

TELAAH MODEL-MODEL PROPAGASI RADIO UNTUK SISTEM RADIO DUA-ARAH PITA VHF-UHF PADA AREA PERTAMBANGAN TERBUKA DAERAH TROPIS

Diky Siswanto^{1*)}, Faqih Rofii¹⁾, Chauliah Fatma Putri²⁾

¹⁾ Teknik Elektro, Fakultas Teknik - Universitas Widyagama Malang

²⁾ Teknik Industri, Fakultas Teknik - Universitas Widyagama Malang

*Email Korespondensi : dsiswanto@widyagama.ac.id

ABSTRAK

Prasarana telekomunikasi diperlukan untuk menunjang operasional pertambangan dengan area sangat luas. Sistem komunikasi radio dua-arah yang paling layak dipertimbangkan untuk melayani area tersebut diatas. Agar sistem radio bisa menghasilkan performa yang optimal perlu adanya perencanaan jaringan radio, yang melibatkan penggunaan model propagasi radio. Permasalahan dari penelitian ini adalah cara menentukan model propagasi yang sesuai untuk sistem radio dua-arah pada pita *very high frequency* dan *ultra high frequency* (VHF-UHF) pada area pertambangan terbuka dengan kondisi lahan tidak beraturan. Tujuan dari penelitian ini adalah investigasi sejumlah model propagasi radio yang sesuai untuk sistem komunikasi radio dua-arah pada pita VHF-UHF di area pertambangan terbuka dengan kondisi geografis yang tak beraturan untuk daerah tropis, dengan studi kasus di wilayah pulau Kalimantan, Indonesia. Metode yang digunakan adalah penentuan obyek riset, penentuan parameter jaringan radio, investigasi model propagasi, studi literature, analisis dan evaluasi model, klasifikasi model. Hasil analisis menunjukkan *Standard Propagation Model* memiliki performa terbaik untuk prediksi sistem radio area pertambangan. Namun, metode ini memiliki kekurangan yang memerlukan kalibrasi cukup kompleks.

Kata-kunci: sistem radio dua-arah, model propagasi radio, VHF-UHF, pertambangan terbuka, tropis

ABSTRACT

Telecommunication infrastructure is required to support mining operations with an extensive area. A two-way radio communication system is the most worthy consideration to serve the area above. In order for a radio system to produce optimal performance, it is necessary to have radio network planning, which involves the use of a radio propagation model. The problem of this research is how to determine a suitable propagation model for a two-way radio system on the VHF-UHF band in an open-pit mining area with irregular terrain. This research aims to investigate some radio propagation models suitable for two-way radio communication systems on the VHF-UHF band in open-pit mining areas with irregular geographic conditions for the tropics, with a case study in the island of Kalimantan, Indonesia. The method used is the determination of research objects, determination of radio network parameters, investigation of propagation models, literature studies, model analysis and evaluation, model classification. The analysis results show that the Standard Propagation Model has the best performance for predicting mining area radio systems. However, this method has a drawback that requires complex calibration.

Keywords: two-way radio system, radio propagation model, VHF-UHF, open pit mining, tropical

PENDAHULUAN

Untuk menunjang operasional pertambangan dengan area sangat luas perlu adanya prasarana telekomunikasi. Prasarana telekomunikasi tersebut berperan penting terhadap manajemen, keamanan, efisiensi dan produktifitas, serta mengatasi kompleksitas operasional pertambangan. Karena operasional pertambangan batubara bersifat temporer dan terbatasnya jumlah personil yang terlibat, fasilitas telekomunikasi yang cepat dibangun dan mendukung mobilitas pengguna adalah komunikasi radio. Prasarana telekomunikasi merupakan subsistem kecil dari seluruh operasional pertambangan. Sehingga dukungan SDM yang relevan seringkali kurang diperhatikan oleh perusahaan pertambangan. Hal ini diindikasikan dengan tidak terdapatnya SDM yang kompeten dalam disain dan pemeliharaan sistem radio serta adanya sejumlah area operasional tidak terlayani [1].

