

Efek Redaman Tumbuhan pada Sistem Komunikasi Jaringan Sensor Nirkabel yang Bekerja pada Frekuensi Ultra Tinggi

Indah Kurniawati¹, Ridho Akbar^{2,3}, dan I.Y Yulian Eza Efansyah¹

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Surabaya

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl Sutorejo 59 Surabaya, Indonesia 60113

³ Institute of Industrial Automation and Information Processing, Zhejiang University of Technology
Hangzhou, Zhejiang Province, China
e-mail : indah.kurniawati@ft.um-surabaya.ac.id

Abstrak— Salah satu cara untuk mitigasi pengaruh banjir lahar dingin di Gunung Semeru adalah dengan membangun suatu Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) yang dapat mendeteksi parameter-parameter terjadinya banjir, mengolah data dan mengirimkan kepada server informasi untuk mewaspadaikan ancaman banjir. Jaringan sensor yang berada di atas gunung menggunakan gelombang radio yang bekerja pada pita UHF untuk transmisi sinyal mengalami redaman akibat pengaruh tumbuh-tumbuhan yang berada di hutan. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk memprediksi besar redaman yang diakibatkan oleh tumbuhan tersebut. Metode-metode yang digunakan pada artikel ini adalah Model Weissberger, ITU-R, dan FITU-R. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa Model Weissberger memprediksikan redaman yang paling rendah sehingga digunakan untuk menghitung link-budget untuk JSN yang bekerja pada frekuensi 443 MHz dan 915 MHz. Kemudian, dihitung zona medan jauh untuk memperkirakan jarak yang dapat digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal yang diterima untuk JSN yang bekerja pada frekuensi 443 MHz dan 915 MHz. Dengan menggunakan rugi-rugi ruang hampa dan rugi-rugi akibat vegetasi yang dihasilkan oleh Model Weissberger, dihasilkan daya pancar minimum yang diperlukan untuk transmisi sinyal pada frekuensi 443 MHz adalah 0,1 Watt, sedangkan untuk frekuensi 915 MHz adalah 9,98 Watt. Zona Fraunhofer yang dipergunakan untuk memulai pengukuran kekuatan sinyal yang diterima untuk frekuensi 443 MHz adalah 14,8 m, sedangkan untuk frekuensi 915 MHz adalah 30,5 m

Kata kunci: UHF, Model Weissberger, ITU-R, FITU-R, link-budget, medan jauh

Abstract— One way to mitigate the effects of cold lava floods on Mount Semeru is to build a Wireless Sensor Network (WSN) that can detect flood parameters, process data and send it to an information server to be alert to flood threats. The sensor network that is on the mountain uses radio waves that work on the UHF band for signal transmission occurs attenuation due to the influence of plants in the forests. Therefore we need a method to predict the amount of attenuation caused by these plants. The methods used in this research are the Weissberger Model, ITU-R, and FITU-R. Based on the calculations, it is known that the Weissberger Model predicts the lowest attenuation so that it is used to compute the link budget of WSN operating in 433 MHz and 915 MHz frequencies. Then, the far-field zones are computed to estimate the distance that can be used to measure the received signal strength for WSN operating in 433 MHz and 915 MHz frequencies. By using free-space loss and foliage losses generated by Weissberger Model, the minimum transmit power required for signal transmission at 443 MHz is 0.1 Watt, while for 915 MHz is 9.98 Watt. The Fraunhofer Zone used to start measuring the received signal strength for 443 MHz frequency is 14.8 meter, whole for 915 MHz is 30.5 meter.

Keywords : UHF, Weissberger Model, ITU-R, FITU-R, link-budget, far-field

I. PENDAHULUAN

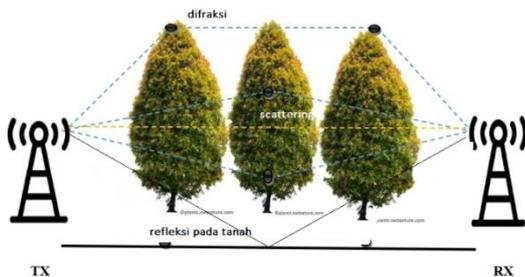
Jaringan sensor nirkabel (JSN) terdiri dari berbagai sensor yang bekerja secara otomatis dengan menggunakan multi-hop. JSN biasa digunakan dalam bidang pertanian dan kehutanan untuk mendeteksi kondisi tanah, lingkungan dan tumbuh-tumbuhan. Selain itu, JSN juga digunakan dalam mitigasi bencana, seperti banjir dan gunung meletus dengan cara mendeteksi parameter-parameter terjadinya bencana, mengolah data dan mengirimkannya pada server pengguna [1] [2]. Tetapi, JSN memiliki batasan pada sumber daya

untuk tiap node-nya. Hal ini disebabkan oleh adanya redaman pada pengiriman sinyal dari transmitter ke receiver yang terjadi sepanjang kanal komunikasi. Sinyal JSN yang dipancarkan oleh transmitter mengalami perubahan yang disebabkan oleh halangan yang berada di antara transmitter dan receiver. Halangan ini bisa berupa scattering, refleksi, dan refraksi sehingga tidak semua daya yang dipancarkan dapat diterima oleh receiver [3].

