

Rancang Bangun Model Komputasi Perambatan Gelombang Radio Tiga Dimensi menggunakan Metode UTD Modifikasi

Dodi Sudiana¹⁾, Dwi Putri P.¹⁾, Arman Djohan Diponegoro¹⁾

Departemen Teknik Elektro FTUI, Kampus Baru UI Depok 16424, e-mail: dodi@ee.ui.ac.id

Abstrak - Komunikasi bergerak adalah teknologi telekomunikasi yang banyak memberikan kemudahan kepada penggunaannya dalam berkomunikasi. Perencanaan dalam penempatan Base Transceiver Station (BTS) harus direncanakan sebaik mungkin untuk memperkecil kemungkinan terdapatnya daerah lubang (*blank-spot*) pada daerah dimana BTS ditempatkan. Di dalam penelitian ini, dirancang perangkat lunak untuk mendeteksi daerah lubang sesuai dengan spesifikasi BTS dan ponsel. Pendeteksian daerah lubang dilakukan dengan menghitung besarnya kuat medan yang diterima oleh penerima dengan menggunakan metode UTD (*Uniform Theory of Diffraction*). Hasil perhitungan ditampilkan dalam peta dua dimensi daerah pegunungan dengan kawasan berwarna hitam sebagai daerah lubang dan warna putih sebagai daerah jangkauan komunikasi. Faktor yang memengaruhi luas daerah lubang adalah: nilai *Effective Isotropic Radiated Power-EIRP* yang berbanding terbalik dengan jumlah daerah lubang, sensitifitas antena berbanding lurus dengan jumlah daerah lubang. Sementara ketinggian antena BTS tidak terlalu signifikan pengaruhnya terhadap jumlah daerah lubang yang muncul.

I. PENDAHULUAN

Pendeteksian daerah lubang (*blank-spot*) pada awal penempatan pemancar komunikasi bergerak dapat memberikan gambaran daerah-daerah yang tidak dapat menerima sinyal. Simulasi untuk mendeteksi daerah lubang sangat diperlukan untuk mempermudah pekerjaan dalam perencanaan sel dalam komunikasi bergerak. Oleh karena itu dibuatlah suatu perangkat lunak yang dapat mendeteksi daerah lubang. Perangkat lunak ini dirancang berupa simulasi dimana suatu pemancar dengan spesifikasi yang telah ditentukan diletakkan pada suatu daerah pegunungan. Untuk menentukan daerah lubang dilakukan perhitungan kuat medan penerima. Metode yang digunakan oleh perangkat lunak ini untuk menghitung kuat medan penerima adalah metode *Uniform Theory of Diffraction* (UTD) Modifikasi. Perlu diketahui bahwa perhitungan kuat medan yang dilakukan perangkat lunak ini tidak memperhatikan masalah *fading*.

II. UNIFORM THEORY OF DIFFRACTION

Kuat medan yang diterima oleh penerima dari suatu propagasi gelombang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini [2].

$$E(P) = E(Q)D(\varphi, \varphi')A(r, l)\phi(\varphi, \varphi', r, l) \quad (1)$$

Dimana: $E(P)$ = kuat medan yang diterima; $E(Q)$ = EIRP pemancar; $D(\varphi, \varphi')$ = koefisien difraksi UTD; $A(r, l)$ = redaman ruang bebas; $\phi(\varphi, \varphi', r, l)$ = faktor fasa; φ = sudut difraksi UTD; φ' = sudut datang UTD; r = persamaan jarak $x-y$; l = persamaan jarak $r-h$.