Sistem komunikasi yang murah, mudah dipasang dan *portable* adalah sistem komunikasi radio dua-arah atau dikenal dengan istilah *FM walkie-talkie* [2]. Perangkat yang ada di pasaran didesain untuk bekerja pada pita VHF [3], dan ada yang menambahkan kemampuan perangkat untuk beroperasi pada pita low band dan UHF [4]. Dengan sistem komunikasi *half-duplex* serta modulasi FM, sistem radio dua arah tersebut mampu memenuhi kebutuhan komunikasi dua-arah sebagaimana yang dibutuhkan di area pertambangan.

Disain sistem komunikasi radio perlu mempertimbangkan sejumlah parameter penting seperti kondisi atmosfer, cuaca, permukaan bumi, sejumlah penghambur gelombang seperti pepohonan dan bangunan [5], kebutuhan pengguna dan daerah layanan/cakupan [6], [7]. Hal ini menyebabkan perencanaan sistem radio menjadi unik yang berakibat implementasi di suatu wilayah tidak bisa disamakan dengan wilayah lain.

Perencanaan jaringan radio perlu melibatkan penggunaan model propagasi gelombang radio. Selain diperlukan dalam perencanaan, model propagasi juga diperlukan untuk prediksi hingga optimalisasi performa sistem [8]. Terdapat banyak model propagasi radio yang merepresentasikan berbagai karakteristik lingkungan. Mengingat area pertambangan memiliki kondisi geografis beragam, maka perlu investigasi model propagasi radio yang sesuai untuk area pertambangan terbuka, khususnya area dengan ketidakteraturan lahan yang terdapat perbukitan, lembah, dataran tinggi dan rendah, seperti di daerah Kalimantan. Sehingga bisa membantu dalam rekayasa sistem komunikasi radio.

Pada penelitian berikut [9] dilakukan analisis kinerja jaringan radio di daerah pertambangan terbuka di Sangatta, Kalimantan Timur. Jaringan radio pertambangan tersebut terdiri dari *central office*, *repeater station*, *field office* dan *mobile terminal*. Sebagian analisis kinerja jaringan radio, yaitu dari titik *field office* ke *mobile terminal*, menggunakan sebuah model propagasi *point to area*. Namun, hasil analisis belum memvalidasi hasil prediksi model propagasi dengan *sampling* hasil pengukuran. Selain itu perlu adanya metode perbandingan untuk bisa mengetahui model propagasi yang paling akurat dalam memprediksi karakteristik propagasi radio di area pertambangan terbuka.

Pada paper ini [10] dilakukan investigasi kesesuaian model-model propagasi ITU-R 526-13, Okumura Hata, COST Hata dan *Standard Propagation Model* (SPM) untuk memprediksi rugi lintasan di pertambangan-pertambangan terbuka. Model-model tersebut dievaluasi melalui perbandingan data prediksi dengan data pengukuran yang diperoleh dalam dua kompleks operasi pertambangan bijih besi di Brazil. Sejumlah model yang diinvestigasi bisa dipertimbangkan penggunaannya. Meski masih terdapat model propagasi lain yang belum diinvestigasi yang mungkin lebih sesuai.

Dari sejumlah model propagasi yang ada, tidak semua cocok untuk digunakan di area pertambangan terbuka. Sehingga, permasalahan dari penelitian ini adalah cara

menentukan model propagasi yang cocok untuk sistem komunikasi radio 2 arah pada pita VHF-UHF pada area pertambangan terbuka dengan kondisi permukaan lahan tidak teratur. Tujuan dari penelitian ini adalah investigasi sejumlah model propagasi radio yang sesuai untuk sistem komunikasi radio 2 arah pada pita VHF-UHF di area pertambangan terbuka dengan kondisi geografis yang tidak teratur untuk daerah tropis, dengan studi kasus di wilayah pulau Kalimantan, Indonesia. Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah:

- a) memperoleh gambaran karakteristik sejumlah model propagasi radio yang sesuai untuk sistem radio area pertambangan terbuka di daerah tropis;
- b) mengetahui hasil perbandingan, kelebihan atau kekurangan tiap model, yang bisa membantu dalam memilih model sesuai kebutuhan;
- c) memperoleh metode/ formula yang sesuai untuk perencanaan, prediksi hingga optimalisasi sistem radio pertambangan terbuka.

Model propagasi radio bisa diklasifikasikan ke dalam 3 kelompok utama, yaitu deterministik, empiris, dan stokastik [8].