JSN dapat dipergunakan untuk memonitor banjir lahar dingin yang merupakan efek dari letusan Gunung Semeru. Berdasarkan pantauan hasil seismograf Pusat Data,

Informasi dan Komunikasi Kebencanaan BNPB yang berada di Gunung Sawur pada tanggal 30 Desember 2021 banjir lahar terjadi pada alur daerah sungai yang berhulu di puncak Gunung Semeru Kabupaten Lumajang, dengan adanya hujan lebat sampai dengan sedang di sebagian Kabupaten Lumajang mengakibatkan terjadinya banjir lahar dingin pada alur Daerah Aliran Sungai (DAS) Curah Koboan Desa Supiturang, DAS Rejali Bondeli dan DAS Regoyo[4].

Untuk daerah gunung dan hutan yang tidak terjangkau infrastruktur telekomunikasi, dapat digunakan gelombang radio untuk mengirimkan data hasil sensor menuju ke server penerima. Gelombang radio yang digunakan berada pada pita Ultra-High Frequency (UHF) yang bekerja pada range 300 MHz hingga 3 GHz. Komunikasi yang menggunakan pita frekuensi UHF terjadi melalui gelombang ruangan (spacewave), yaitu komponen gelombang langsung dan pantulan dari tanah. Gelombang langsung merambat melalui lintasan langsung antara antenna transmitter dan antenna receiver, sedangkan gelombang pantulan sampai ke antenna receiver setelah dipantulkan oleh tanah. Pada pita frekuensi ini antenna memiliki ukuran fisik relatif kecil dan bisa diletakkan pada tiang beberapa Panjang gelombang diatas tanah. Hal yang harus diperhatikan dalam menganalisis mekanisme perambatan gelombang pada pita frekuensi UHF adalah masalah pantulan pada tanah dan halangan, baik yang disebabkan oleh kondisi alam maupun buatan manusia. Selain itu, difraksi melalui puncak bukit, pohon, dan bangunan, dan refraksi melalui lapisan atmosfer yang lebih rendah [5].



Gambar 1 Mekanisme propagasi secara umum, difraksi, scattering dan refleksi

Halangan pada sinyal yang bekerja pada pita frekuensi UHF dapat disebabkan oleh scattering, refleksi dan refraksi dari tumbuh-tumbuhan. Banyak studi telah meneliti karakteristik perambatan sinyal akibat halangan dari tumbuh-tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan yang digunakan sebagai penghalang umumnya adalah tanaman hasil pertanian, seperti padi dan gandum [6], [7] sebagai bagian dari penelitian tentang penerapan JSN pada pertanian cerdas (smart-agriculture). Sedangkan halangan pada JSN yang diaplikasikan sebagai pemonitor lahar dingin adalah pohon-pohonan pada hutan ekuatorial yang memiliki jenis batang yang besar, tinggi, daunnya lebat, dan tumbuh rapat satu sama lain. Panjang gelombang dari sinyal yang pendek menyebabkan kemungkinan terjadinya redaman akibat halangan dari tumbuh-tumbuhan sangat besar, yang mengakibatkan margin yang lebih besar pada link-budget dalam perancangan sistem[8]. Besar redaman yang dialami tergantung pada ketebalan daun, kelembaban dan keberadaan angin [9]. Redaman sinyal juga tergantung oleh berbagai faktor, seperti tipe-tipe pohon, apakah memiliki

banyak daun atau sedikit daun, dan apakah daun dalam kondisi kering atau basah, ukuran daun, distribusi daun, kerapatan daun, ranting dan cabang, kecepatan angin, konstanta dielektrik, ketinggian pohon relatif terhadap ketinggian antenna, frekuensi dan panjang lintasan yang melalui daun-daunan [10].

Rugi-rugi propagasi yang disebabkan oleh halangan tumbuhan dapat diteliti untuk 3 (tiga) kasus, yaitu untuk satu buah pohon, untuk pohon yang sederet atau berderet-deret, dan untuk hutan [10]. Perambatan gelombang radio yang terhalang oleh tumbuhan dapat mengalami 3 (tiga) hal berikut, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu scattering melalui media tumbuh-tumbuhan seperti daun dan cabang, yang kedua difraksi pada sisi dan atas pohon, dan refleksi dari tanah dan atas pohon. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memodelkan rugi propagasi gelombang radio karena efek tumbuh-tumbuhan, seperti dalam tubuh pohon konifer [11] yang menyatakan bahwa efek scattering lebih banyak terjadi pada daerah yang memiliki vegetasi yang sangat rimbun, yang hanya dapat melakukan transmisi Non Line-of-Sight (NLOS).