Redaman ruang bebas dinyatakan dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$A(r, l) = \left(\frac{4\pi d f}{c} \right)^2 \quad (2)$$

Dimana: d = jarak pemancar dengan penerima (m); f = frekuensi (Hz); c = kecepatan cahaya (m/s). Sedangkan koefisien difraksi UTD dinyatakan dalam persamaan (3).

$$D_{s,h}(\varphi, l, n) = D_1 + D_2 + R_{s,h}(D_3 + D_4) \quad (3)$$

dengan:

$$D_1 = \frac{-e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot \left[\frac{\pi + \psi^-}{2n} \right] F[kLa^+(\psi^-)] \quad (4)$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot \left[\frac{\pi - \psi^-}{2n} \right] F[kLa^-(\psi^-)] \quad (5)$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot \left[\frac{\pi + \psi^+}{2n} \right] F[kLa^-(\psi^+)] \quad (6)$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot \left[\frac{\pi - \psi^+}{2n} \right] F[kLa^-(\psi^+)] \quad (7)$$

$$\psi^- = \varphi - \varphi' \quad (8)$$

$$\psi^+ = \varphi + \varphi' \quad (9)$$

$$n = \frac{2\pi - \alpha}{\pi} \quad (10)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (11)$$

$$F[kLa^\pm(\psi^\pm)] = 2j\sqrt{x}e^{ix} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju^2} du \quad (12)$$

Dimana:

α = sudut kemiringan halangan

L = parameter jarak

Modifikasi UTD dilihat dari penentuan sudut datang dan sudut difraksi pada saat pembacaan peta topografi. Sudut datang dan sudut difraksi UTD ditentukan melalui permukaan dan perhitungan yang harus dihitung satu persatu sepanjang lintasan transmisi. Sedangkan sudut datang dan sudut difraksi UTD modifikasi ditentukan dari garis normal yang tegak lurus dengan bumi. Oleh karena itu, persamaan sudut datang dan sudut difraksi menjadi [1]:

$$\phi' = \phi' - \frac{\alpha}{2} \quad (13)$$

$$\phi = 2\pi - \phi - \frac{\alpha}{2} \quad (14)$$

Dimana: ϕ' = sudut datang UTD modifikasi dan ϕ = sudut difraksi UTD modifikasi.

Jika persamaan (13) dan (14) dimasukkan ke persamaan (4), (5), (6), dan (7), maka persamaan koefisien difraksi UTD mengalami modifikasi pada komponen cotangen. Sehingga komponen $\cot(\phi, \phi', n)$ menjadi [1]:

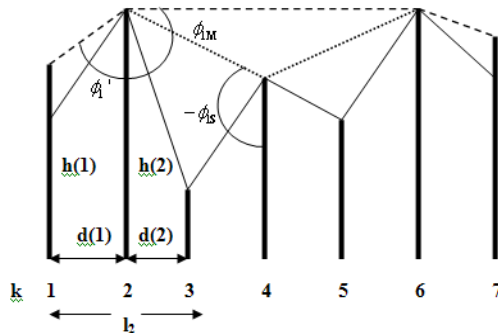
$$\cot\left[\frac{\pi + \psi^-}{2n}\right] = \cot\left[\frac{3\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right] \quad (15)$$

$$\cot\left[\frac{\pi - \psi^-}{2n}\right] = \cot\left[\frac{-\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right] \quad (16)$$

$$\cot\left[\frac{\pi + \psi^+}{2n}\right] = \cot\left[\frac{3\pi - (\phi - \phi') - \alpha}{2n}\right] \quad (17)$$

$$\cot\left[\frac{\pi - \psi^+}{2n}\right] = \cot\left[\frac{-\pi - (\phi - \phi') - \alpha}{2n}\right] \quad (18)$$

Perhitungan parameter L , sudut datang modifikasi dan sudut difraksi modifikasi dapat ditentukan melalui Gambar 1.



