalam penelitian ini, performa *waveform* sistem ALE 2G dianalisis berdasarkan kemampuan proses deteksi ketersediaan kanal pada sebuah frekuensi kerja ( $f_c$ ) yang dibandingkan dengan hasil perhitungan rentang frekuensi yang tersedia berdasarkan batas nilai *Lowest Usable Frequency* (LUF) dan *Maximum Usable Frequency* (MUF). Perhitungan nilai LUF dan MUF mengacu pada hasil perhitungan menggunakan metoda *secant* (Jiyo, 2009<sup>a</sup>). Hasil deteksi ketersediaan kanal pada sistem ALE yang menggunakan sinyal termodulasi *8-CPFSK* digunakan sebagai indikator performa *waveform* sistem ALE.

Penelitian dilakukan dengan menerapkan pengujian *waveform* ALE 2G pada sebuah sirkuit komunikasi Bandung-Watukosek dengan menggunakan frekuensi kerja ( $f_c$ ) tunggal, yakni 10,1455 MHz. Hasil analisis performa *waveform* sistem ALE 2G disajikan dalam bentuk kurva *mean Bit Error Rate* (BER) sebagai fungsi SINAD dan juga distribusi SINAD dalam satu hari untuk menunjukkan karakteristiknya. Berdasarkan kedua kurva tersebut, kegagalan identifikasi ketersediaan kanal

dinyatakan dengan perhitungan nilai *outage probability* ( $P_{out}$ ) yang menggunakan batas nilai SINAD minimum berdasarkan nilai BER maksimum yang diijinkan dalam sistem ALE. Hasil perhitungan  $P_{out}$  kemudian dibandingkan dengan ketersediaan kanal ionosfer berdasarkan nilai LUF dan MUF, sehingga diperoleh nilai kuantitatif dari performa kemampuan *waveform* sistem ALE 2G dalam proses identifikasi ketersediaan kanal. Informasi ini dapat bermanfaat untuk melihat kemampuan deteksi ketersediaan kanal menggunakan *waveform* ALE 2G pada penerapan kanal ionosfer sebenarnya, khususnya di wilayah Indonesia.

## 2 WAVEFORM SISTEM ALE 2G

Sistem ALE menggunakan sinyal *beacon* yang diperuntukkan dalam proses analisis pada stasiun penerima. Sejumlah *bit* pesan dikirimkan secara periodik sebagai sebuah informasi tentang identitas stasiun pengirim. Sinyal *beacon* yang dapat diterima kemudian diidentifikasi dan dianalisis sebagai informasi tentang stasiun sumber sinyal beserta kualitas sinyal penerimaan. Hasil analisis sinyal yang diterima kemudian digunakan sebagai representasi kualitas propagasi kanal yang dinyatakan dalam tabel *Link Quality Analysis* (LQA) (National Communication System, 1993).

Sinyal *beacon* sistem ALE dikenal sebagai *waveform* ALE. Pada sistem ALE 2G, *waveform* ALE merupakan sinyal dengan modulasi 8-CPFSK. Deretan tiga *bit* data yang disusun berdasarkan kode *Gray*, ditransformasikan kedalam sebuah simbol dengan periode waktu ( $T_s$ ) 8 mili-detik. Simbol tersebut kemudian digunakan untuk memodulasi frekuensi *carrier* dengan menggunakan modulasi *Single Side Band-Upper Side Band* (SSB-USB). Pemetaan deretan *bit* ke dalam simbol dengan menggunakan modulasi 8-CPFSK disajikan pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1: PEMETAAN DERETAN 3 BIT KEDALAM SIMBOL

<b>message bit</b> <b>{b0 b1 b2}</b>	<b>fm</b> <b>(Hz)</b>
<b>000</b>	750
<b>001</b>	1000
<b>011</b>	1250
<b>010</b>	1500
<b>110</b>	1750
<b>111</b>	2000
<b>101</b>	2250
<b>100</b>	<b>2500</b>

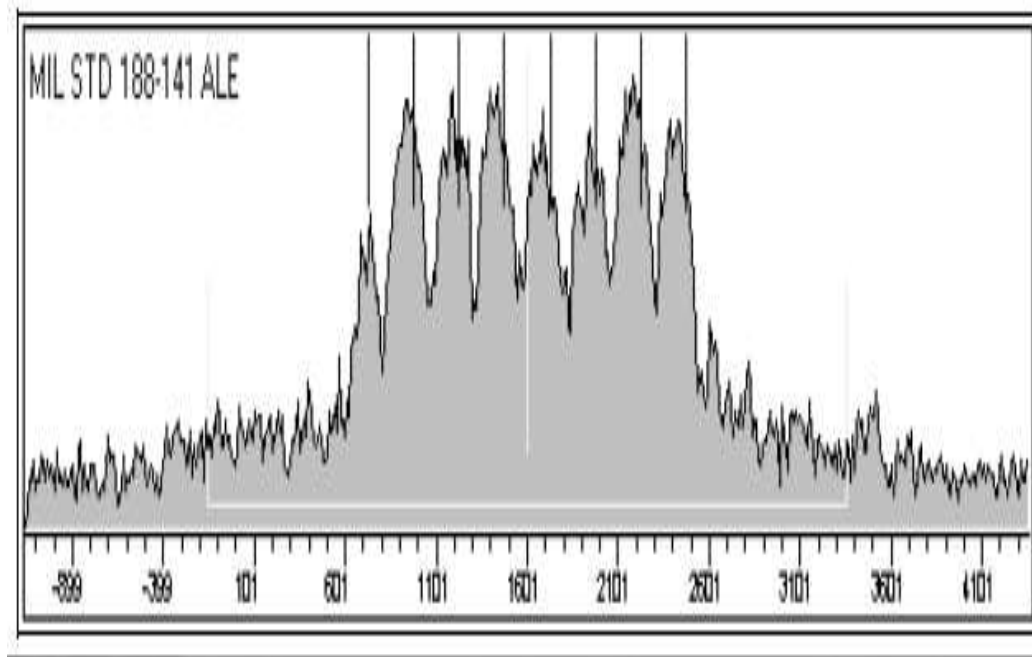
Simbol yang merupakan *waveform* sistem ALE sebagai representasi deretan 3 *bit*,  $m(t)$ , dinyatakan dengan persamaan (2-1).