II. RUGI-RUGI RUANG HAMPA

Jika suatu antenna pemancar di letakkan pada ruang hampa, yaitu jauh dari tanah atau halangan, kemudian memiliki gain G_T pada arah antenna penerima, maka daya per satuan luas atau kerapatan daya pada jarak l adalah :

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi l^2} \quad (1)$$

dengan P_T adalah daya yang dicatu pada antenna pemancar. Sedangkan daya yang tersedia pada antenna penerima yang memiliki area efektif A adalah :

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi l^2} \cdot A \quad (2)$$

$$= \frac{P_T G_T}{4\pi l^2} \cdot \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi}$$

dengan G_R adalah gain dari antenna pemancar. Sehingga diperoleh :

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi l} \right]^2 \quad (3)$$

yang merupakan persamaan ruang hampa fundamental atau Persamaan Friis. Bentuk lain dari persamaan tersebut yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang (λ), frekuensi (f), dan kecepatan perambatan gelombang (c) dapat ditulis :

$$L_F = 10 \log_{10} \frac{P_R}{P_T} = 10 \log_{10} G_T + 10 \log_{10} G_R - 20 \log_{10} f - 20 + k \quad (5)$$

$$\text{dengan } k = 20 \log_{10} \frac{3 \times 10^8}{4\pi} = 147,6$$

Path loss sering dibandingkan dengan path loss dasar L_B antara antenna – antenna isotropis, yaitu :

$$L_B(dB) = -32,44 - 20\log_{10}f_{MHz} - 20\log_{10}l_{km} \quad (6)$$

Rugi-rugi yang diperhitungkan dalam penelitian ini adalah rugi-rugi pada ruang hampa dan rugi-rugi akibat pengaruh tumbuhan. Ada beberapa faktor yang menyebabkan rugi-rugi, namun tidak dimasukkan dalam pembahasan ini, yaitu rugi-rugi akibat refleksi pada permukaan bumi, dan difraksi akibat tumbuhan. Terjadinya refleksi adalah ketika gelombang radio merambat antara antena- antena yang saling *Line-of-Sight* (LoS), melalui permukaan bumi, maka selain lintasan langsung, akan ada gelombang radio yang datang kepada antena penerima melalui lintasan yang dipantulkan pada permukaan bumi, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Kemudian, ketika gelombang radio melalui suatu halangan yang bersifat padat, baik bangunan maupun tumbuhan, maka akan terdapat mekanisme difraksi yang menyebabkan rugi-rugi difraksi.

Daya pancar minimal (P_T) yang diperlukan untuk sinyal yang bekerja pada JSN dapat dihitung dengan memperhatikan P_R , G_T , G_R dan L , dengan L adalah rugi-rugi total yang bekerja pada JSN tersebut, dengan menggunakan persamaan (7) berikut :

$$P_T = P_R - G_T - G_R + L \quad (7)$$

P_T dinyatakan dalam dBW dan dikonversi dalam Watt, sedangkan L adalah rugi-rugi akibat ruang hampa dan rugi-rugi vegetasi.

Model rugi-rugi pada ruang hampa atau Persamaan Friis hanya berlaku untuk memprediksikan P_R pada jarak l yang masuk pada daerah medan jauh antena pemancar [5]. Antena menghasilkan sepasang medan, yaitu medan dekat dan medan jauh. Medan dekat adalah daerah di dekat antena dimana medan listrik dan medan magnet berbeda. Medan dekat bukan termasuk gelombang radio, melainkan masih berupa informasi yang ditransmisikan. Medan dekat juga disebut sebagai Zona Fresnel. Medan jauh yang berjarak sekitar sepuluh panjang gelombang dari antena adalah gelombang radio dengan gabungan antara medan listrik dan medan magnet [12].

III. METODE EMPIRIS

Model empiris diperoleh berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, kemudian hasil yang didapatkan di fitting dalam sebuah kurva. Biasanya, model empiris dinyatakan dalam bentuk eksponensial sebagai fungsi frekuensi kerja dan panjang lintasan. Enam (6) model yang telah dikenal dan banyak digunakan dalam perhitungan rugi-rugi akibat perambatan pada daun-daunan adalah :

1. Modified Exponential Decay (MED) [13]

Model MED merupakan perbaikan dari model Exponential Decay (EXD) yang dilakukan oleh Weissberger. Dari hasil pengukuran tersebut diketahui bahwa *root-mean-squared* (rms) dari MED lebih kecil daripada rms dari EXD. Pengukuran tersebut dilakukan pada saat antena dalam kondisi kering, pohon yang memiliki

banyak daun, baik pada saat sedang memiliki banyak daun maupun gugur. Lebar dari daun-daunan bervariasi dari 2 sampai 800 meter. Daun-daunan yang dipergunakan adalah daun yang tumbuh di daerah lintang menengah [13]. Tetapi ada tiga kondisi dimana model MED tidak dapat diaplikasikan, yaitu ketika lebar deretan lebih dari 400 meter dan ketika menggunakan tumbuh-tumbuhan yang tersebar. Model dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [13]:

$$L = 1,33f^{0,284}d^{0,588} \quad 14 \text{ m} < d < 400 \text{ m} \quad (8)$$

$$L = 0,45f^{0,284}d \quad 0 \text{ m} < d < 14 \text{ m} \quad (9)$$

Dengan f adalah frekuensi kerja dalam GHz dan d adalah lebar daun dalam meter.

2. Model ITU-R [14]

ITU-R mengatakan ada 2 (dua) kategori dalam menghitung rugi-rugi yang terjadi pada hutan beriklim sedang. Yang pertama adalah melibatkan geometri yang menggambarkan bahwa antena pemancar dan antena penerima berada cukup dekat dengan hutan kecil (lebar kurang dari 400 m) sehingga mayoritas sinyal merambat melalui pepohonan. Rugi-rugi tambahan yang disebabkan oleh pepohonan tersebut dinyatakan dalam bentuk persamaan MED, sebagai berikut [14] :

$$L \cong 0,2f^{0,3}d^{0,2} \text{ dB} \quad (10)$$

Dengan L adalah rugi-rugi yang diakibatkan oleh hutan kecil dalam dB, f adalah frekuensi dalam MHz, dan d adalah lebar daun-daunan dalam meter. Persamaan diatas dapat digunakan untuk permasalahan yang bekerja dengan frekuensi $200 < f < 95000 \text{ MHz}$.

