

LINK BUDGET PREDICTION AT 28 GHZ FREQUENCY BASED ON RAIN ATTENUATION MODEL IN PALEMBANG CITY

PREDIKSI LINK BUDGET PADA FREKUENSI 28 GHZ BERDASARKAN MODEL REDAMAN HUJAN DI KOTA PALEMBANG

Tarnita Rizky Prihandhita¹, Sopian Soim², Mohammad Fadhli³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Sriwijaya

Jalan Srijaya Negara, Palembang 30139

tarnitarizkyp@gmail.com¹, sopiansoim@gmail.com², mohammad.fadhli@polsri.ac.id³

Abstract - 5G communication technology brings a major leap in the development of wireless networks, especially through the utilization of millimeter wave frequencies. However, mmWave signals are very susceptible to rain attenuation, which can significantly reduce the quality of 5G services. This study aims to estimate how much signal loss and reception power there will be for 5G at a frequency of 28 GHz in Palembang City and to examine how rain affects the mmWave signals. MATLAB simulations use Palembang rainfall data for the March 2025 period and use the ITU-R P.618-5 rain attenuation model, Simple Attenuation Model, and ITU-R Tropical. Using the Urban Macro propagation scenario in line-of-sight and non-line-of-sight conditions. The results show that distance and rainfall affect signal attenuation, with NLOS conditions producing worse attenuation than LOS. At high rainfall of 84.5 mm/hour in NLOS conditions, ITU-R P.618-5 predicts the highest total path loss of about 317 dB, ITU-R Tropical about 247 dB, and SAM about 227 dB. With the received power of ITU-R P.618-5 model of -260 dBm, ITU-R Tropical of -190 dBm, and SAM of -170 dBm.

Keywords - 5G, 28 GHz, Rain Attenuation, Link Budget, Palembang.

Abstrak - Teknologi komunikasi 5G membawa lompatan besar dalam pengembangan jaringan nirkabel, terutama melalui pemanfaatan frekuensi millimeter wave. Namun, sinyal mmWave sangat rentan terhadap redaman hujan yang dapat menurunkan kualitas layanan 5G secara signifikan. Penelitian ini bertujuan memprediksi total path loss dan daya terima link budget 5G pada frekuensi 28 GHz di Kota Palembang dan menganalisis dampak redaman hujan terhadap propagasi sinyal mmWave. Simulasi MATLAB menggunakan data curah hujan Palembang periode Maret 2025 dan menggunakan model redaman hujan ITU-R P.618-5, Simple Attenuation Model, dan ITU-R Tropis. Menggunakan skenario propagasi Urban Macro dalam kondisi Line of Sight dan Non Line of Sight. Hasil menunjukkan bahwa jarak dan curah hujan memengaruhi pelemahan sinyal dengan kondisi NLOS menghasilkan pelemahan yang lebih buruk dibandingkan LOS. Pada curah hujan tinggi sebesar 84.5 mm/jam di kondisi NLOS, ITU-R P.618-5 memprediksi total path loss tertinggi sekitar 317 dB, ITU-R Tropis sekitar 247 dB dan SAM sekitar 227 dB. Dengan daya terima model ITU-R P.618-5 sebesar -260 dBm, ITU-R Tropis sebesar -190 dBm, dan SAM sebesar -170 dBm.

Kata Kunci - 5G, 28 GHz, Redaman Hujan, Link Budget, Palembang.

I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi generasi kelima merupakan lompatan besar dalam pengembangan jaringan nirkabel. Tujuan utama teknologi ini adalah untuk meningkatkan kecepatan data, mengurangi latensi, dan meningkatkan kapasitas jaringan untuk mendukung berbagai perangkat[1]. Pemanfaatan spektrum frekuensi yang lebih tinggi, yaitu gelombang milimeter (*millimeter wave*) pada pita frekuensi 28 GHz[2]. Frekuensi ini memberikan kecepatan transmisi data yang sangat tinggi dengan latensi rendah, yang sangat penting untuk berbagai aplikasi masa depan seperti *augmented reality*, kendaraan otonom, dan *Internet of Things* yang besar [3]. Namun, penggunaan frekuensi tinggi membawa tantangan tersendiri, khususnya terhadap faktor propagasi sinyal yang sangat rentan terhadap kondisi cuaca.