$$m_i(t) = \cos[2\pi f_m(t) + \theta(t)] \tag{2-1}$$

dengan  $i$  merupakan indeks *bit* yang disesuaikan dengan nilai  $f_m$  dari deretan 3 *bit* berdasarkan Tabel 2-1. Sedangkan  $\theta$  merupakan fasa dari sinyal sebelumnya. Sinyal yang ditransmisikan ke udara bebas yang merupakan *output* dari modulator SSB-USB dinyatakan dengan notasi  $s(t)$  pada persamaan (2-2).

$$s(t) = \frac{A_c}{2} m(t) \cos 2\pi f_c t + \frac{A_c}{2} \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t \tag{2-2}$$

dengan  $m(t)$  adalah simbol yang dinyatakan dalam persamaan (2-1),  $\hat{m}(t)$  adalah transformasi Hilbert dari  $m(t)$ , dan  $f_c$  adalah frekuensi pembawa yang digunakan. Dalam domain frekuensi, ilustrasi spektrum dari *waveform* sistem ALE disajikan pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Spektrum *waveform* ALE (National Communication System, 1993)

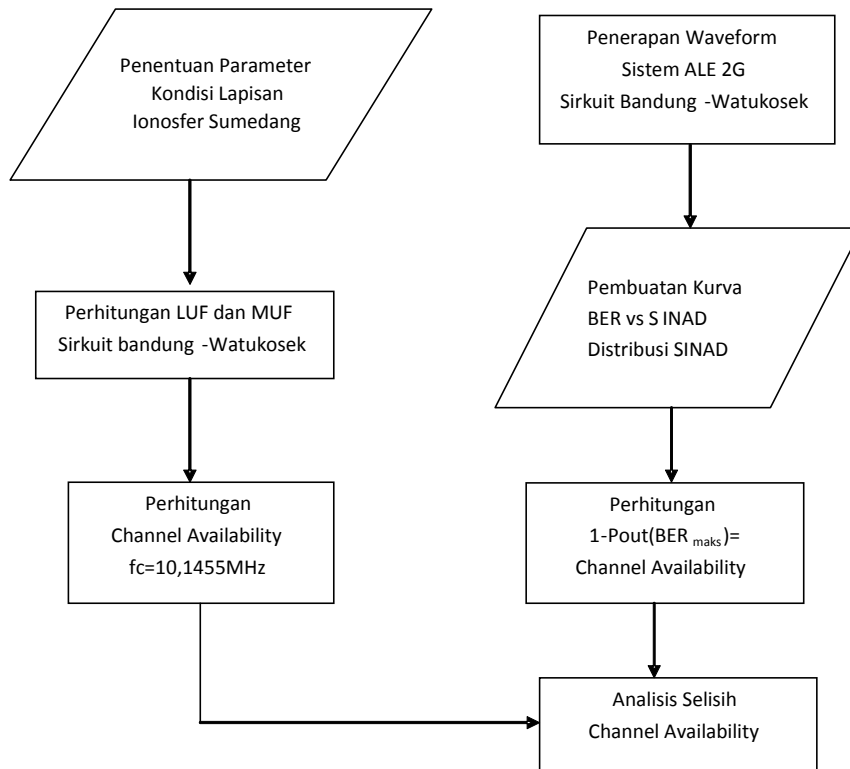
### 3 METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan disajikan pada diagram alur Gambar 2-1. Tahapan kegiatan penelitian meliputi perhitungan ketersediaan kanal yang dibatasi oleh nilai LUF dan MUF beserta proses pengujian penerapan *waveform* sistem ALE untuk periode waktu yang sama, yakni 19 September - 24 September 2014. Hasil pengamatan kondisi lapisan ionosfer di atas Sumedang (6,91°LS; 107,83°BT) yang berupa ketinggian lapisan ionosfer ( $h'$ ), frekuensi kritis ( $f_o$ ), dan frekuensi minimum ( $f_{min}$ ) yang digunakan untuk menghitung nilai LUF dan MUF pada sirkuit komunikasi Bandung (6,53°LS; 107,35°BT) – Watukosek (7,15°LS; 112,45°BT) yang digunakan dalam proses pengujian penerapan *waveform* sistem ALE. Pemanfaatan data kondisi ionosfer di atas Sumedang sebagai representasi data ionosfer untuk wilayah titik pantul dari propagasi gelombang radio sirkuit komunikasi Bandung-Watukosek dapat dilakukan sesuai dengan rujukan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Jiyo (2009<sup>b</sup>) dan Dear (2012). Hal ini didasari oleh jarak antara stasiun Ionosonda Sumedang dengan titik tengah sirkuit komunikasi Bandung-Watukosek yang tidak lebih dari 300 km.

Dari hasil perhitungan nilai LUF dan MUF, maka dapat dihitung nilai *channel availability* yang merepresentasikan ketersediaan kanal pada frekuensi 10,1455 MHz dengan menggunakan persamaan (3-1).

$$CA = \frac{1}{N} \sum n_{f_c}, \quad LUF(t) \leq f_c(t) \leq MUF(t) \quad (3-1)$$

Nilai  $n_{f_c}$  merupakan jumlah kejadian saat nilai  $f_c$  10,1455 MHz berada diantara nilai LUF dan MUF yang bervariasi terhadap waktu. Sedangkan  $N$  adalah total pengamatan yang dilakukan. Pada penelitian ini, periode waktu pengamatan dilakukan untuk setiap harinya, sehingga  $N$  bernilai 24 yang mewakili jumlah jam dalam satu hari.