Gambar 1: Representasi tinggi pada peta topografi untuk menentukan ϕ, ϕ', L [3]

$$\phi' = \tan^{-1} \frac{dk}{dk(k)} \quad (19)$$

$$\phi' = \tan^{-1} \frac{d(k+2) + d(k+1)}{dh(k+1)} \quad (20)$$

dengan:

dk = jarak antara ketinggian selanjutnya yang besarnya $h(k+1)$

$$dk(k) = h(k) - h(k-1) - hT$$

$$hT = \text{tinggi antena pemancar}$$

$$dh(k+1) = h(k) - h(k+2)$$

$$d(k+1) = l(k+1) - l(k)$$

$$d(k+2) = l(k+2) - l(k+1)$$

III. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Perangkat lunak dirancang untuk melakukan dua proses perhitungan kuat medan dengan menggunakan metode UTD Modifikasi. Proses perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan kuat medan dengan BTS sebagai pemancar dan ponsel sebagai penerima.
2. Perhitungan kuat medan dengan ponsel sebagai pemancar dan BTS sebagai penerima.

Flow chart perancangan perangkat lunak ini ditunjukkan pada Gambar 2.

IV. DETEKSI DAERAH LUBANG

Perangkat lunak deteksi daerah lubang ini menggunakan metode UTD modifikasi untuk mendeteksi daerah lubang. Uji coba yang dilakukan terhadap perangkat lunak ini terbagi menjadi dua tahap, yaitu uji coba deteksi daerah lubang dari sisi BTS dan deteksi daerah lubang dari sisi ponsel.

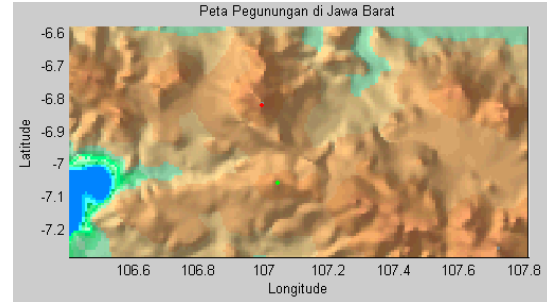
4.1. Uji Coba Deteksi Daerah Lubang Dari Sisi BTS

Uji coba ini dilakukan pada salah satu daerah pegunungan di Jawa Barat dengan BTS sebagai pemancar dan ponsel sebagai penerima. Pengujian ini dilakukan dengan mengubah-ubah tiga nilai parameter dari BTS. Parameter-parameter yang diubah tersebut adalah:

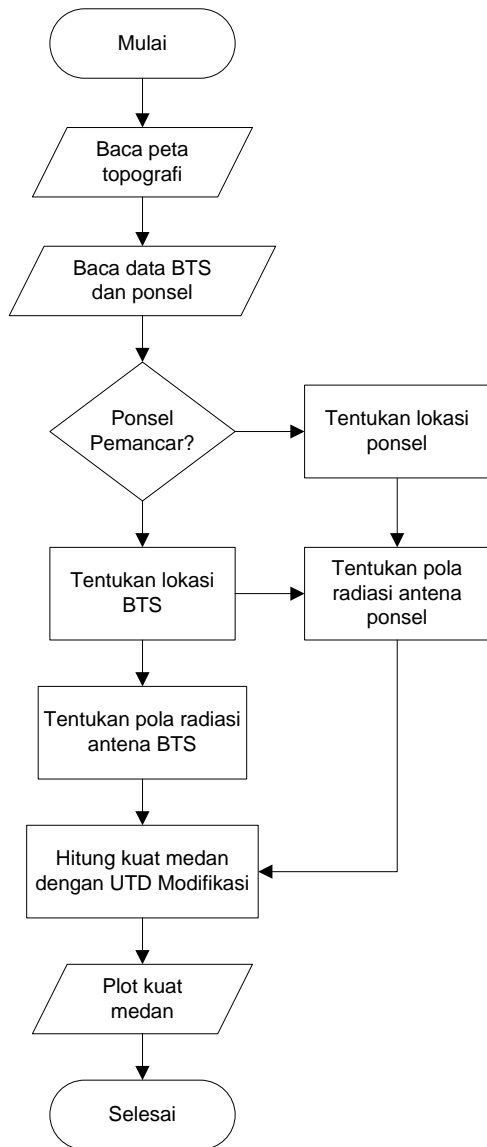
- (1) *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) BTS.
- (2) Sensitifitas antena penerima ponsel.
- (3) Tinggi menara BTS.