Kondisi cuaca, seperti hujan, merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi propagasi sinyal pada frekuensi tinggi [4]. Hal ini disebabkan oleh ukuran butiran air hujan yang sebanding dengan panjang gelombang sinyal, sehingga menyebabkan redaman hujan atau pelemahan sinyal pada frekuensi di atas 10 GHz, yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas layanan jaringan 5G [5]. Sebagai ibu kota Provinsi Sumatera Selatan, Kota Palembang memiliki curah hujan yang relatif tinggi [6], dengan begitu masalah redaman hujan menjadi semakin dibutuhkan dalam perencanaan dan operasional jaringan 5G. Meskipun lembaga standar internasional telah mengembangkan berbagai model prediksi redaman hujan untuk memastikan keandalan sistem, keakuratan model-model ini sangat bergantung pada data meteorologi dan karakteristik iklim lokal[7]. Oleh karena itu, permasalahan utama yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah bagaimana memprediksi dampak redaman hujan terhadap kinerja sistem komunikasi 5G pada frekuensi 28 GHz di lingkungan iklim tropis Palembang.

Studi sebelumnya telah menggunakan berbagai model prediksi redaman hujan, termasuk *Crane Global*, Model ITU-R P.618-5, Model ITU-R yang dimodifikasi khusus untuk lingkungan tropis, dan *Simple Attenuation Model* (SAM) [8]. Berdasarkan hal ini, penelitian ini akan menguji bagaimana redaman hujan memengaruhi kinerja sistem komunikasi 5G pada frekuensi 28 GHz. Simulasi akan dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan memanfaatkan data curah hujan historis dari Kota Palembang periode bulan Maret 2025. Model prediksi redaman hujan yang akan digunakan meliputi ITU-R P.618-5, *Simple Attenuation Model* (SAM), dan model ITU-R untuk lingkungan tropis. Penelitian ini juga secara spesifik berfokus pada skenario propagasi *Urban Macro* (UMA) sesuai rekomendasi 3GPP ETSI TR 38.901, dengan menggunakan dua kondisi, yaitu dalam kondisi *Line of Sight* dan *Non Line of Sight*. Proses analisis dilakukan melalui prediksi *link budget* yang mencakup estimasi total *path loss* serta perhitungan daya terima (*received power*) guna mengevaluasi kinerja sistem komunikasi 5G.

II. SIGNIFIKASI STUDI

A. Studi Literatur

Dalam penelitian sebelumnya, ada empat model prediksi redaman hujan ITU-R P.618-5, *Global Crane*, SAM, dan modifikasi ITU-R untuk daerah tropis dibandingkan dengan data pengukuran Surabaya. Studi ini secara khusus mengkaji komunikasi VSAT-TV yang beroperasi pada frekuensi Ku-Band dan C-Band. Hasilnya menunjukkan bahwa model *Global Crane* menunjukkan hasil pengukuran yang paling akurat untuk C-Band, dan model ITU-R Modifikasi menunjukkan hasil yang lebih akurat untuk Ku-Band di daerah tropis. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa redaman hujan pada C-Band memiliki dampak yang sangat minim pada sistem komunikasi, berbeda halnya dengan Ku-Band yang menunjukkan dampak lebih signifikan, terutama pada intensitas hujan sedang hingga lebat[8].