Gambar 2-1: Diagram alur tahapan kegiatan penelitian

Untuk penerapan *waveform* sistem ALE, pengujian yang dilakukan dapat menghasilkan keberhasilan penerimaan sinyal yang ditentukan berdasarkan variasi jumlah *Bit Error Rate* (BER) dalam satu hari, kurva BER sebagai fungsi SINAD, dan distribusi SINAD untuk setiap harinya. Berdasarkan hasil tersebut dapat dihitung nilai  $P_{out}$  dengan batas nilai BER maksimum yang merepresentasikan kemampuan identifikasi ketersediaan kanal (*channel availability; CA*) berdasarkan kriteria sistem ALE. Perhitungan  $P_{out}$  dilakukan dengan menggunakan persamaan (3-2).

$$P_{out} = p(\gamma_s < \gamma_o) = \int_0^{\gamma_o} p_{\gamma_s}(\gamma) d\gamma \tag{3-2}$$

dengan  $\gamma_s$  adalah nilai SINAD yang diperoleh, dan  $\gamma_o$  adalah batas nilai SINAD untuk nilai BER maksimum yang diijinkan.  $P_{out}$  merupakan nilai yang menyatakan kegagalan identifikasi ketersediaan kanal akibat nilai SINAD yang diterima berada di bawah batas nilai SINAD yang ditentukan. Hasil perhitungan  $P_{out}$  tersebut kemudian dapat diturunkan menjadi perhitungan nilai kemampuan keberhasilan deteksi untuk setiap frekuensi *carrier* yang digunakan kedalam persamaan (3-3).

$$P(\text{identifikasi}) = P(f_c) \cdot (1 - P_{out}) \tag{3-3}$$

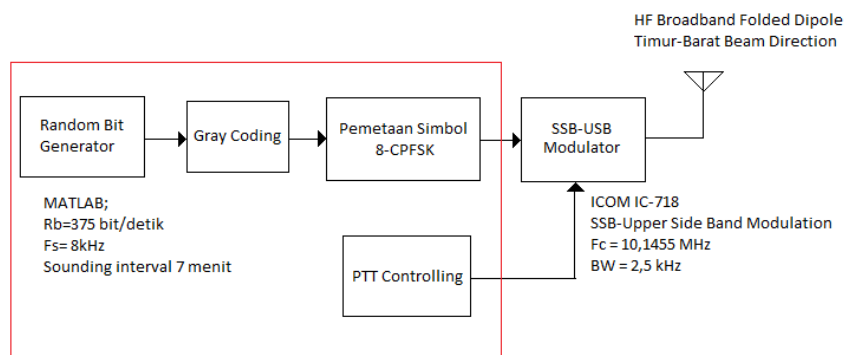
dengan  $P(f_c)$  adalah peluang frekuensi *carrier* yang digunakan. Hasil perhitungan dari persamaan (3-3) kemudian digunakan untuk membandingkan kemampuan deteksi ketersediaan kanal dengan nilai CA dari perhitungan LUF dan MUF.

Peta lokasi sirkuit komunikasi dan stasiun pengamat kondisi lapisan ionosfer yang digunakan dalam penerapan *waveform* sistem ALE 2G disajikan pada Gambar 2-2. stasiun Bandung (BDG) digunakan sebagai stasiun pemancar dengan blok diagram dijelaskan pada Gambar 2-3. Sementara stasiun Watukosek (WTK) digunakan sebagai stasiun penerima dengan blok diagram dijelaskan pada Gambar 2-4. Pada bagian pemancar, 10000 *bit* pesan yang dibangkitkan secara acak dikirimkan secara periodik

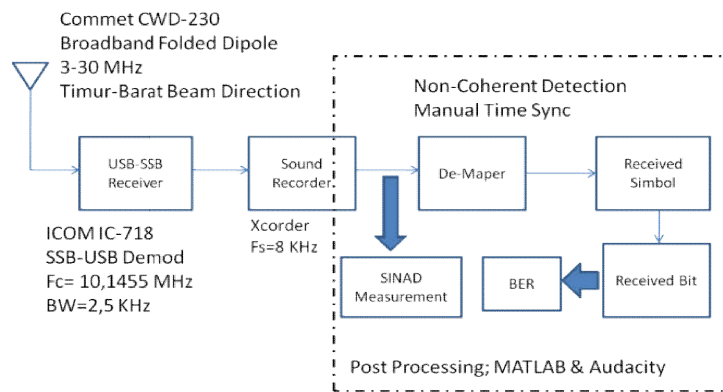
dan kontinu dengan interval waktu tujuh menit dengan menggunakan *Power* transmit (*P<sub>t</sub>*) 100 Watt. Sementara pada bagian penerima, sinyal dipantau dan direkam secara kontinu yang kemudian dianalisis.



Gambar 2-2: Peta lokasi stasiun pemancar (Bandung) dan penerima (Watukosek), serta lokasi stasiun pengamatan kondisi ionosfer (Sumedang)



Gambar 2-3: Blok diagram perangkat pemancar



Gambar 2-4: Blok diagram perangkat penerima

Hasil penerimaan sinyal yang diterima oleh stasiun WTK diolah secara *post processing* untuk menghitung nilai SINAD dan nilai BER. Perhitungan SINAD yang dilakukan merujuk pada metode Salim, *et al.*, (2008) dengan menggunakan persamaan (3-4).