Model propagasi dasar adalah model propagasi radio ruang bebas (*free space*) [11]:

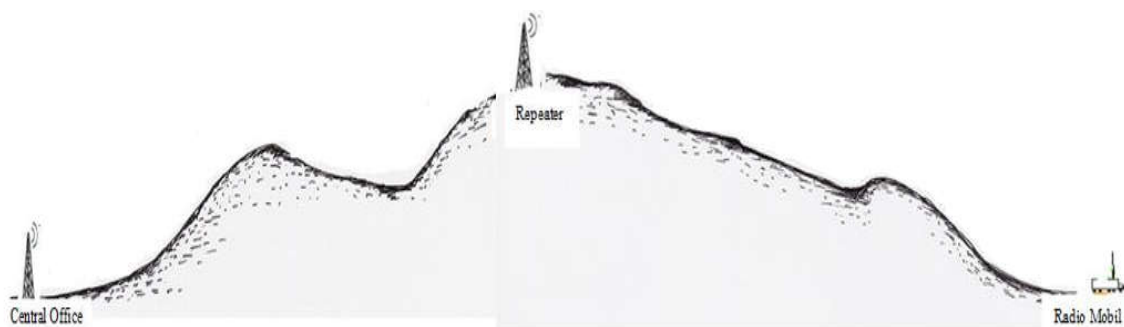
$$L_{FS}(dB) = 32.44 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d, \quad (1)$$

dengan

f adalah frekuensi operasi (MHz).

d adalah jarak pemancar-penerima (km).

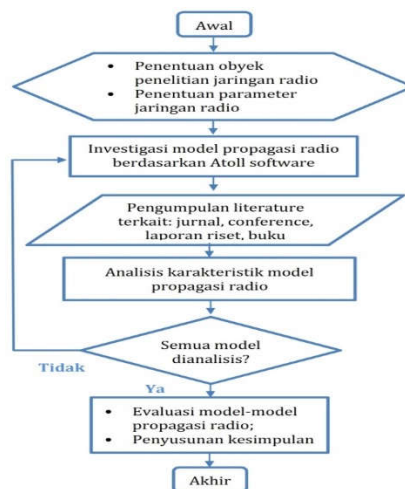
Meski persamaan (1) merupakan persamaan mendasar dalam propagasi radio, namun persamaan tersebut jarang digunakan secara sendirian. Hal ini karena mekanisme propagasi lainnya, seperti pantulan, hamburan, dan difraksi, yang muncul membuat kondisi yang mendekati ruang bebas jarang terjadi, khususnya pada aplikasi bergerak di daratan. Kondisi lahan di area pertambangan terbuka yang tidak beraturan semakin menambah kompleksitas rekayasa sistem radio. Gambar 1. memberikan ilustrasi sebagian lahan di area pertambangan terbuka. Pada artikel ini akan disajikan telaah sejumlah model propagasi radio yang sesuai untuk sistem radio 2 arah dengan pita VHF-UHF di area pertambangan terbuka daerah tropis.



Gambar 1. Ilustrasi posisi terminal bergerak pada jaringan radio area pertambangan terbuka

METODE PENELITIAN

Artikel ini ditujukan untuk menelaah sejumlah model propagasi radio yang terdapat pada *Atoll Wireless Network Engineering Software* [12]. Telaah artikel diarahkan untuk mengevaluasi kesesuaian model propagasi untuk evaluasi performa sistem komunikasi radio 2 arah pita VHF-UHF, antara 30-3000 MHz, di lingkungan pertambangan terbuka daerah tropis [9], dengan kondisi lahan tidak beraturan yang berdampak pada efek difraksi [13]. Gambar 2. menyajikan diagram alir untuk metode penelitian yang dilaksanakan.



Gambar 2. Metode penelitian yang dilaksanakan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dipaparkan dan dianalisis sejumlah model propagasi radio yang sesuai untuk lingkungan pertambang terbuka daerah tropis. Model-model propagasi ini dipilih dari model yang terdapat pada *Atoll wireless networking engineering software* [12].