Selain itu, penelitian terkait dengan perancangan jaringan 5G New Radio (NR) pada frekuensi 2,3 GHz di wilayah urban Kota Cimahi. Studi ini menggunakan model propagasi 3GPP TR38.900 untuk menganalisis level sinyal untuk skenario *Urban Macro* (UMa) dengan kondisi *Non Line of Sight* [9]. Hasil simulasi dari studi ini mengindikasikan bahwa cakupan area dengan level sinyal yang diharapkan masih belum optimal untuk perencanaan jaringan seluler [9]. Studi sebelumnya juga telah mengkaji nilai *path loss* pada sistem jaringan 5G, khususnya dalam aspek fading skala besar, untuk menghitung cakupan layanan di wilayah urban mikro. Studi ini menggunakan berbagai model prediksi *path loss*, termasuk simulator NYUSIM, SUI, ABG, dan CI, dengan berbagai frekuensi kerja. Perbandingan antara model-model ini menunjukkan bahwa simulator NYUSIM seringkali memberikan nilai prediksi yang paling mirip dengan *path loss* rata-rata dari hasil pengukuran langsung, terutama di lingkungan perkotaan. Selain itu, ditemukan bahwa penggunaan frekuensi yang lebih tinggi biasanya menghasilkan nilai *path loss*, dan kondisi *Line of Light* secara signifikan lebih rendah dari dengan kondisi *Non Line of Sight* [2]. Penelitian tersebut belum sepenuhnya merepresentasikan karakteristik iklim tropis Palembang, khususnya perbandingan langsung model-model redaman hujan utama (ITU-R P.618-5, SAM, dan ITU-R Tropis) secara komprehensif pada frekuensi 28 GHz dengan data curah hujan Kota Palembang. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi sangat penting untuk mengidentifikasi model redaman hujan yang paling baik dan relevan untuk kondisi kota Palembang yang akan mendukung perencanaan jaringan 5G yang lebih efektif dan efisien.

B. Dasar Teori

1. Model Redaman Hujan

a. Model Redaman Hujan ITU-RP.618-5

Model ITU-R RP.618-5 digunakan untuk menghitung prediksi redaman hujan global untuk frekuensi hingga 30 GHz [8][10].

$$A = \gamma_R L_S r \text{ (dB)} \quad (1)$$

b. SAM (*Simple Attenuation Model*)

SAM adalah salah satu model prediksi redaman jalur miring yang paling banyak digunakan, yang menggabungkan karakteristik masing-masing jenis curah hujan stratiform dan konvektif [11]. Model SAM yang dikembangkan oleh Stutzman dan Dishman didasarkan pada bentuk rain rate yang berbentuk eksponensial [8][10].

$$A = \gamma L_S \quad \text{untuk } R \leq 10 \text{ mm/h} \quad (2)$$

$$A = \gamma \frac{1 - \exp[-\alpha \Gamma \ln(\frac{R}{10}) L_S \cos \theta]}{\Gamma \alpha \ln(\frac{R}{10}) \cos \theta} \quad \text{untuk } R \geq 10 \text{ mm/h} \quad (3)$$

c. Model ITU-R modifikasi untuk wilayah tropis

J.X. Yeo dan Y.H. Lee membuat model ini dengan mengubah model ITU-R yang sudah ada untuk memprediksi redaman hujan untuk wilayah tropis dengan curah hujan tinggi [8][10]. Berikut adalah persamaan menggunakan model ITU-R Modifikasi untuk tropis [12].

Menghitung faktor reduksi r , dimana jika $r < 1$ maka $r = 1$

$$r = \frac{1}{1 + 0,31 \sqrt{\frac{(L_G \gamma_R)}{f}} - 0,09(1 - e^{-2L_G})} \quad (4)$$

Hitung faktor reduksi v

$$v = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} [31 \left(1 - e^{-\left(\frac{\theta}{1+x} \right)} \right) \sqrt{\frac{(L_G \gamma_R)}{f}} - 0,5]} \quad (5)$$

dengan

$$\xi = \tan^{-1} \left[\frac{h_R h_s}{L_G r} \right] \quad (6)$$

$$L_R = \frac{(L_G r)}{\cos \theta} \quad \text{untuk } \xi > \theta \quad (7)$$

$$L_R = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad \text{untuk } \xi < \theta \quad (8)$$