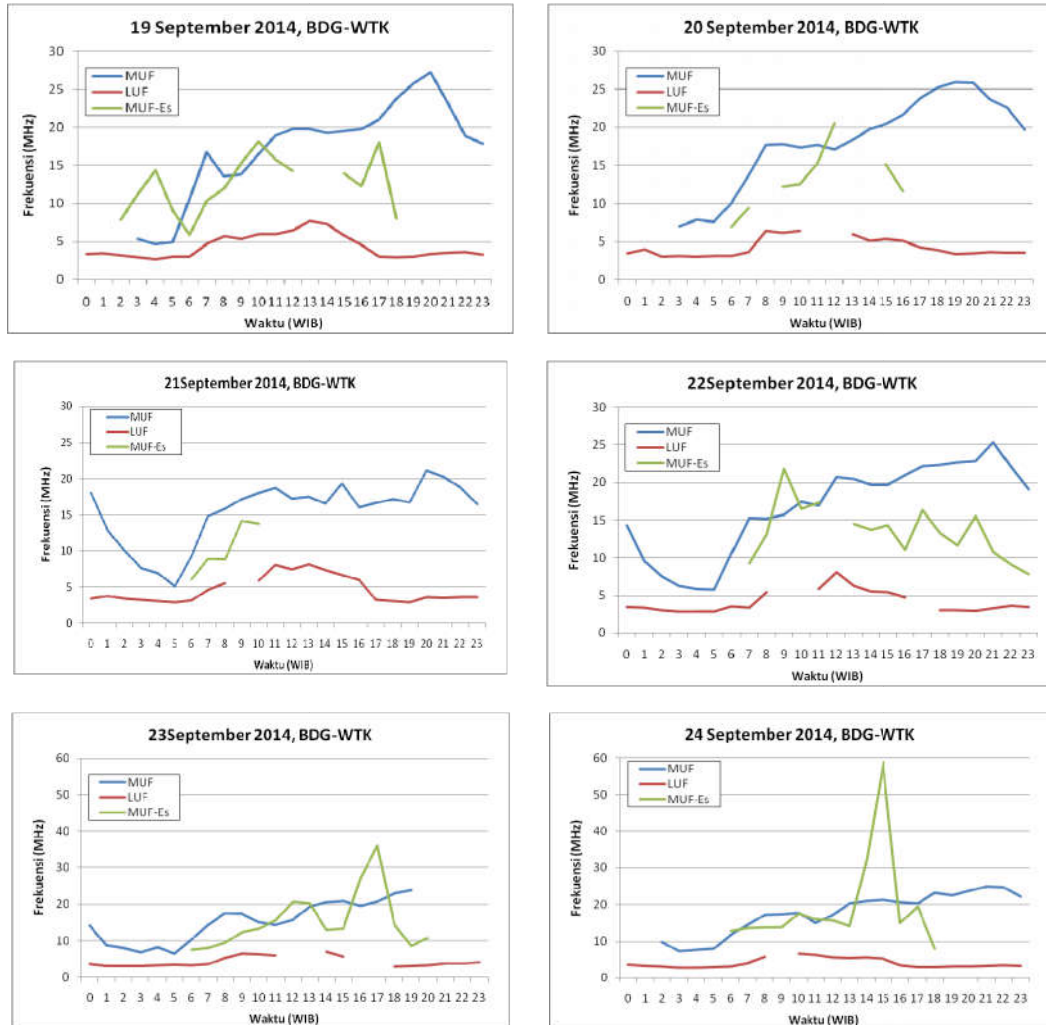
$$SINAD = 10 \log \left( \frac{|Y(\omega)|^2}{|Y(\omega)|^2 - |X(\omega)|^2} \right) \quad (3-4)$$

Nilai  $|Y(\omega)|^2$  adalah magnitudo transformasi Fourier dari sinyal yang diterima, dan  $|X(\omega)|^2$  adalah magnitudo transformasi Fourier dari sinyal yang dikirimkan yang dikumpulkan pada stasiun pemancar. Sementara untuk perhitungan BER dilakukan dengan menggunakan persamaan (3-5).

$$BER = \frac{\text{error bit}}{\text{jumlah bit}} \quad (3-5)$$

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 4-1 disajikan hasil perhitungan nilai LUF dan MUF untuk tiap hari pengamatan, yakni antara 19 hingga 24 September 2014. Pada gambar tersebut, sumbu horisontal merupakan waktu dalam satu hari dengan satuan jam untuk wilayah Indonesia bagian barat (WIB: UT+7). Sementara sumbu vertikal merupakan frekuensi yang dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer dalam satuan MHz.



Gambar 4-1: Hasil perhitungan LUF dan MUF

Pada Gambar 4-1, disajikan dua jenis perhitungan nilai MUF, yakni MUF yang dihitung berdasarkan parameter lapisan F ionosfer (MUF), dan parameter lapisan E/Es ionosfer (MUF-Es). Perhitungan kedua nilai MUF tersebut perlu dilakukan karena menentukan ketersediaan kanal pada propagasi gelombang radio melalui ionosfer (ITU, 1999). Dari hasil yang disajikan pada Gambar 4-1, khususnya pada 19 September 2014, terlihat bahwa nilai MUF-Es bernilai lebih tinggi dari frekuensi *carrier* pada saat nilai MUF berada di bawah frekuensi *carrier*. Dengan kondisi tersebut, maka frekuensi *carrier* yang digunakan dapat memungkinkan untuk dipantulkan oleh lapisan E ionosfer kendatipun tidak dapat dipantulkan oleh lapisan F ionosfer yang umumnya digunakan dalam perencanaan komunikasi. Dengan adanya pemantulan oleh lapisan E ionosfer, maka dapat dinyatakan bahwa kanal pada frekuensi *carrier* tersebut tersedia untuk dapat digunakan.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai LUF dan MUF/MUF-Es sebagai batas frekuensi yang dapat digunakan, maka ketersediaan kanal dengan menggunakan frekuensi *carrier* 10,1455 MHz dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3-1).

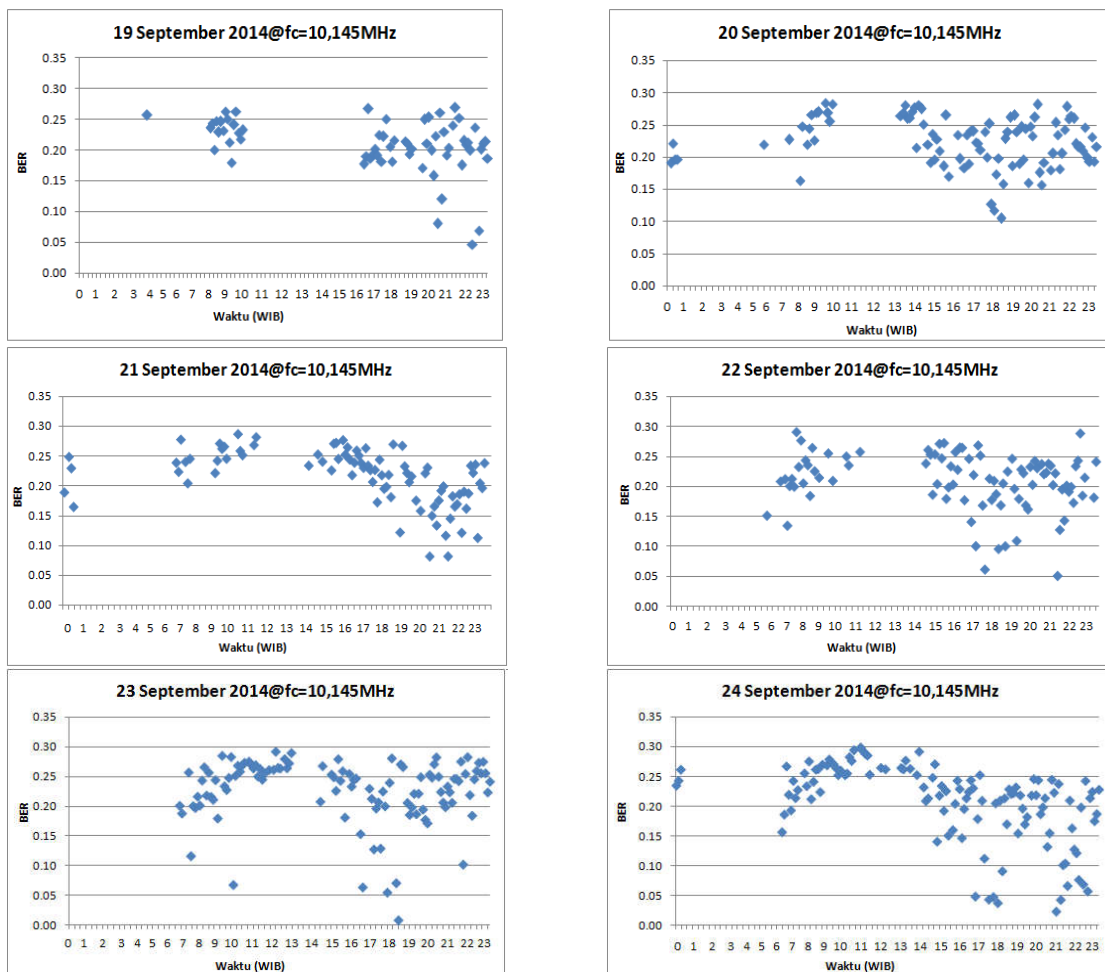
Pada Tabel 4-1 disajikan hasil perhitungan ketersediaan kanal tersebut yang dinyatakan sebagai nilai CA.