Perangkat lunak hanya dapat menempatkan satu BTS dan satu ponsel dalam satu daerah yang telah ditentukan. Selain itu, diperlukan input berupa data tinggi antena, frekuensi, EIRP, dan sensitifitas antena penerima, baik dari BTS maupun dari ponsel. Kemudian sistem melakukan perhitungan kuat medan keluaran dari pemancar sehingga memperoleh kuat medan masukan pada sisi penerima dan membandingkan kuat medan masukan tersebut dengan suatu nilai tertentu, yaitu nilai sensitifitas antena penerima.

Jika kuat medan masukan pada penerima lebih besar dari nilai sensitifitas antenna penerima di sisi penerima, maka dapat diartikan bahwa penerima tersebut mampu menerima sinyal dari pemancar. Namun sebaliknya, jika kuat medan masukan pada penerima lebih kecil dari sensitifitas antenna penerima pada sisi penerima, maka penerima tersebut tidak dapat menerima sinyal dari pemancar. Untuk daerah yang memiliki nilai kuat medan lebih besar dari nilai sensitifitas antenna penerima, maka dalam peta akan diberi warna putih. Sedangkan untuk nilai kuat medan yang lebih kecil dari nilai sensitifitas antenna penerima, maka akan diberikan warna hitam (*blank spot*) pada peta.



Gambar 3: Lokasi dan posisi BTS dan ponsel



Gambar 2: Flow chart perancangan perangkat lunak deteksi daerah lubang (*blank spot*)

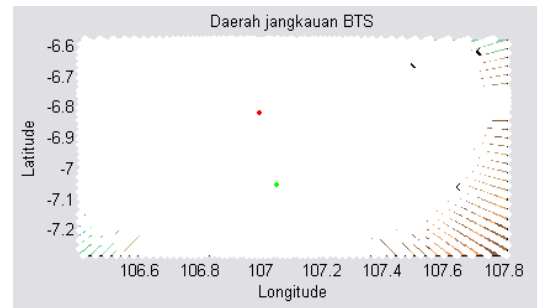
Untuk pengujian sistem, dilakukan simulasi dengan meletakkan ponsel dan BTS di kawasan pegunungan di Jawa Barat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

a. Pengujian dengan mengubah EIRP BTS

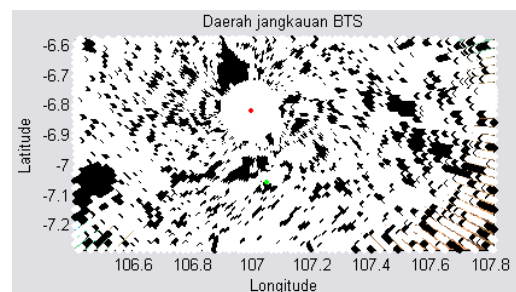
Parameter EIRP pada BTS diubah dari 60.2 dBm menjadi 50.2 seperti tampak pada Tabel 1. Dengan perubahan parameter tersebut, tampak bahwa dengan EIRP 60.2 dBm, sebagian besar wilayah dapat menerima sinyal dengan baik seperti pada Gambar 4. Gambar 5 menunjukkan daerah lubang (*blank spot*) jauh lebih luas dibandingkan Gambar 4. Hal ini dikarenakan dengan EIRP BTS2 yang lebih besar, berarti pancaran kuat medan dari BTS pemancar kuat, sehingga level penerimaan kuat medan di sisi penerima berada pada nilai di atas sensitifitas antenna ponsel yang dinyatakan dengan sedikitnya daerah lubang yang muncul.