ITU-R P.370-7

Model ini merekomendasikan kurva dan prosedur untuk prediksi kuat medan elektromagnet bagi layanan *broadcasting* untuk interval frekuensi 30 - 1000 MHz, dengan interval jarak hingga 1000 km dengan sejumlah pra-syarat [14]. Kurva yang disajikan diperoleh berdasarkan data empiris pengukuran, terutama terkait dengan iklim sedang mencakup lautan dingin dan hangat, yaitu Laut Utara dan Laut Mediteranian. Studi lebih lanjut mengungkap bahwa kondisi propagasi pada area khusus yang sangat bias yang dibatasi oleh lautan “panas” secara prinsip berbeda. Sehingga model ini tidak direkomendasikan untuk daerah beriklim tropis seperti Indonesia.

ITU-R P.1546-6

Pada ITU-R P-1546-6 direkomendasikan sebuah metode prediksi propagasi radio *point-to-area* untuk layanan *terrestrial* dalam interval frekuensi 30 MHz hingga 4000 MHz [15]. Model ini ditujukan untuk penggunaan pada sirkuit radio *tropospheric* yang melintasi daratan, lautan, dan/ atau lintasan campuran daratan-lautan dengan jarak hingga 1000 km untuk ketinggian antenna pemancar efektif kurang dari 3000 m.

Metode yang ditawarkan didasarkan pada interpolasi/ ekstrapolasi dari kurva kuat-medan yang diperoleh secara empiris sebagai fungsi jarak, tinggi antenna, frekuensi dan prosentase waktu. Kurva tersebut didasarkan pada data pengukuran yang terutama berkaitan dengan kondisi iklim rata-rata di daerah beriklim sedang yang mengandung laut dingin dan hangat, misalnya Laut Utara dan Laut Mediterania. Kurva jalur-darat disajikan dari data yang diperoleh terutama dari iklim sedang seperti yang ditemui di Eropa dan Amerika Utara. Kurva jalur-laut disajikan dari data yang diperoleh terutama dari wilayah Mediterania dan Laut Utara.

Studi lebih lanjut mengungkapkan bahwa kondisi propagasi di daerah-daerah tertentu dengan pembiasan-tinggi yang dibatasi oleh laut panas sangat berbeda. Namun demikian, prosedur perhitungan juga merekomendasikan kemungkinan menggunakan metode koreksi kurva untuk daerah beriklim beda yang merujuk rekomendasi ITU yang lain. Sehingga, metode ini masih perlu koreksi terhadap kurva yang disajikan agar lebih sesuai dengan iklim tropis.

ITU-R P.526-13

ITU-R P.526-13 adalah model propagasi semi-empiris yang direkomendasikan untuk perhitungan kuat-medan melalui lintasan-lintasan difraksi, yang bisa melibatkan permukaan bumi yang bulat, atau lahan yang tidak beraturan dengan jenis penghalang yang berbeda [16]. Model propagasi yang ditawarkan *Atoll software* sebagai berikut [12]:

$$L_{526} = L_{FS} + L_{Diff}, \quad (2)$$

dengan L_{FS} adalah rugi propagasi ruang bebas sebagaimana persamaan (1). L_{Diff} adalah rugi difraksi, yang dihitung menggunakan metode Deygout (3-penghalang) [13].

Model ini sesuai untuk interval frekuensi 30 MHz – 10 GHz. Metode ini memuat metode numerik maupun nomogram untuk menghitung efek difraksi terhadap kuat medan yang diterima akibat permukaan bumi yang bulat dengan interval jarak 8 – 1000 km. Selain itu, metode ini juga memuat metode numerik maupun nomogram untuk penguatan akibat ketinggian antenna, dengan interval ketinggian 3–2000 m di atas tanah. Untuk perhitungan efek difraksi akibat penghalang tidak ada batasan jarak.

Dari penjelasan di atas diperoleh bahwa model ini sesuai untuk pita frekuensi VHF-UHF, dan sebagian SHF. Interval jarak yang bisa diakomodasi model ini cukup jauh, bahkan tanpa batasan jarak untuk perhitungan efek difraksi akibat rintangan. Rekomendasi penggunaan model ini adalah untuk penerima statis dan WLL [12]. Sehingga bisa dipertimbangkan untuk analisis propagasi radio di area pertambangan dengan kondisi permukaan tanah tidak teratur.