Menghitung prediksi redaman hujan (dB).

$$A = \gamma_R L_S r v \text{ (dB)} \quad (9)$$

2. Model Propagasi 3GPP ETSI

Model propagasi 3GPP ETSI TR 138 901 digunakan untuk menghitung *path loss* selama transmisi dalam jaringan radio yang menggunakan frekuensi di atas 6 GHz [13]. Pemodelan ini relevan untuk pengembangan jaringan 5G di masa mendatang, khususnya yang menggunakan frekuensi *millimeter-wave (mmWave)*. Dalam penelitian ini, model propagasi ini diterapkan pada skenario *Urban Macro* dengan kondisi *Line of Sight* dan kondisi *Non Line of Sight*. Persamaan matematis berikut dapat digunakan untuk menulis model propagasi kondisi tersebut:

Line of Sight (LOS)

$$PL_{\text{Uma-LOS}} = \begin{cases} PL_1 & 10\text{m} \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5\text{km} \end{cases}$$

$$PL_1 = 28.0 + 22 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) \quad (10)$$

$$PL_2 = 28.0 + 40 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 9 \log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (11)$$

Non Line of Sight (NLOS)

$$PL_{\text{Uma-NLOS}} = \max(PL_{\text{Uma-LOS}}, PL'_{\text{Uma-NLOS}}) \text{ for } 10\text{m} \leq d_{2D} \leq 5\text{km} \quad (12)$$

$$PL'_{\text{Uma-NLOS}} = 13.54 + 39.08 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5) \quad (13)$$

C. Metode Penelitian

1. Pengumpulan Data

Proses ini dilakukan dengan cara mengambil data curah hujan dari Stasiun Meteorologi Sultan Mahmud Badaruddin II di Kota Palembang, Sumatera Selatan, yang dapat diakses melalui website resmi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)[14]. Data tersebut merepresentasikan kondisi curah hujan di Kota Palembang selama bulan Maret 2025. Dalam penelitian ini, digunakan lima kategori curah hujan yang mencerminkan berbagai kondisi intensitas hujan pada bulan Maret 2025 di wilayah Kota Palembang. Kelima kategori curah hujan tersebut dapat dilihat di Tabel I berikut ini.

Tabel I Data Intensitas Curah Hujan

No.	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	Kategori Curah Hujan
1.	0	Tidak Hujan
2.	0.2	Hujan Rendah
3.	3.5	Hujan Paling Sering
4.	12.5	Hujan Menengah
5.	84.5	Hujan Tertinggi

2. Lingkungan dan Parameter Simulasi

Penelitian ini menganalisis pengaruh redaman hujan terhadap kinerja jaringan 5G pada frekuensi 28 GHz dalam lingkungan *Urban Macro*, dengan studi kasus di Kota Palembang. Kota Palembang dipilih karena merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Selatan dengan kondisi geografis dan morfologi perkotaan yang kompleks. Wilayah ini memiliki luas sekitar 352,51 km² (35.200 hektare) dan dihuni oleh 1.801.367 jiwa berdasarkan data BPS Kota Palembang[15]. Secara administratif, kota ini terdiri dari 107 kelurahan dan 16 kecamatan, dengan karakteristik wilayah yang beragam seperti kawasan permukiman padat, pusat bisnis, bangunan tinggi, dan keberadaan Sungai Musi yang membelah kota. Keberagaman struktur bangunan dan kondisi topografi menjadikan Palembang sebagai lokasi yang sesuai untuk menguji performa jaringan 5G dalam skenario *Urban Macro* (UMa).