Kategori kedua menyatakan bahwa antena pemancar dan penerima terletak cukup jauh dari pepohonan sehingga mayoritas perambatan gelombang terjadi karena difraksi. Data-data rugi-rugi dapat direkomendasikan untuk diprediksi dengan Metode *Knife-Edge Diffraction* [3].

3. COST235

Model COST 235 diusulkan berdasarkan pengukuran-pengukuran yang dilakukan pada hutan yang sempit, dimana rugi-rugi akibat pepohonan dinyatakan besarnya dengan [15] :

$$COST_L(dB) = 15,6f^{-0,009} * d^{0,26} \quad (11)$$

dengan f adalah frekuensi dalam MHz dan d adalah lebar daun-daunan dalam meter. Persamaan (4) berlaku saat pohon memiliki banyak daun. Saat daun-daunan pada pohon berguguran, sehingga jumlah daun yang dimiliki pohon tersebut berkurang, maka persamaan (4) menjadi [10] :

$$COST_L(dB) = 26,6f^{-0,2} * d^{0,5} \quad (12)$$

4. FITU-R

Metode FITU-R diawali dengan persamaan (10) dimana tiga nilai parameter numerik yang ada dioptimisasi dengan

hasil pengukuran yang diperoleh [16]. Parameter kondisi tanpa dan dengan daun dinyatakan sebagai berikut [16] :

$$L = 0,39f^{0,39}d^{0,25}; \text{ dengan daun} \quad (13)$$

$$L = 0,37f^{0,18}d^{0,59}; \text{ tanpa daun} \quad (14)$$

dengan L adalah dalam dB, f adalah frekuensi dalam MHz, dan d adalah panjang (m). Optimisasi dilakukan dengan metode *least squared error* yang di fit untuk seluruh data pengukuran pada frekuensi 11,2 GHz dan 20 GHz untuk seluruh kondisi daun-daunan.

5. Model Non Zero Gradient (NZG)

Model ini dikembangkan di Rutherford Appleton Laboratory untuk memformulasikan fungsi kurva redaman kemiringan berganda yang telah dibuktikan oleh model vegetasi sebelumnya [16]. Kemiringan yang pertama menggambarkan kinerja yang disebabkan oleh komponen propagasi yang koheren, sedangkan kemiringan yang kedua, yang memiliki nilai yang lebih rendah, menggambarkan komponen scattering yang non-koheren. Model NZG diformulasikan dengan mempertimbangkan kedua komponen tersebut untuk mendapatkan hasil fitting pengukuran yang tepat. Formula tersebut dirumuskan sebagai berikut [16] :

$$L = R_{\infty}d + k \left(1 - \exp \left(- \frac{(R_0 - R_{\infty})d}{k} \right) \right) \quad (15)$$

dengan L adalah redaman dalam dB, R_0 dan R_{∞} masing-masing adalah nilai redaman spesifik awal dan final dalam dB/m, d adalah panjang vegetasi dalam meter, sedangkan k adalah nilai kompensasi redaman akhir dalam dB.

Model NZG telah dioptimisasi dengan memperhatikan data hasil pengukuran dengan dan tanpa daun yang diperoleh dari dua frekuensi, yaitu 11,2 GHz dan 20 GHz. Nilai R_0 , R_{∞} , dan k diberikan pada Tabel 1 [16].

6. Model Dual Gradient (DG)

Model DG adalah pengembangan dari model NZG, dan berbeda dengan model lain karena model ini mempertimbangkan geometri objek pengukuran, yaitu memasukkan parameter W yang merepresentasikan lebar dari ukuran batang vegetasi yang berada baik dari sisi antena pengirim dan penerima.

Pengukuran yang digunakan untuk mengoptimasi parameter-parameter diperoleh dari hasil pengukuran pada frekuensi 11,2 GHz, 20 GHz dan 38 GHz. Data lain yang dimasukkan dalam proses optimasi adalah data pengukuran pada 9,6 GHz, 28,8 GHz, dan 57,6 GHz. Saat ini, sedang berlangsung penelitian pendahuluan untuk mengetahui kekurangan dari metode ini.

Tabel 1 Parameter Model NZG

Parameter	Tanpa Daun	Dengan Daun
R_0 (dB/m)	19,82	6,25
R_{∞} (dB/m)	0,33	0,24
k (dB)	37,87	6,45

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah menghitung redaman pada perambatan sinyal radio yang bekerja pada pita UHF yang mendapatkan halangan berupa tumbuhan. Ada dua frekuensi kerja yang digunakan, yaitu 443 MHz dan 915 MHz, untuk proses perhitungan sinyal radio pada JSN. Dengan menggunakan dua frekuensi tersebut, maka dari enam metode empiris yang telah dijelaskan pada Bab III Metode Empiris maka terdapat tiga metode yang dapat merepresentasikan redaman untuk kedua frekuensi kerja tersebut. Ketiga metode tersebut adalah Weissberger, ITU-R dan FITU-R.