ITU-R P.529-3

ITU-R P.529-3 merupakan model empiris yang dirancang sebagai panduan bagi insinyur dalam perencanaan layanan radio bergerak di daratan dalam pita VHF dan UHF. Metode yang direkomendasikan digunakan untuk memberi panduan dalam prediksi kuat medan *point-to-area*. Propagasi dalam layanan bergerak di darat terpengaruh dalam beragam tingkatan dari topografi, pepohonan, struktur buatan manusia, konstanta tanah, lapisan troposfer dan ionosfer. Kurva kuat medan disediakan untuk tiga interval frekuensi, yang berpusat disekitar 150, 450 dan 900 MHz. Jarak pemancar-penerima yang direkomendasikan oleh model ini berkisar 0 – 100 km [17].

Kurva VHF dan UHF diperoleh dari sumber yang berbeda dan melibatkan perbedaan asumsi dasar. Sehingga perlu kehati-hatian dalam penggunaan untuk memastikan kelompok kurva tertentu cocok dengan aplikasi yang dimaksud. Informasi koreksi kurva-kurva tersebut dalam memperhitungkan kondisi lahan diberikan dalam Rekomendasi ITU yang lain. Sebagai tambahan, terdapat persamaan Okumura-Hata untuk aproksimasi kurva kuat medan pita UHF.

Dari penjelasan singkat di atas bisa disimpulkan bahwa model ini bekerja dalam pita VHF dan UHF. Jarak pemisah antara pemancar-penerima yang bisa dilayani model ini cukup jauh. Keberadaan rintangan antara pemancar-penerima sudah diperhitungkan. Sehingga, model ini diperkirakan bisa digunakan untuk analisis propagasi area pertambangan dimaksud, meski perlu cermat dalam memilih kelompok kurva yang sesuai.

Wireless Local Loop

Model propagasi *Wireless Local Loop* (WLL) merupakan model deterministik dirancang untuk penerima statis. Model ini bisa digunakan untuk interval frekuensi 30–10000 MHz. Metode perhitungan difraksi adalah Deygout (3 rintangan). Model yang ditawarkan *Atoll software* [12] sebagai berikut:

$$L_{WLL} = L_{FS} + F_{Diff} \times L_{Diff}, \quad (3)$$

dengan L_{FS} adalah rugi propagasi ruang bebas (Persamaan-1). L_{Diff} adalah rugi difraksi, yang dihitung menggunakan metode Deygout 3-penghalang. F_{Diff} adalah faktor

pengali difraksi, yang didefinisikan dalam karakteristik model [12]. Adanya faktor pengali antara lain bisa disebabkan oleh skenario ketinggian antenna pemancar dan penerima relative terhadap tinggi rumah diantara dua antenna tersebut [18].

Berdasarkan data yang diperoleh, model ini bisa digunakan untuk pita VHF-UHF dan sebagian SHF. Jarak jangkau antara pemancar dan penerima yang diakomodasi model ini tidak terdapat batasan. Penggunaan yang direkomendasikan antara lain untuk pengguna statis, WLL dan *microwave links* [12]. Sehingga bisa dipertimbangkan penggunaannya untuk evaluasi kinerja propagasi radio di daerah pertambangan dengan area lahan tidak teratur.

Standard Propagation Model

Standard Propagation Model (SPM) merupakan model propagasi empiris yang dikembangkan dari Model Hata. Model ini sesuai untuk pita frekuensi 150 – 1500 MHz dan interval jarak Tx-Rx 1-20 km.

Model SPM (dB) dinyatakan sebagai berikut [12], [19]:

$$L_{SPM} = K_1 + K_2 \log d + K_3 \log h_{Teff} + K_4 L_{Diff} + K_5 \log d \log h_{Teff} + K_6 h_{Reff} + K_7 \log h_{Reff} + K_{clutter} f_{clutter} + K_{hill} \quad (4)$$

Sejumlah parameter model parameters didefinisikan sebagai berikut:

K_1 = Constant offset (dB). K_2 = faktor pengali untuk $\log(d)$. d = jarak pemisah Tx-Rx (meter). K_3 = faktor pengali $\log(h_t)$. h_{Teff} = tinggi efektif antenna pemancar (meter).