Tabel 1: Data BTS dan ponsel dengan perubahan EIRP

Data	Tinggi (m)	Frekuensi (MHz)	EIRP (dBm)	Sensitifitas (dBm)
BTS1	40	941	60.2	-104
BTS2	40	941	50.2	-104
Ponsel	1.5	896	36	-102



Gambar 4: Hasil uji coba dengan EIRP BTS1=60.2 dBm



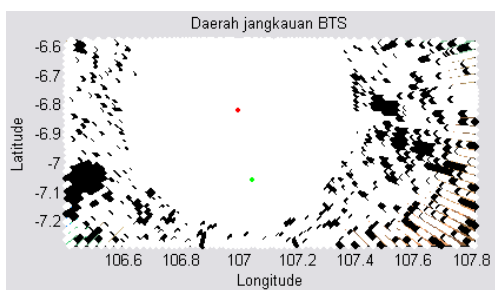
Gambar 5: Hasil uji coba dengan EIRP BTS2=50.2dBm

b. Pengujian dengan mengubah sensitifitas antenna ponsel

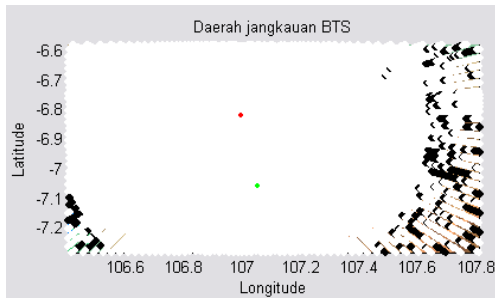
Parameter sensitifitas antenna ponsel akan diubah dari -102 dBm menjadi -104 dBm untuk mengetahui efeknya seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Data BTS dan ponsel dengan perubahan sensitifitas antenna ponsel

Data	Tinggi (m)	Frekuensi (MHz)	EIRP (dBm)	Sensitifitas (dBm)
BTS	40	941	56.2	-104
Ponsel1	1.5	896	36	-102
Ponsel2	1.5	896	36	-104



Gambar 6: Blank spot dengan sensitifitas antenna ponsel=-102 dBm



Gambar 7: Blank spot dengan sensitifitas antenna ponsel=-104 dBm

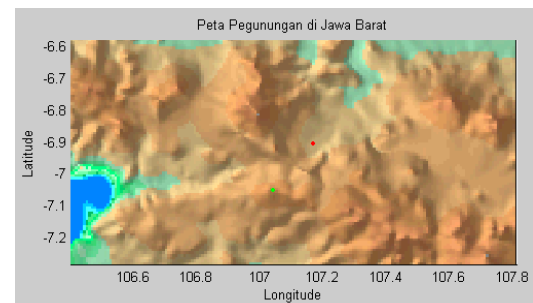
Dari Gambar 6 dan 7, tampak bahwa daerah lubang dengan sensitifitas ponsel yang berbeda akan memengaruhi hasil uji coba. Dengan memperbesar nilai sensitifitas antenna, maka jumlah daerah-daerah lubang akan lebih banyak. Hal ini dikarenakan kuat medan penerima yang bernilai lebih kecil dari nilai sensitifitas antenna penerima jumlahnya lebih banyak dari kuat medan penerima yang nilainya lebih besar dari sensitifitas antenna penerima. Namun, jika sensitifitas antenna diperkecil, maka jumlah kuat medan penerima yang nilainya lebih besar dari sensitifitas antenna penerima akan lebih banyak dibandingkan dengan nilai kuat medan penerima yang nilainya lebih kecil dari sensitifitas antenna penerima. Sehingga daerah daerah lubang yang muncul juga akan lebih sedikit.