Weissberger dapat dipergunakan untuk menyusun prediksi redaman pada kanal UHF karena model tersebut dibangun dengan menggunakan hasil pengukuran dari frekuensi 230 MHz hingga 95 MHz. Selain itu, model Weissberger yang metode MED sesuai untuk tumbuhan yang tumbuh berjajar sebagaimana tumbuhan yang tumbuh di hutan, dan mengalami propagasi langsung melalui pohon-pohon yang rimbun. Weissberger tidak sesuai untuk propagasi gelombang yang mengalami difraksi pada pucuk-pucuk pepohonan.

Model kedua yang digunakan untuk simulasi adalah Model ITU-R. Model ini digunakan karena disusun berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada frekuensi kerja VHF dan UHF, yaitu 200 MHz hingga 95 GHz sehingga sesuai untuk kanal radio UHF. Meskipun demikian, untuk frekuensi diatas 1 GHz, model ITU-R hanya mempertimbangkan komponen difraksi dari atas pohon dan komponen pantulan dari tanah. Selain itu, model ini sesuai untuk Tx dan Rx (d) kurang dari 400 m. Jarak ini (d) juga merupakan lebar deretan pepohonan, yaitu kurang dari 400 m.

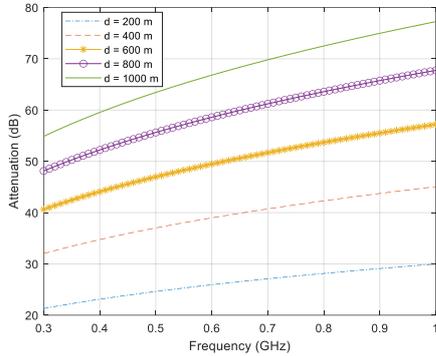
Model ketiga yang digunakan untuk simulasi adalah Model FITU-R. Model ini dipergunakan untuk simulasi besar redaman karena didasarkan pada hasil pengukuran pada kanal VHF hingga gelombang milimeter, sehingga sesuai untuk simulasi besar redaman sinyal pada kanal radio UHF akibat tumbuhan. FITU-R juga didasarkan atas pengukuran pada lebar pepohonan (d) maksimum sejauh 400 m.

Parameter yang digunakan untuk simulasi dan membandingkan hasil redaman dengan ketiga metode diatas, adalah besar frekuensi yang berbeda dan lebar pepohonan (d) yang berbeda. Frekuensi yang digunakan adalah 443 MHz dan 915 MHz. Frekuensi merupakan frekuensi yang sering dipergunakan pada aplikasi jaringan sensor nirkabel. Lebar pepohonan yang dipergunakan (d) adalah berupa vegetasi pendek sejauh 0 hingga 100 meter.

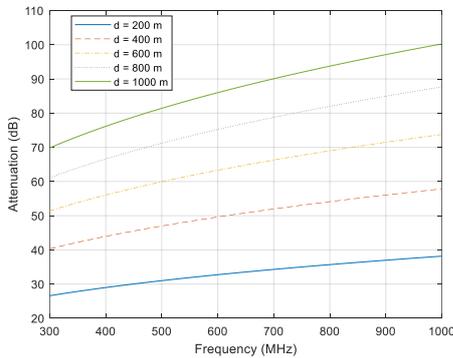
Skenario simulasi dilakukan dengan dua cara, yaitu yang pertama adalah simulasi dengan masing-masing model, yaitu Weissberger, ITU-R, dan FITU-R sebagai fungsi frekuensi 300 MHz hingga 1 GHz untuk d yang berbeda, yang dimulai dari 20 m hingga 1000 m. Skenario yang kedua adalah plotting ketiga model tersebut dalam satu grafik untuk mengetahui perbandingan redaman yang dihasilkan untuk d yang berbeda dan frekuensi yang sama.

Model pertama yang disimulasikan redamannya adalah Model Weissberger untuk d antara 20 m, 30 m, 40 m, dan 50 m, dan frekuensi yang bervariasi dari 0,3 GHz hingga 1 GHz. Redaman ini dibangkitkan dengan menggunakan persamaan (1) untuk $14 m < d < 400 m$. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2. Model kedua yang disimulasikan adalah Model ITU-R. Model ini juga disimulasikan untuk d antara 200 m, hingga 1000 m dan frekuensi yang bervariasi dari 0,3

GHz hingga 1 GHz dengan menggunakan persamaan (7) untuk menghitung besar redaman dalam dB. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3. Model ketiga yang disimulasikan adalah Model FITU-R dengan variabel pengukuran yang sama dengan dua model sebelumnya. Redaman pada model ini dibangkitkan dengan persamaan (14) untuk kondisi tanaman yang penuh dengan daun-daunan. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.