Studi ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan mengintegrasikan sejumlah parameter teknis dari penelitian sebelumnya untuk mengevaluasi dampak redaman hujan pada kinerja jaringan komunikasi 5G. Parameter-parameter ini mencakup frekuensi kerja 28 GHz, daya pancar, dan jarak antara pemancar dan penerima, serta data curah hujan lokal Palembang sebagai representasi kondisi cuaca aktual[16][17]. Penelitian ini menggunakan beberapa model untuk perhitungan redaman hujan, yaitu: model ITU-R P.618-5, *Simple Attenuation Model* (SAM), dan model ITU-R yang dimodifikasi untuk wilayah beriklim tropis. Model propagasi 3GPP ETSI TR 138 901 diterapkan pada area *Urban Macro* (UMa) dalam kondisi *Line of Sight* dan kondisi *Non Line of Sight* untuk perhitungan *path loss*.

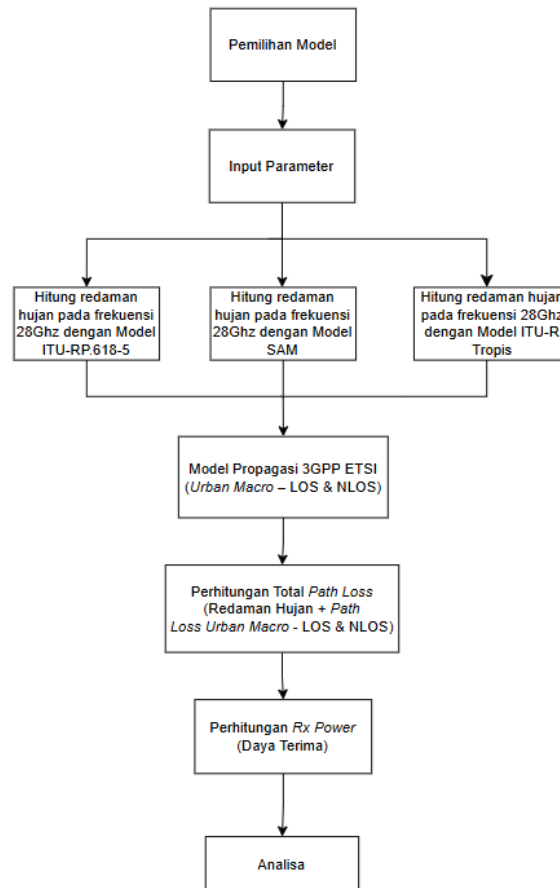
Perhitungan redaman hujan dan *path loss* kemudian digabungkan untuk memperoleh nilai total *path loss*, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan daya terima dari berbagai model redaman hujan. Metode ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif bagaimana redaman hujan memengaruhi kinerja sistem komunikasi 5G, khususnya di daerah tropis yang sering mengalami cuaca ekstrem. Dalam simulasi, ambang batas putus daya terima (-100 dBm) ini didasarkan pada referensi dari [18], di mana daya terima di bawah nilai tersebut menunjukkan degradasi koneksi signifikan hingga potensi kegagalan. Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi ini merupakan asumsi dari penelitian sebelumnya dan disajikan secara rinci pada Tabel II berikut ini[18].

TABEL II
PARAMETER.PARAMETER PERHITUNGAN SIMULASI [13] [18]

Parameter	Nilai
Frekuensi (GHz)	28
<i>Tx-Power</i> (dBm)	30
hUT (m)	2
hBS (m)	25
h (m)	10
Gt (dBi)	15
Gr (dBi)	15
d (m)	5000

3. Alur Penelitian

Pada Gambar 1. merupakan diagram alur kerja simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menganalisis Prediksi link budget pada Frekuensi 28 GHz berdasarkan Model Redaman Hujan di Kota Palembang.



Gambar 1. Diagram Alur Kerja Simulasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Path loss dari Model Redaman Hujan

1. Perbandingan Total Path loss (dB) pada Curah Hujan (0.2 mm/jam)

Tabel III merupakan representasi dari hasil perhitungan total *path loss* berdasarkan tingkat intensitas curah hujan terendah (0.2 mm/jam) pada Bulan Maret 2025 Kota Palembang.