c. Pengujian dengan mengubah tinggi menara BTS

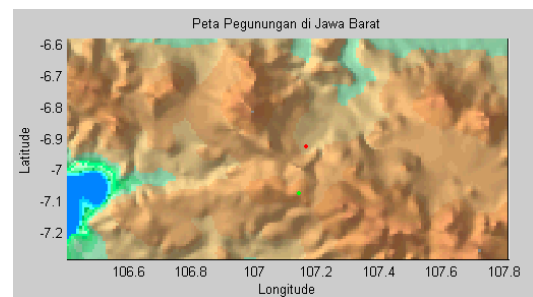
Untuk mengetahui efek tinggi menara BTS terhadap cakupan area *blank spot*, dilakukan uji coba dengan parameter-parameter pada Tabel 3. Peletakan BTS dan ponsel dengan ketinggian 50 dan 20 m ditunjukkan masing-masing pada Gambar 8 dan 9. Nilai sensitifitas antenna ponsel sebesar -102 dBm atau sama dengan 6.3096×10^{-14} watt.

Tabel 3: Data BTS dan ponsel dengan tinggi menara BTS 50 meter

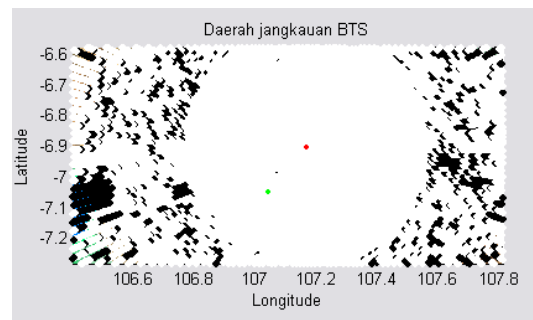
Data	Tinggi (m)	Frekuensi (MHz)	EIRP (dBm)	Sensitifitas (dBm)
BTS1	50	941	56.2	-104
BTS2	20	941	56.2	-104
Ponsel	1.5	896	36	-102



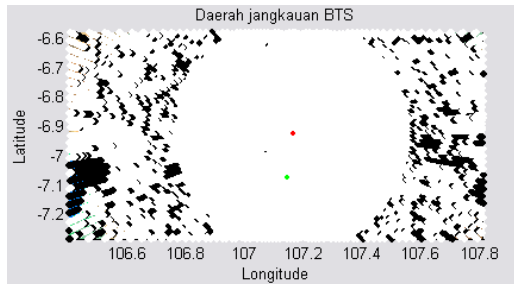
Gambar 8: Posisi BTS dan ponsel (tinggi menara 50 meter)



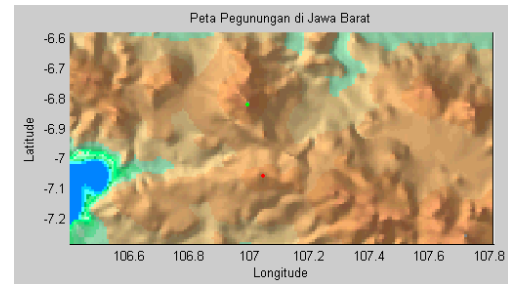
Gambar 9: Posisi BTS dan ponsel (tinggi menara 20 meter)



Gambar 10: Hasil uji coba tinggi menara BTS 50 meter



Gambar 11: Hasil uji coba tinggi menara BTS 20 meter



Gambar 12. Posisi BTS dan ponsel.

Gambar 10 merupakan hasil dari uji coba dengan tinggi menara BTS 50 meter memiliki letak daerah daerah lubang yang tidak jauh berbeda dengan ketinggian menara BTS 20 meter (Gambar 11). Hal ini dikarenakan letak BTS pada kedua pengujian berdekatan. Ketika pengujian dengan tinggi menara BTS 50 dan 20 meter, BTS terletak pada koordinat (107.1691°BT, -6.9035°LS) dan (107.265°BT, -6.9237°LS).

Selain itu Gambar 10 menunjukkan daerah lubang yang lebih sedikit dibandingkan dengan Gambar 11. Hal ini menyimpulkan bahwa ketinggian menara BTS memengaruhi munculnya daerah lubang walaupun pengaruhnya tidak terlalu besar.