Tabel 4-1: KETERSEDIAAN KANAL BERDASARKAN NILAI LUF DAN MUF UNTUK  $f_c= 10,1455$  MHz

Tanggal	$P\{f_c\}=CA$
19 September 2014	0,75
20 September 2014	0,708
21 September 2014	0,75
22 September 2014	0,75
23 September 2014	0,75
24 September 2014	0,75

Dari Tabel 4-1 terlihat bahwa dalam periode satu hari, frekuensi kerja 10,1455 MHz memiliki peluang untuk dapat digunakan atau dinyatakan sebagai kanal yang tersedia sebesar 0,708 hingga 0,75. Nilai peluang yang tidak mencapai penuh atau mencapai 1 dalam satu hari, menunjukkan bahwa frekuensi tersebut bervariasi dan tidak dapat digunakan setiap saat. Frekuensi 10,1455 MHz hanya dapat digunakan atau tersedia pada beberapa waktu tertentu pada saat berada di rentang nilai LUF dan MUF.

Pada Gambar 4-2 disajikan hasil pengujian menggunakan *waveform* ALE 2G berupa kurva variasi nilai BER terhadap waktu dengan nilai BER maksimum 0,3. Pada gambar tersebut, sumbu horisontal merupakan waktu dalam satu hari dengan satuan jam untuk wilayah Indonesia bagian barat (WIB), sedangkan sumbu vertikal merupakan nilai BER sesuai dengan sinyal yang diterima.

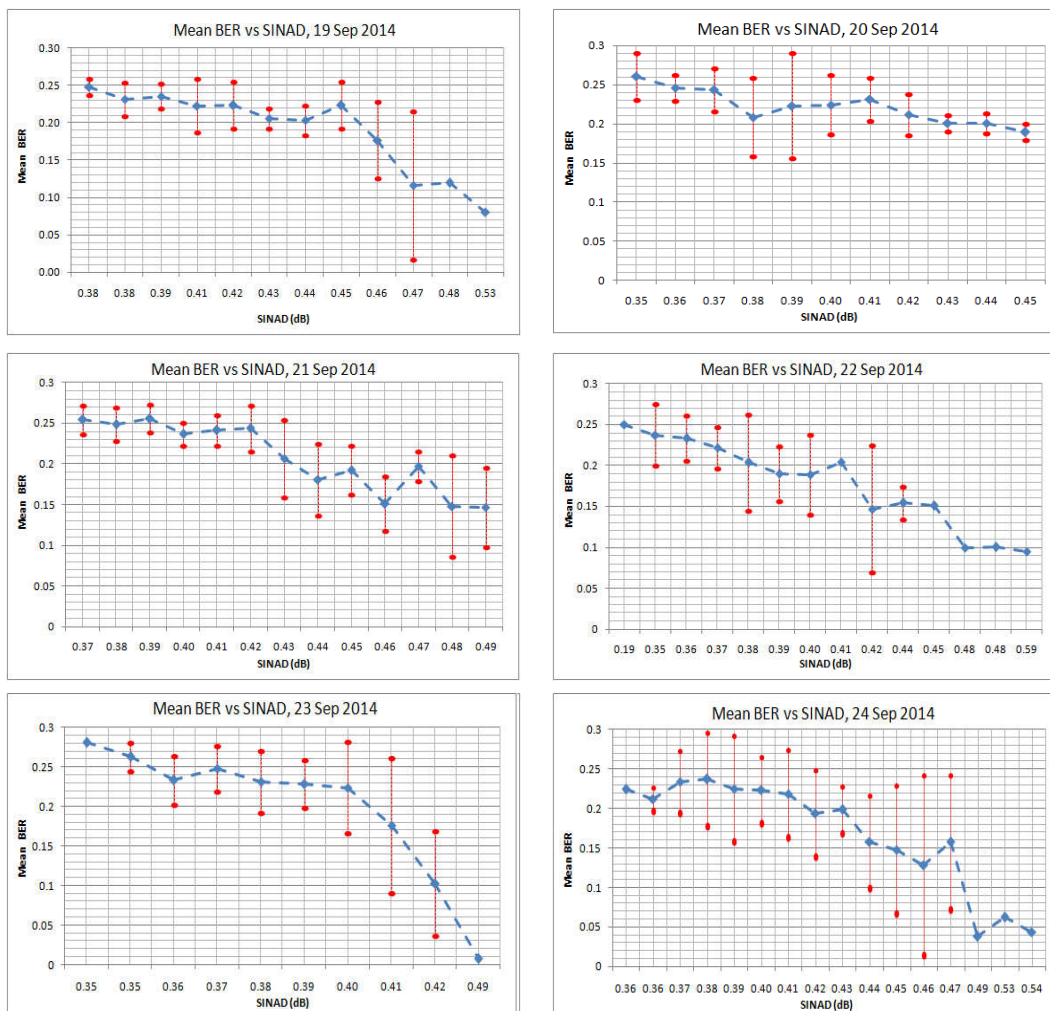


Gambar 4-2: Kurva BER sebagai fungsi waktu



Pada Gambar 4-2 terlihat bahwa nilai BER < 0,3 yang merepresentasikan keberhasilan penerimaan sinyal juga bervariasi setiap harinya. Dalam satu hari, penerimaan sinyal pada frekuensi 10,1455 MHz yang digunakan sebagai frekuensi pembawa tidak dapat terjadi setiap jam. Terdapat kelompok waktu ketika sinyal yang dikirimkan pada  $f_c$  tersebut mengalami kegagalan penerimaan sinyal. Kelompok waktu keberhasilan penerimaan sinyal tersebut sesuai dengan kondisi ketika nilai  $f_c$  berada diantara nilai LUF dan MUF yang disajikan pada Gambar 4-1.