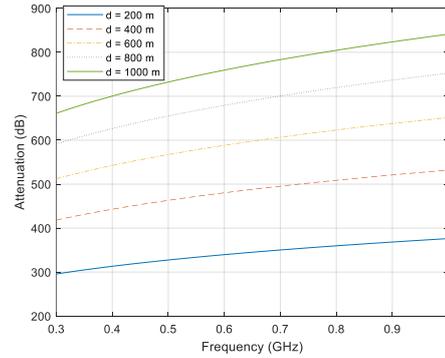
Gambar 2 Perhitungan redaman dengan Model Weissberger pada kanal UHF sebagai variasi frekuensi untuk d yang berbeda



Gambar 3 Perhitungan redaman dengan Model ITU-R pada kanal UHF sebagai variasi frekuensi untuk d yang berbeda

Tahap kedua dari simulasi adalah perbandingan besar redaman yang dihasilkan oleh ketiga model tersebut untuk frekuensi yang tetap, yaitu 443 MHz dan 915 MHz sebagai variabel lebar deretan pepohonan (d) yang bervariasi dari 0 hingga 100 m. Gambar 5 dan 6, masing-masing adalah gambar hasil simulasi ketiga model untuk frekuensi 443 MHz dan 915 MHz.

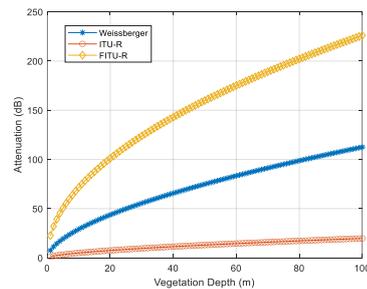
Gambar 2, 3, dan 4 adalah hasil simulasi redaman akibat tumbuh-tumbuhan untuk masing-masing Model Weissberger, ITU-R, dan FITU-R sebagai fungsi frekuensi dan lebar pepohonan yang berbeda. Dari ketiga gambar tersebut diketahui bahwa pada frekuensi yang sama, semakin lebar d , semakin besar pula redaman yang dihasilkan. Sebagai contoh, untuk Model FITU-R, pada frekuensi 0,5 GHz, d selebar 200 m menghasilkan redaman sebesar sekitar 372 dB, sementara d selebar 600 m menghasilkan redaman sekitar 424 dB, d selebar 800 m menghasilkan redaman sekitar 567 dB, dan d selebar 1000 m menghasilkan redaman sekitar 732 dB. Model FITU-R menghasilkan angka redaman yang paling besar jika dibandingkan dengan Model Weissberger dan ITU-R. Pada d selebar 600 m pada frekuensi 0,5 GHz Model Weissberger menghasilkan redaman sebesar 55,95 dB, sedangkan Model ITU-R menghasilkan redaman 71 dB.



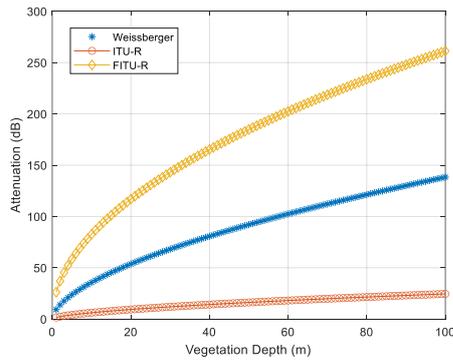
Gambar 4 Perhitungan redaman dengan Model FITU-R pada kanal UHF sebagai variasi frekuensi untuk d yang berbeda

Gambar 5 dan 6 adalah hasil simulasi redaman dengan ketiga model untuk d yang bervariasi dan frekuensi tetap, masing-masing adalah 443 MHz dan 915 MHz. Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat bahwa Model FITU-R menghasilkan angka redaman yang paling besar jika dibandingkan dua model yang lain, diikuti oleh Model Weissberger, dan Model ITU-R. Misalnya, pada Gambar 5 untuk d selebar 400 m, Model FITU-R menghasilkan redaman sebesar hampir 420 dB, sedangkan Model Weissberger mencapai angka redaman sekitar 250 dB, dan Model ITU-R menghasilkan redaman sekitar 30 dB. Pola yang sama juga dapat dilihat pada Gambar 6 untuk frekuensi 915 MHz bahwa Model ITU-R menghasilkan redaman paling rendah, diikuti oleh Model Weissberger, dan Model FITU-R. Dengan kata lain, Model ITU-R yang menghasilkan redaman paling rendah adalah model yang paling optimis bahwa redaman akibat tumbuhan itu rendah, sedangkan Model FITU-R yang menghasilkan redaman paling tinggi adalah model yang paling pesimis bahwa redaman akibat tumbuhan itu tinggi.

Perbedaan hasil simulasi dihasilkan dari hasil pengukuran yang dipergunakan untuk menyusun model ini yang berbeda, berbeda dalam ukuran dan jenis daun, iklim, cuaca, kondisi alam, daerah yang dipergunakan untuk pengukuran. Sebagai contoh, Model Weissberger dihasilkan dari pengukuran sinyal pada frekuensi 1850 MHz dengan jenis pohon oak, madrone, pine, redwood, dengan semak belukar yang rimbun [17]. Lebar daun-daunan adalah 50, 60, 90, 100, 150 m. Antena yang digunakan memiliki polarisasi vertikal. Pengukuran dilakukan pada tanggal 19 Mei 1978. Sedangkan Model FITU diperoleh dari pengukuran pada pohon horse chestnut tree yang memiliki rata-rata tinggi 7,5 m, dengan tinggi paling rendah 2 m. Frekuensi kerja yang digunakan adalah 11,2 GHz dan 20 GHz, dengan polarisasi antena vertical. Pengukuran dilakukan pada bulan Maret dan Juli 1995. Kedua model tersebut melakukan pengukuran di daerah nontropis.