4.2. Uji Coba Deteksi Daerah Lubang dari Sisi Ponsel

Deteksi daerah lubang dari sisi ponsel juga dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ini. Parameter-parameter yang diubah dalam uji coba adalah :

- (1) EIRP ponsel.
- (2) Sensitifitas antenna BTS.

Hasil dari uji coba ini berupa peta dimana warna putih menandakan daerah jangkauan ponsel, sedangkan warna hitam menandakan daerah daerah lubang.

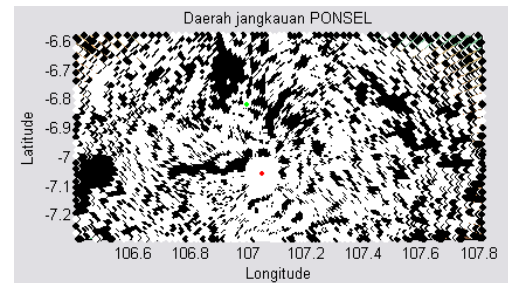
a. Pengujian dengan mengubah EIRP ponsel

Pengujian ini dilakukan dengan mengubah EIRP ponsel dari 40 menjadi 30 dBm, seperti tampak pada Tabel 4.

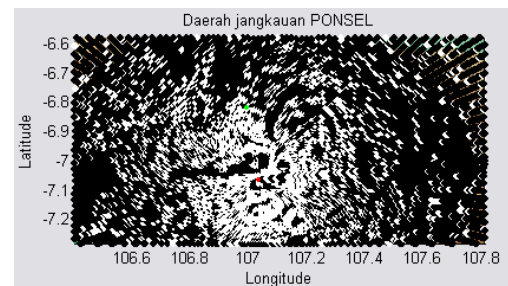
Tabel 4. Parameter ujicoba perubahan EIRP ponsel

Data	Tinggi (m)	Frekuensi (MHz)	EIRP (dBm)	Sensitifitas (dBm)
BTS	40	941	56.2	-104
Ponsel1	1.5	896	40	-102
Ponsel2	1.5	896	30	-102

Posisi BTS dan ponsel ditunjukkan pada Gambar 12 dimana ketinggian BTS dan ponsel masing-masing 40 dan 1.5 m. Titik merah menandakan letak ponsel dan titik hijau yang menandakan letak BTS.



Gambar 13. Hasil uji coba dimana EIRP ponsel=40 dBm.



Gambar 14. Hasil uji coba pada saat EIRP ponsel=30 dBm

Daerah lubang yang muncul pada Gambar 13 dan 14 cukup banyak dan tampak bahwa daerah-daerah lubang pada Gambar 14 lebih banyak dari Gambar 13. Perbedaan jumlah daerah lubang yang muncul dengan adanya perbedaan EIRP ponsel disebabkan pengaruh kuat atau lemahnya kuat medan yang dipancarkan ponsel.

Kuat medan yang dipancarkan ponsel mempengaruhi kekuatan pancaran sinyal ponsel ke BTS. Jika diperhatikan kembali, masih terdapat daerah yang bukan merupakan daerah lubang. Daerah-daerah yang bukan daerah lubang tersebut merupakan daerah yang dijadikan jalur oleh ponsel untuk mengirimkan sinyalnya kepada BTS.

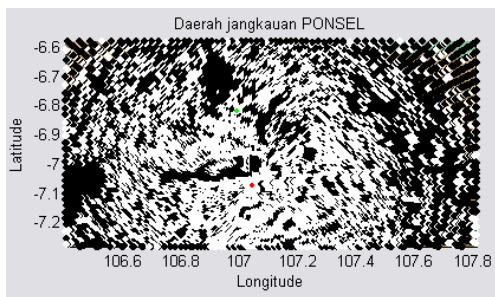
b. Pengujian dengan mengubah sensitifitas antenna BTS

Pengujian ini dilakukan dengan posisi BTS dan ponsel yang sama (Gambar 12), namun sensitifitas antenna BTS diubah dari -104 menjadi -100 dBm (Tabel 5).