Untuk menganalisis performa kemampuan identifikasi *waveform* sinyal ALE dalam proses identifikasi kanal, maka kurva BER sebagai fungsi SINAD dapat digunakan sebagai acuan perhitungan nilai SINAD minimum berdasarkan nilai BER yang dikehendaki. Pada Gambar 4-3 disajikan kurva *mean* BER sebagai fungsi SINAD yang diperoleh setiap harinya. Sumbu horisontal merupakan nilai SINAD dalam satuan dB, sedangkan sumbu vertikal merupakan nilai *mean* BER. Garis putus-putus menyatakan nilai *mean* BER yang diperoleh, sedangkan garis vertikal merupakan standar deviasi nilai BER pada nilai SINAD yang terukur sesuai dengan data empiris yang diperoleh dalam hasil pengujian.



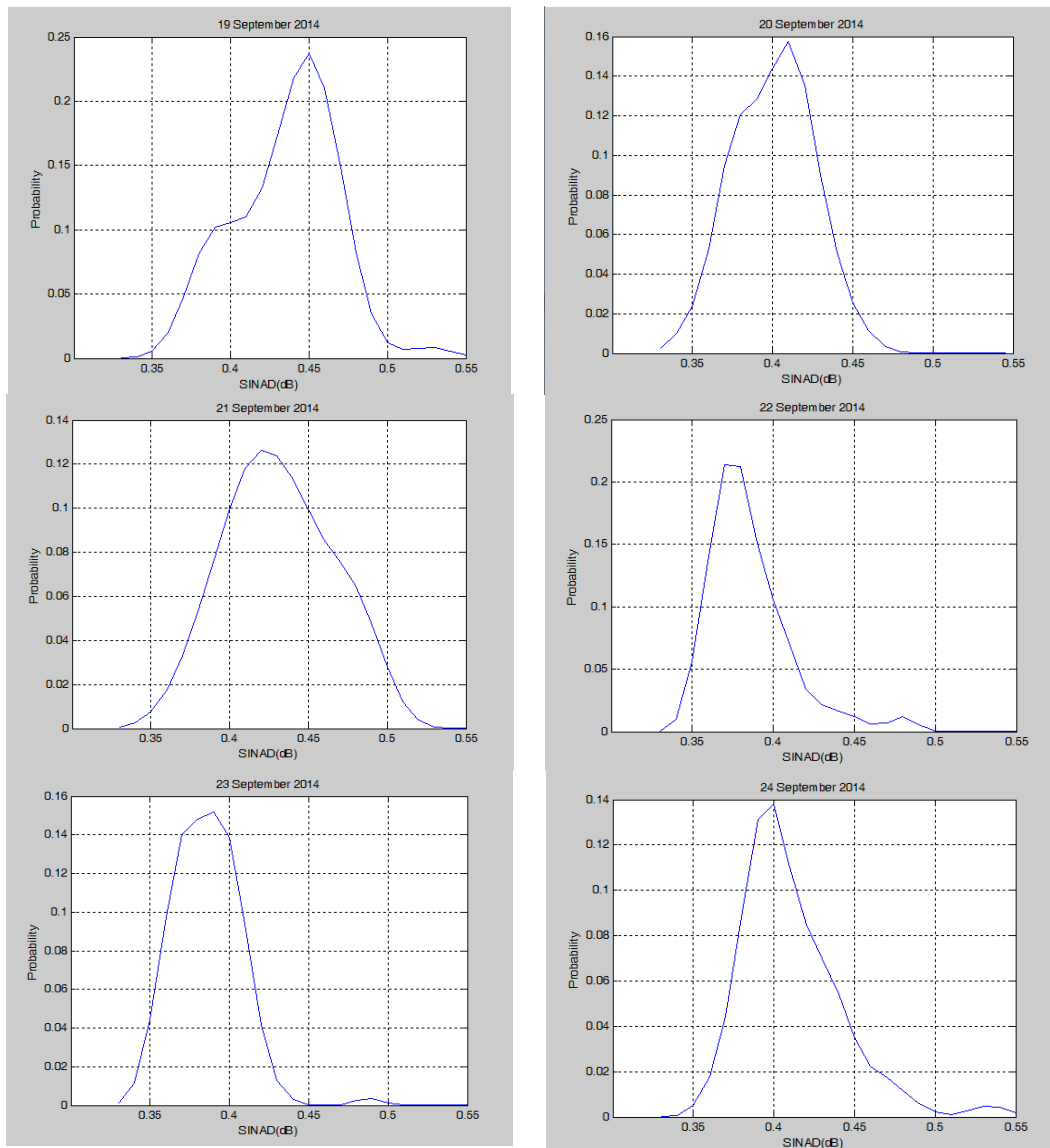
Gambar 4-3: Kurva mean BER sebagai fungsi SINAD hasil pengujian pada sirkuit Bandung-Watukosek

Pada Gambar 4-3 terlihat bahwa nilai BER menurun seiring dengan meningkatnya nilai SINAD. Semakin tinggi nilai perbandingan daya sinyal dengan *noise* yang direpresentasikan oleh nilai SINAD, maka proses deteksi juga akan memiliki peluang keberhasilan yang lebih tinggi untuk dapat mengidentifikasi simbol yang diterima dengan benar (nilai BER menuju 0). Simbol yang diterima dengan benar

tersebut, kemudian diubah kedalam deretan *bit* sehingga dapat dihitung tingkat *error* yang diterima sesuai dengan deretan *bit* yang dikirimkan oleh stasiun pemancar.