Gambar 5 Perhitungan redaman dengan Model Weissberger, ITU-R dan FITU-R pada kanal UHF sebagai variasi d dan frekuensi 443 MHz



Gambar 6 Perhitungan redaman dengan Model Weissberger, ITU-R dan FITU-R pada kanal UHF sebagai variasi d dan frekuensi 915 MHz

Tabel 2 Perhitungan Link Budget untuk Frekuensi 443 MHz

No	Notasi	Besaran	Nilai	Satuan
1	L_f	Path Loss	-	dB
			85,37	
2	L_v	Rugi Vegetasi	-	dB
			64,73	
3	G_T	Gain antena Tx	2,5	dBi
4	G_R	Gain antena Rx	2,5	dBi
5	P_r	Daya terima minimum	-122	dBm
6	F	Fading margin	3	dB
7	L	Rugi-Rugi Total	-	dB
			150,1	
8	P_t	Daya pancar minimum	-9,09	dBW
			0,1	Watt

Tabel 3 Perhitungan Link Budget untuk Frekuensi 915 MHz

No	Notasi	Besaran	Nilai	Satuan
1	L_f	Path Loss	-91,67	dB
2	L_v	Rugi Vegetasi	-78,32	dB
3	G_T	Gain antena Tx	2,5	dBi
4	G_R	Gain antena Rx	2,5	dBi
5	P_r	Daya terima minimum	-122	dBm
6	F	Fading margin	3	dB
7	L	Rugi-Rugi Total	-169,99	dB
8	P_t	Daya pancar minimum	9,99	dBW
			9,98	Watt

Pemodelan kanal UHF yang dipengaruhi oleh foliage yang didasarkan pada perhitungan empiris menghasilkan hasil redaman yang berbeda saat digunakan untuk memodelkan kondisi kanal yang berbeda. Oleh karena itu, untuk mengetahui besar redaman di daerah dengan kondisi yang berbeda diperlukan perhitungan empiris yang berbeda. Sebagai contoh, jika diperlukan suatu model untuk menghitung redaman akibat pengaruh tumbuh-tumbuhan di daerah beriklim tropis, maka diperlukan pengukuran tersendiri untuk mengetahui besar redaman. Hal ini disebabkan oleh iklim yang berbeda, foliage yang berbeda, ukuran lebar foliage, tinggi pohon, dan ukuran daun yang berbeda akan menghasilkan redaman yang berbeda.

Perhitungan selanjutnya adalah daya pancar minimal yang diperlukan untuk JSN jika terdapat dua macam rugi-rugi, yaitu rugi-rugi ruang hampa dan rugi-rugi akibat

vegetasi. Proses perhitungan ini disebut dengan Perhitungan Link Budget yang diperlukan sebelum merancang suatu sistem komunikasi. Perhitungan Link Budget ini dilakukan untuk 2 (dua) buah frekuensi, yaitu 443 MHz dan 915 MHz, dengan d sebesar 1000 m. Dipergunakan Model Weissberger untuk menghitung besar redaman akibat tumbuhan. Persamaan (6) dipergunakan untuk menghitung Rugi-Rugi Ruang Hampa. Parameter lain yang digunakan untuk perhitungan adalah gain antena pemancar (G_T) dan gain antena penerima (G_R) masing-masing adalah 2,5 dBi, kemudian daya terima minimum (P_r) adalah -122 dBm dengan fading margin 3 dB. Dari perhitungan diatas diperoleh besar daya pancar minimum yang diperlukan, dapat dilihat pada Tabel 2 untuk frekuensi 443 MHz dan Tabel 3 untuk frekuensi 915 MHz.

Besar daya pancar minimum yang diperlukan untuk sinyal yang dipancarkan pada frekuensi 443 MHz sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2 adalah 0,1 Watt, atau -9,09 dBW. Sedangkan untuk frekuensi 915 MHz adalah 9,99 dBW atau 9,98 Watt sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3. Daya pancar dihitung berdasarkan persamaan (7).

Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan medan jauh antena Panjang medan jauh diperlukan untuk mulai melakukan pengukuran kekuatan sinyal yang diterima oleh pemancar jaringan sensor. Medan jauh dihitung sebagai jarak setelah sepuluh panjang gelombang (10λ)

Jika pada sistem dipergunakan frekuensi kerja 443 MHz, maka panjang gelombang (λ) adalah 1,48 m. Maka panjang medan jauh adalah 14,8 m, jarak dimana dapat mulai dilakukan perhitungan kekuatan sinyal yang diterima. Jarak sebelum medan jauh adalah zona Fresnel yang tidak memungkinkan untuk menghitung kekuatan sinyal yang diterima. Selanjutnya untuk frekuensi kerja 915 MHz, diperoleh panjang gelombang 3,05 m, sehingga panjang medan jauh adalah 30,5 m. Pada jarak setelah 30,5 m dapat dilakukan pengukuran kekuatan sinyal yang diterima untuk frekuensi 915 MHz.