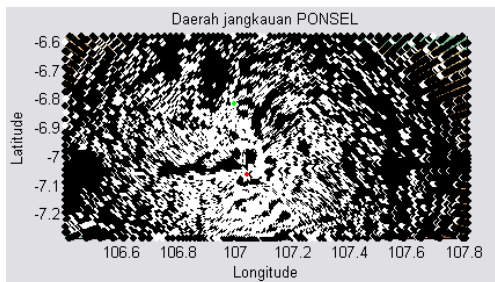
Tabel 5. Data BTS dan ponsel dengan sensitifitas antenna
BTS -104 dan -100 dBm

Data	Tinggi (m)	Frekuensi (MHz)	EIRP (dBm)	Sensitifitas (dBm)
BTS1	40	941	56.2	-104
BTS2	40	941	56.2	-100
Ponsel	1.5	896	36	-102

Hasil uji coba pada Gambar 15 menunjukkan daerah lubang yang cukup banyak, namun masih terlihat daerah yang berwarna putih pada gambar tersebut. Kemudian dari Gambar 16 dimana BTS2 diturunkan sensitifitasnya menjadi -100 dBm memperlihatkan bahwa daerah yang berwarna hitam mendominasi gambar.



Gambar 15: Hasil uji coba ketika sensitifitas antenna
BTS=-104 dBm



Gambar 16: Hasil uji coba ketika sensitifitas antenna
BTS=-100 dBm.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa didapat bahwa teknik perambatan propagasi gelombang radio 3-dimensi dengan metode *Uniform Theory of Diffraction* (UTD) modifikasi dapat digunakan untuk mendeteksi daerah lubang pada daerah pegunungan dengan kondisi-kondisi sebagai berikut :

- (1) EIRP pemancar bernilai besar, maka jumlah daerah lubang yang muncul sedikit. Sedangkan jika EIRP pemancar bernilai kecil, maka jumlah daerah lubang yang muncul cukup banyak.
- (2) Sensitifitas antenna penerima kecil, maka jumlah daerah lubang yang muncul sedikit dan sensitifitas antenna penerima besar, maka jumlah daerah lubang yang muncul cukup banyak.

- (3) Tinggi menara BTS tidak memberi pengaruh yang cukup signifikan terhadap jumlah daerah lubang yang muncul.

DAFTAR ACUAN

- [1] Djohan D., Arman, "The Implementation of UTD Calculation Modification on the Computing of Diffraction Loss in The UHF Radio Propagation". *IEEE International Conference on Jakarta Asia Pacific Communication Conference 1995 Linking Asia-Pacific to The World* (Jakarta, Indonesia: Hotel Horison, Jakarta's Ocean Front Hotel, Taman Impian Jaya Ancol, November, 1995), hal. 13.3.1
- [2] D.A., McNamara, Pistorius C.W.I. and Malherbe J.A.G.. *Introduction to The Uniform Geometrical Theory of Diffraction* (Boston, London: Arte House, 1990), hal. 3.
- [3] Djohan D., Arman, "Model Komputasi Perambatan Gelombang Radio 3 Dimensi untuk Perencanaan Sistem Pemancar Televisi di Pegunungan Dalam Mengatasi Masalah *Blank-spot*," Laporan Penelitian Hibah Bersaing III/2, Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 1995/1996, hal. 22-23.
- [4] Djohan D., Arman, "Model Komputasi Perambatan Gelombang Radio 3 Dimensi untuk Perencanaan Sistem Pemancar Televisi dalam Mengatasi Masalah *Blank-Spot* Gelombang Pantul dan *Multi Coverage* di Indonesia," Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 1995.
- [5] Untung, G. Budijanto, "Pembelajaran Difraksi Fresnel Pada Penghalang Lurus Menggunakan Gelombang Ultrasonik," *Seminar Nasional MIPA*, 2005 (Depok: FMIPA Universitas Indonesia, November, 2005), hal. 1.