Berdasarkan kurva BER sebagai fungsi SINAD yang diperoleh pada Gambar 4-3, terlihat bahwa untuk setiap harinya rentang nilai SINAD yang terukur memiliki besaran yang berbeda-beda. Pada hasil pengamatan 19 September 2014, rentang nilai SINAD yang diperoleh berada pada rentang 0,38 hingga 0,53 dB. Pada 20 September 2014, rentang SINAD yang diperoleh berada pada 0,35 hingga 0,45 dB. Sedangkan pada beberapa hari berikutnya, yakni 21 hingga 24 September 2014 nilai SINAD yang diperoleh dalam satu hari berada pada rentang 0,35 hingga 0,54 dB. Nilai SINAD yang berubah-ubah tersebut menunjukkan bahwa kondisi propagasi pada kanal ionosfer merupakan suatu variabel acak yang mengalami perubahan setiap harinya. Perubahan kondisi yang dimaksud bukan hanya disebabkan oleh variasi nilai LUF dan MUF yang membatasi nilai CA, namun juga variasi noise dan perubahan lintasan yang mempengaruhi besar energi gelombang radio dan noise yang diterima (Freeman, 2007).

Untuk melihat karakter nilai SINAD sebagai penentu peluang keberhasilan dalam proses deteksi simbol, maka informasi distribusi nilai SINAD dalam setiap hari pengamatan dapat digunakan. Pada Gambar 4-4 disajikan kurva distribusi SINAD untuk periode harian berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh.



Gambar 4-4: Distribusi SINAD dari hasil pengujian pada sirkuit Bandung-Watukosek

Pada Gambar 4-4 sumbu horisontal yang disajikan merupakan nilai SINAD dalam satuan dB. Sementara sumbu vertikal merupakan peluang kejadian nilai SINAD selama proses pengujian. Pada Gambar 4-4 terlihat bahwa distribusi SINAD untuk tiap hari pengamatan memiliki pola yang berbeda-beda. Distribusi nilai SINAD dalam satu hari pengamatan yang diperoleh, dapat dinyatakan sebagai peluang kemunculan nilai SINAD yang terukur pada saat  $f_c$  berada pada rentang nilai LUF dan MUF yang juga berubah terhadap waktu. Untuk mengetahui karakter dari distribusi nilai SINAD tersebut, maka nilai mean ( $\mu$ ) dan standard deviasi ( $\sigma$ ) dari distribusi peluang tersebut disajikan pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2: NILAI MEAN ( $\mu$ ) DAN STANDARD DEVIASI ( $\sigma$ ) DISTRIBUSI SINAD

Tanggal	$\mu$	$\sigma$
<b>19 September 2014</b>	0,435	0,031
<b>20 September 2014</b>	0,401	0,024
<b>21 September 2014</b>	0,431	0,032
<b>22 September 2014</b>	0,385	0,039
<b>23 September 2014</b>	0,386	0,021
<b>24 September 2014</b>	0,411	0,031

Pada Tabel 4-2 terlihat bahwa nilai *mean* SINAD yang tercatat berada pada rentang 0,385 hingga 0,435 dB. Sedangkan standar deviasi dari nilai SINAD yang tercatat berada pada rentang 0,021 hingga 0,039 dB.

Tabel 4-2 menunjukkan bahwa ekpektasi penerimaan sinyal yang dominan terjadi dalam satu hari akan berada pada rentang nilai *mean* dengan simpangan sesuai dengan nilai standar deviasi yang diperoleh. Nilai *mean* dan standar deviasi tersebut dapat digunakan sebagai indikator keberhasilan proses deteksi *bit* yang mengikuti kurva mean BER sebagai fungsi SINAD seperti yang disajikan pada Gambar 4-3.

Berdasarkan kuva mean BER sebagai fungsi SINAD dan distribusi SINAD dalam satu hari yang diperoleh pada Gambar 4-3 dan Gambar 4-4, maka perhitungan  $P_{out}$  yang menunjukkan kemampuan deteksi *waveform* ALE 2G dengan menggunakan modulasi 8-CPFSK dapat dilakukan dengan menghitung terlebih dahulu nilai BER maksimum yang diijinkan pada sistem ALE. Pada sistem ALE 2G untuk metode *handshake* yang sederhana, jumlah minimum *bit* yang harus diterima dengan benar agar dapat dinyatakan bahwa kanal ionosfer tersedia atau terbuka adalah sebanyak 3 ALE WORD, yakni 72 *bit* yang dikirim dengan *redundancy* tiga kali dalam satu kali transmisi. Sementara untuk *Dwell Time*,  $T_d$ , proses deteksi *waveform* ALE dengan ekspektasi probabilitas keberhasilan deteksi mencapai 0,99 adalah 2 detik (ITU, 2002). Berdasarkan nilai minimum *bit* dan *Dwell time* yang diperlukan beserta *bit rate*,  $R_b$  sebesar 375 *bit*/detik, maka perhitungan nilai BER maksimum untuk menentukan SINAD minimum ( $\gamma_0$ ) berdasarkan persamaan (3-4) adalah  $(3 \times 72) / (375 \times 2) = 0,288$ .

Penentuan nilai  $\gamma_0$  untuk BER maksimum sebesar 0,288 dapat merujuk pada kurva harian BER vs SINAD yang disajikan pada Gambar 4-3. Nilai SINAD tersebut kemudian digunakan untuk menghitung  $P_{out}$  sesuai dengan persamaan (3-2). Pada Tabel 4-2 disajikan hasil perhitungan nilai  $P_{out}$  yang diperoleh untuk 19 hingga 24 September 2014.