K_4 = faktor pengali rugi difraksi. L_{Diff} = rugi difraksi. K_5 = faktor pengali $\log(d) \cdot \log(h_t)$.

K_6 = faktor pengali h_{Reff} . K_7 = faktor pengali $\log(h_{Reff})$. h_{Reff} = tinggi efektif antenna *mobile* (meter). $K_{clutter}$ = faktor pengali $f_{clutter}$. $f_{clutter}$ = rerata kerugian berbobot akibat *clutter*.

K_{hill} = faktor koreksi untuk daerah perbukitan. *Clutter* dalam perencanaan radio menyatakan dampak pada propagasi RF oleh benda-benda di atas tanah, seperti air, tanah terbuka, hutan, pemukiman, perkotaan, perkotaan padat dan sebagainya.

Berdasarkan data yang diperoleh, model ini memiliki kesesuaian untuk sebagian pita VHF dan UHF dengan jarak maksimal 20 km, yang sesuai dengan kebutuhan sistem radio 2 arah di area pertambangan [1]. Model ini juga mengakomodasi rugi difraksi (L_{Diff}), yang merupakan karakteristik penting propagasi radio di area pertambangan terbuka dengan lahan tidak beraturan. Dari hasil investigasi, model ini menunjukkan performa terbaik dibandingkan model yang lainnya, baik itu yang dikalibrasi individual ataupun yang dikalibrasi berdasarkan data dari semua pemancar [10]. Hal ini bisa dipahami mengingat model SPM bersifat fleksibel dengan sejumlah parameter yang perlu diatur. Meski demikian, kalibrasi model ini cukup kompleks untuk bisa memperoleh hasil optimal.

Model Hata

Model Hata merupakan sebuah formulasi empiris dari data grafis rugi propagasi yang disajikan oleh Okumura [20], dan berlaku untuk frekuensi 150-1500 MHz. Model ini menggambarkan rugi-rugi propagasi sebagai fungsi jarak, frekuensi, ketinggian antenna pemancar maupun penerima, serta mengklasifikasikan area operasional ke dalam perkotaan (*urban*), kota kecil hingga sedang, pinggiran kota (*suburban*) dan pedalaman (*rural*) terbuka. Rugi-rugi propagasi (dB) untuk area urban dinyatakan sebagai [21]:

$$L_{H(urban)}(f, h_t, h_r, d) = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d), \quad (5)$$

dengan f adalah frekuensi (MHz). h_t adalah tinggi antenna pemancar diatas tanah (m).

h_r adalah tinggi antenna penerima diatas tanah (m). d adalah jarak antara pemancar – penerima (km).

Faktor koreksi tinggi antenna *mobile* berdasarkan ukuran area cakupan $a(h_r)$ (dB) untuk daerah *rural*/ kota kecil adalah:

$$a(h_r) = (1.1 \log_{10} f - 0.7)h_r - (1.56 \log_{10} f - 0.8).$$

Ketika tinggi antenna penerima 1.5 m, $a(h_r)$ mendekati 0 dB tanpa memperhatikan frekuensi.

Koreksi terhadap model *urban* untuk area *rural* dinyatakan sebagai berikut [21]:

$$L_{H(rural)}(f) = L_{H(urban)}(f, h_t, h_r, d) - 4.78[\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - K, \quad (6)$$

dengan K berkisar dari 35.94 (pedesaan) hingga 40.94 (gurun).

Berdasarkan data yang diperoleh, model ini memiliki kesesuaian untuk sebagian pita VHF dan UHF. Formula yang ditawarkan juga mengakomodasi model propagasi untuk daerah *rural*, yang mencakup wilayah pedesaan (*country side*) hingga gurun. Formulasi Hata merupakan sebuah model yang bagus untuk sistem selular generasi pertama [21], dengan modulasi analog, ukuran sel besar dan frekuensi rendah. Meski parameter yang digunakan terdapat kesesuaian dengan sistem radio pertambangan, metode ini perlu dikaji lagi penerapannya untuk daerah tersebut. Hal ini diperkuat oleh hasil investigasi model ini untuk daerah pertambangan terbuka di Brazil, yang menunjukkan performa terburuk diantara sejumlah model yang diinvestigasi [10]. Tabel 1. menyajikan sejumlah model propagasi radio yang dikaji.