V. KESIMPULAN

Sinyal yang dipancarkan oleh Jaringan Sensor Nirkabel yang melintasi tumbuh-tumbuhan mengalami redaman yang disebabkan oleh scattering, refleksi dan difraksi akibat renteng, pohon, dan daun. Besar redaman akibat vegetasi telah disusun berdasarkan pengukuran empiris yang dilakukan di tempat dan waktu berbeda. Untuk sinyal yang bekerja pada pita UHF terdapat 3 (tiga) metode yang dapat digunakan untuk menghitung besar redamannya, yaitu Metode Weissberger, ITU-R, dan FITU-R. Dari hasil simulasi dalam beberapa kondisi, nilai redaman yang dihasilkan oleh Metode Weissberger menghasilkan redaman yang terendah, sedangkan Metode FITU-R menghasilkan perkiraan redaman yang terbanyak. Perbedaan ini disebabkan oleh lokasi pengukuran yang memiliki kondisi fisik yang berbeda, waktu dan musim pengukuran yang berbeda. Hasil perkiraan redaman ini dipergunakan untuk menyusun link-budget untuk memperkirakan daya pancar minimal yang diperlukan untuk sinyal yang bekerja pada pita UHF, frekuensi kerja 443 MHz dan 915 MHz. Dengan menggunakan rugi-rugi ruang hampa dan rugi-rugi akibat vegetasi yang dihasilkan oleh Model Weissberger, dihasilkan daya pancar minimum yang diperlukan untuk transmisi sinyal pada frekuensi 443 MHz adalah 0,1 Watt, sedangkan untuk frekuensi 915 MHz

adalah 9,98 Watt. Zona Fraunhofer yang dipergunakan untuk memulai pengukuran kekuatan sinyal yang diterima untuk frekuensi 443 MHz adalah 14,8 m, sedangkan untuk frekuensi 915 MHz adalah 30,5 m.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan dari Majelis Dikti Litbang PP Muhammadiyah melalui skema Penelitian Dasar RisetMu Batch 6 Tahun 2022.

REFERENSI

- [1] R. Lopes Pereira, J. Trindade, F. Gonçalves, L. Suresh, D. Barbosa, and T. Vazão, "A wireless sensor network for monitoring volcano-seismic signals," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 14, no. 12, pp. 3123–3142, Dec. 2014, doi: 10.5194/nhess-14-3123-2014.
- [2] L. Spampinato, S. Calvari, C. Oppenheimer, and E. Boschi, "Volcano surveillance using infrared cameras," *Earth-Science Reviews*, vol. 106, no. 1–2, pp. 63–91, May 2011. doi: 10.1016/j.earscirev.2011.01.003.
- [3] J. D. (John D. Parsons, *The mobile radio propagation channel*, Second edition., vol. Second edition. Chichester, West Sussex: John Wiley and Sons, 2000.
- [4] BNPB, "LAPORAN HARIAN PUSDALOPS BNPB (Jumat, 17 Desember 2021)," <http://pusdalops.bnpb.go.id/2021/12/18/laporan-harian-pusdalops-bnpb-jumat-17-desember-2021/>, Dec. 17, 2021.
- [5] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd ed. Michigan: Prentice Hall PTR, 2002.
- [6] W. Cao, J. Xu, J. Shan, and R. Sun, "Research and Application of Wireless Sensor Networks in Agriculture," *Advances in Intelligent System Reserach (AISR)*, vol. 145, no. 2, pp. 151–154, 2017.
- [7] T. Rajasekaran and S. Anandamurugan, "Challenges and Applications of Wireless Sensor Networks in Smart Farming—A Survey," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol. 750, pp. 353–361. doi: 10.1007/978-981-13-1882-5_30.
- [8] T. Bai, A. Alkhateeb, and R. W. Heath, "MILLIMETER-WAVE COMMUNICATIONS FOR 5G Coverage and Capacity of Millimeter-Wave Cellular Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 2, no. 1, p. 70, 2014.
- [9] Y. S. Meng and Y. H. Lee, "INVESTIGATIONS OF FOLIAGE EFFECT ON MODERN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS: A REVIEW," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 105, pp. 313–332, 2010.
- [10] H. Maisarah Rahim, C. Yen Leow, and T. Abd Rahman, "Millimeter Wave Propagation Through Foliage: Comparison of Models," in *2015 IEEE 12th Malaysia International Conference on Communications (MICC)*, 2015, pp. 236–240. Accessed: Sep. 29, 2022. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7725440>
- [11] D. L. Jones, R. H. Espeland, E. J. Violette, R. A. Mosbacher, and J. Obuchowski, "GHz Through a Conifer Orchard in Washington State," 1989.
- [12] L. E. Frenzel Jr, *Principles of Electronic Communication Systems*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016.
- [13] M. A. Weissberger, "An Initial Critical Summary of models for Predicting the attenuation of radio waves by trees ," *Electromagnetic Compatibility Analysis Centre*, vol. Report ESD-TR, pp. 81–101, Jun. 1982.
- [14] CCIR, "Influences of Terrain Irregularities and Vegetation on Troposphere Propagation," 1986.
- [15] D. Balachander, T. R. Rao, and G. Mahesh, "RF propagation experiments in agricultural fields and gardens for wireless sensor communications," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 39, pp. 103–118, 2013, doi: 10.2528/PIERC13030710.
- [16] M. O. Al-Nuaimi and R. B. L. Stephens, "Measurements and prediction model optimisation for signal attenuation in vegetation media at centimetre wave frequencies," *IEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 145, no. 3, pp. 201–206, 1998.
- [17] M. S. Frankel, "L-Band Forest Experiments," *Packet Radio Temporary Note*, 254, May 1978.