Tabel 4-2: PERHITUNGAN  $P_{out}$ 

Tanggal	$\gamma_o$ (dB)	$P_{out}(\gamma_s < \gamma_o)$
<b>19 September 2014</b>	0,43	0,54
<b>20 September 2014</b>	0,43	0,56
<b>21 September 2014</b>	0,43	0,53
<b>22 September 2014</b>	0,38	0,72
<b>23 September 2014</b>	0,40	0,78
<b>24 September 2014</b>	0,41	0,61

Pada Tabel 4-1 terlihat bahwa variasi nilai  $P_{out}$  untuk setiap hari pengujian berada pada rentang 0,53 hingga 0,78. Nilai  $P_{out}$  tersebut menunjukkan persentase kegagalan untuk proses identifikasi ketersediaan kanal (CA) yang tersedia atau dapat digunakan. Nilai  $P_{out}$  sebesar 0,53 pada 19 September 2014 menunjukkan bahwa kegagalan identifikasi *channel availability* dapat mencapai lebih dari 50% dari nilai *channel availability* maksimum. Sementara pada 20 September, nilai  $P_{out}$  yang tercatat sebesar 0,56 menunjukkan bahwa kegagalan proses identifikasi *channel availability* mencapai 56%. Demikian pula pada hari-hari berikutnya yang menunjukkan persentase kegagalan dari proses identifikasi *channel availability* yang dilakukan.

Untuk menghitung persentase kegagalan identifikasi ketersediaan kanal dalam satu hari, maka nilai hasil  $P_{out}$  yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung peluang keberhasilan identifikasi ketersediaan kanal dalam satu hari dengan menggunakan persamaan (3-3) dengan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3: PELUANG KEBERHASILAN IDENTIFIKASI KETERSEDIAAN KANAL

Tanggal	P(identifikasi)
<b>19 September 2014</b>	0,345
<b>20 September 2014</b>	0,312
<b>21 September 2014</b>	0,353
<b>22 September 2014</b>	0,21
<b>23 September 2014</b>	0,165
<b>24 September 2014</b>	0,293

Dari hasil yang disajikan pada Tabel 4-3 terlihat bahwa kemampuan deteksi ketersediaan kanal dengan menggunakan *waveform* sistem ALE 2G berada pada rentang 0,165 hingga 0,353. Hal ini menunjukkan bahwa *waveform* ALE 2G dengan modulasi 8-CPFSK tersebut tidak berhasil mendeteksi ketersediaan kanal hingga mencapai nilai P (identifikasi) sebesar 1 berdasarkan batas BER maksimum sebesar 0,288. Keberhasilan identifikasi ketersediaan kanal (*channel availability*) dengan menggunakan *waveform* modulasi 8-CPFSK dengan kriteria tersebut di bawah 0,36 atau 36% dalam satu hari pengamatan.

## 5 KESIMPULAN

Performa penerapan *waveform* sistem ALE 2G dalam proses identifikasi ketersediaan kanal ionosfer pada sirkuit komunikasi Bandung-Watukosek berdasarkan hasil perhitungan nilai  $P_{out}$ , menunjukkan kegagalan deteksi ketersediaan kanal ionosfer hingga mencapai 50% dari nilai *channel availability* maksimum yang

dibatasi oleh nilai LUF dan MUF. Berdasarkan proses identifikasi ketersediaan kanal dengan kriteria nilai BER maksimum sebesar 0,288, keberhasilan identifikasi ketersediaan kanal dalam periode satu hari pengamatan yang dilakukan berada di bawah 36%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa performa *waveform* sistem ALE 2G dalam menentukan ketersediaan kanal tidak berhasil mencapai 100%. Penerapan *waveform* lain seperti modulasi *Phase Shift Keying* (PSK) dapat diteliti sebagai alternatif untuk meningkatkan kemampuan identifikasi ketersediaan kanal ionosfer yang dibutuhkan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari Ibu Clara Y. Yatini selaku Kepala Pusat Sains Antariksa, Bapak Asnawi selaku Kepala Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, dan Bapak Bambang Suhandi selaku Kepala Balai Pengamatan Dirgantara Watukosek yang telah mengizinkan dan membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih secara khusus atas bantuan Bapak Dalijo selaku staff BPD Watukosek yang telah meluangkan waktunya untuk mengoperasikan instrumen penelitian yang dibutuhkan.

### DAFTAR RUJUKAN

- Abadi, P., Saito, S., dan Srigutomo, W., 2014. *Low-latitude Scintillation Occurrences Around the Equatorial Anomaly Crest Over Indonesia*, Ann. Geophysic, 32, 7-17.
- Ads, A., G., 2013. *Soundings of the Ionospheric HF Radio Link Between Antarctica and Spain*, Thesis for degree of Doctor Philosophy Electronic and Telecommunications Departement Universitas Ramon Llull, Barcelona, Spanyol, 2013.
- Bergot, L., C., Chantelouve, J., B., and Diakhate, H., 2014. *Wideband HF Transmissions: Towards Wideband ALE*. HFIA Meeting, San Diego, 13th Feb. 2014.
- Dear, V., 2012. *Telaah Perbandingan Hasil Uji Komunikasi Menggunakan Sistem Automatic Link Establishment (ALE) dengan Data Ionosonda Tanjung Sari Untuk Sirkuit Komunikasi Bandung-Watukosek*, Berita Dirgantara Vol.13. No.1. Maret 2012, 28-37.
- Department of Defense, 2011. *Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Systems*, Department of Defense Interface Standard United States of America, 2011.
- Freeman, L., R., 2007. *Radio System Design for Telecommunication, 3rd Ed*, John Willey & Sons. ISBN: 0471757136.
- Goodman, J., M., 2005. *Space Weather and Telecommunications*, The Springer International Series in Engineering and Computer Science, 224.
- ITU, 1999. *Recommendation ITU-R P.534-4, Method for Calculating Sporadic E Field Strength*, International Telecommunication Union, 1-24.
- ITU, 2002. *ITU-Handbook Frequency Adaptive Communication System and Network in the MF/HF Bands*, International Telecommunication Union, 1-65.
- Jiyo, 2009<sup>a</sup>. *Penentuan Frekuensi Maksimum Komunikasi Radio Dan Sudut Elevasi Antena*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, 4, 25-30.
- Jiyo, 2009<sup>b</sup>. *Telaah Propagasi Gelombang Radio Dengan Frekuensi 10,2 MHz dan 15,8 MHz Pada Sirkuit Komunikasi Radio Bandung-Watukosek dan Bandung-Pontianak*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 4, No.2, Juni 2009, 60-66.
- National Communication System, 1993. *Federal Standard 1045-A; Telecommunications:HF Radio Automatic Link Establishment*, National Communications System Office of Technology & Standards, 1-168.
- Salim, K., A., Kadhim, A.,R., dan Ahmad, A., H., 2008. *New Adaptive Data Transmission Scheme Over HF Radio*. Al-Khwarizmi Engineering Journal, 4, 18-33.