Tabel 1. Hasil kajian model propagasi radio untuk area pertambangan (tropis)

Model Propagasi	ITU-R P.370-7	ITU-R P.1546-6	ITU-R P.526-13	ITU-R P.529-3	WLL	SPM	Hata
Kategori model	empiris	pendekatan empiris	semi-empiris	empiris	deterministik	empiris	formulasi empiris
Frekuensi kerja	30MHz – 1GHz	30MHz – 4GHz	30MHz- 10GHz	3 pita yang berpusat 150,450, 900 MHz	30MHz-10GHz	150-1500 MHz	150-1500 MHz
Pita frekuensi	VHF, sebagian UHF	VHF-UHF, sebagian SHF	VHF-UHF, sebagian SHF	sebagian VHF, sebagian UHF	VHF-UHF, sebagian SHF	sebagian VHF, sebagian UHF	sebagian VHF, sebagian UHF
Interval jarak	0-1000 km	0-1000 km	8-1000 km	0-100km	---	0-20 km	1-100 km, berdasarkan Okumura [21]
Iklim yang dimodelkan	sedang	sedang	---	---	---	---	---
Koreksi model utk beda iklim	---	tersedia	---	---	---	---	---
Rekomendasi penggunaan [12]	<i>broadcast</i>	<i>land & maritime mobile, broadcast</i>	penerima statis, WLL	GSM, CDMA2000, LTE	penerima statis, WLL, microwve links	GSM, UMTS, LTE, CDMA2000, WiMAX	selular 1G [21], GSM, UMTS, CDMA2000, LTE
Metode perhitungan difraksi	---	---	Deygout (3 rintangan)	Deygout (1 rintangan)	Deygout (3 rintangan)	Deygout (3 rintangan)	Deygout (1 rintangan)
Penggunaan utk. pertambangan terbuka (tropis)	---	ada koreksi kurva	bisa	bisa, perlu cermat memilih kurva	bisa	performa terbaik [10], kalibrasi cukup kompleks	performa terburuk [10]

KESIMPULAN

Pada artikel ini telah dipaparkan telaah sejumlah model propagasi radio yang sesuai untuk area pertambangan terbuka daerah tropis. Model yang dikaji diarahkan untuk bisa digunakan pada sistem radio dua arah dengan pita frekuensi VHF-UHF. Dari pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa model ITU-R P.370-7 tidak direkomendasikan untuk daerah tropis. Model ITU-R P.1546-6 bisa dipertimbangkan penggunaannya dengan terlebih dahulu melakukan koreksi dengan merujuk rekomendasi ITU yang lain. Model Hata menunjukkan performa terburuk ketika digunakan untuk prediksi performa sistem radio area pertambangan, sehingga kurang direkomendasikan untuk area pertambangan tersebut. Model ITU-R P.526-13 dan WLL bisa dipertimbangkan penggunaannya untuk daerah pertambangan tersebut diatas. Sedangkan model ITU-R P.529-3 bisa dipertimbangkan penggunaannya untuk area pertambangan terbuka, dengan tetap memperhatikan kesesuaian kurva yang dipilih dengan kebutuhan implementasi di lapangan. Dan yang terakhir, SPM menunjukkan performa terbaik ketika digunakan untuk prediksi performa sistem radio area pertambangan. Model ini sangat direkomendasikan penggunaannya untuk area pertambangan dimaksud, meski memiliki kekurangan terkait kompleksitas kalibrasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih penulis sampaikan kepada DIRJEN-DIKTI KEMDIKNAS yang telah mendanai penelitian awal dengan skema Penelitian Hibah Bersaing (PHB) Tahun-I Tahun Anggaran 2011 dengan judul “Analisis Kinerja, Pemodelan Propagasi dan Pemodelan Perencanaan Jaringan Radio pada *Open Surface Mining Area*, Studi Kasus di Daerah Sangatta Kaltim”, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Nomor: 142/SP2H/PL/Dit.Litabmas/IV/2011 Tanggal 14 April 2011.

Terima Kasih juga penulis sampaikan kepada Saudara Sigit Yogo Trilaksono dari PT. United Tractor, Sangatta, Kalimantan Timur atas dukungan dan bantuannya dalam proses pengumpulan dan analisis data geografis, atmosferis maupun jaringan dan perangkat radio.

Last but not least, ucapan Terima Kasih penulis sampaikan kepada segenap Pimpinan dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat - Universitas Widyagama Malang yang telah mengizinkan, mendanai dan membina pelaksanaan penelitian melalui skema Program Penelitian Dosen Dana Internal-PERINTIS Tahun 2020, yang turut berkontribusi dalam menghasilkan publikasi ilmiah ini.

REFERENSI

- [1] S. Y. Trilaksono and D. Siswanto, “Analisis Kinerja Sistem Komunikasi Radio Handy Talkie pada Daerah Pertambangan Batu Bara di Wilayah Sangatta – Kutai Timur – KALTIM,” Universitas Widyagama Malang, Malang: Laporan Penelitian, 2010.
- [2] M. Hall, “Motorola, Inc. American company,” *Encyclopædia Britannica, Inc.*, 2020. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/topic/Motorola-Inc>. [Accessed: 21-Nov-2020].
- [3] Kenwood, “VHF FM Transceiver TM-271A/271E Service Manual,” Tokyo, Japan, 2003.
- [4] Motorola, “GM338/GM398 Mobile Radios: Detailed Service Manual,” Motorola, Penang, Malaysia, 6804112J18-D, 2002.

- [5] R. L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunications*, 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [6] K. Tutschku, N. Gerlich, and P. Tran-Gia, "An integrated approach to cellular network planning," in *the 7th International Network Planning Symposium (Networks '96)*, Sidney, Australia, 1996.
- [7] K. Tutschku, "Demand based Radio Network Planning of Cellular Mobile Communication Systems," Institute of Computer Science, University of Wurzburg: Research Report Series, 1997.
- [8] M. S. Mollel and M. Kisangiri, "An Overview of Various Propagation Model for Mobile Communication," in *Pan African International Conference on Information Science, Computing and Telecommunications (2014)*, 2014, no. July, pp. 148–153.
- [9] D. Siswanto, F. Rofii, and C. F. Putri, "Analisis Kinerja, Pemodelan Propagasi dan Pemodelan Perencanaan Jaringan Radio pada Open Surface Mining Area, Studi Kasus di Daerah Sangatta Kaltim," Universitas Widyagama Malang: Laporan Penelitian Hibah Bersaing (PHB), 2011.
- [10] P. L. De Almeida *et al.*, "An Empirical Study of Propagation Models for Wireless Communications in Open-Pit Mines," in *IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC-Spring)*, 2018.
- [11] A. W. Graham, N. C. Kirkman, and P. M. Paul, *Mobile Radio Network Design in the VHF and UHF Bands - A Practical Approach*. Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd., 2007.
- [12] Forsk, *Atoll Wireless Networking Engineering Software: Technical Reference Guide*, Ed. 3.3.2. Blagnac, France: Forsk, 2017.
- [13] C. Lee and S. Park, "Diffraction Loss Prediction of Multiple Edges Using Bullington," *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2018, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [14] ITU-R, "VHF and UHF Propagation Curves for the Frequency Range from 30 MHz to 1000 MHz," Geneva, Switzerland, Rec. ITU-R P.370-7, 1995.
- [15] ITU-R, "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4000 MHz," Geneva, Switzerland, Rec. ITU-R P.1546-6, 2019.
- [16] ITU-R, "Propagation by diffraction," Geneva, Switzerland, Rec. ITU-R P.526-13, 2013.
- [17] ITU-R, "Prediction Methods for the Terrestrial Land Mobile Services in the VHF and UHF Bands," Geneva, Switzerland, Rec. ITU-R P.529-3, 1999.
- [18] D. Har, C. Xu, and H. H. Xia, "Propagation modelling for wireless local loop channel," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 13, pp. 231–241, 2000.
- [19] S. I. Popoola, A. A. Atayero, N. Faruk, C. T. Calafate, L. A. Olawoyin, and Victor O. Matthews, "Standard Propagation Model Tuning for Path Loss Predictions in Built-Up Environments," in *International Conference on Computational Science and Its Applications*, 2017, vol. 1, pp. 363–375.
- [20] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall Inc., 2002.
- [21] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge, England, UK: Cambridge University Press, 2005.