TABEL III
PERBANDINGAN TOTAL *PATH LOSS* (DB) PADA CURAH HUJAN (0.2 MM/JAM)

Skenario	Jarak (m)	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	ITU-RP.618-5	SAM	ITU-Tropis
LOS	1040	0.2	125	124	123
LOS	2030	0.2	131	130	130
LOS	3020	0.2	135	134	134
LOS	4010	0.2	138	137	136
LOS	5000	0.2	140	139	138
NLOS	1040	0.2	162	161	160
NLOS	2030	0.2	173	172	172
NLOS	3020	0.2	180	179	178
NLOS	4010	0.2	185	183	183
NLOS	5000	0.2	188	187	187

Pada kondisi curah hujan rendah (0.2 mm/jam), hasil simulasi dengan ketiga model redaman hujan menunjukkan bahwa total *path loss* meningkat seiring bertambahnya jarak dan menyebabkan sinyal melemah, baik pada kondisi LOS maupun NLOS. Sebagai contoh, *path loss* meningkat dari 125 dB (1040 m) menjadi 140 dB (5000 m) pada kondisi LOS. Sementara pada kondisi NLOS, *path loss* meningkat jauh lebih tinggi yaitu 162 dB (1040 m) menjadi 188 dB (5000 m). Perbedaan signifikan pada kondisi NLOS menunjukkan bahwa penghalang fisik sangat berpengaruh terhadap pelemahan sinyal. Meskipun demikian, pada curah hujan ringan ini, perbedaan nilai *path loss* antara ketiga model redaman hujan relatif minim (1-2 dB), dengan model ITU-RP.618-5 seringkali sedikit lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa jarak dan keberadaan penghalang adalah faktor utama yang harus diperhitungkan dalam perancangan jaringan komunikasi, bahkan pada kondisi curah hujan rendah.

2. Perbandingan Total *Path loss* (dB) pada Curah Hujan (12.5 mm/jam)

Tabel IV merupakan representasi dari hasil perhitungan total *path loss* berdasarkan tingkat intensitas curah hujan menengah (12.5 mm/jam) pada Bulan Maret 2025 Kota Palembang.

TABEL IV
PERBANDINGAN TOTAL *PATH LOSS* (DB) PADA CURAH HUJAN (12.5 MM/JAM)

Skenario	Jarak (m)	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	ITU-RP.618-5	SAM	ITU-Tropis
LOS	1040	12.5	188	133	132
LOS	2030	12.5	195	139	138
LOS	3020	12.5	199	143	142
LOS	4010	12.5	201	146	145
LOS	5000	12.5	203	148	147
NLOS	1040	12.5	225	169	169
NLOS	2030	12.5	236	181	180
NLOS	3020	12.5	243	187	187
NLOS	4010	12.5	248	192	192
NLOS	5000	12.5	252	196	195

Pada kondisi curah hujan menengah (12.5 mm/jam), peningkatan curah hujan secara signifikan memperburuk total *path loss* dibandingkan dengan kondisi hujan ringan sebelumnya. Pelemahan sinyal akibat jarak tetap konsisten, dimana semakin jauh jarak, maka semakin lemah sinyal yang diterima. Kondisi *Line of Sight* (LOS) juga tetap menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan *Non Line of Sight* (NLOS). Perbedaan paling terlihat pada curah hujan ini adalah perbedaan prediksi antar model redaman hujan. Model ITU-R P.618-5 memprediksi total *path loss* yang jauh lebih tinggi dibandingkan model SAM dan ITU-R Tropis. Sebagai contoh, pada LOS di jarak 5000 m, ITU-R P.618-5 memprediksi total *path loss* sebesar 203 dB, sementara SAM hanya 148 dB, dan ITU-R Tropis 147 dB. Perbedaan yang mencapai 55 dB ini sangat krusial.

3. Perbandingan Total *Path loss* (dB) pada Curah Hujan (84.5 mm/jam)

Tabel V merupakan representasi dari hasil perhitungan total *path loss* berdasarkan tingkat intensitas curah hujan tertinggi (84.5 mm/jam) pada Bulan Maret 2025 Kota Palembang.

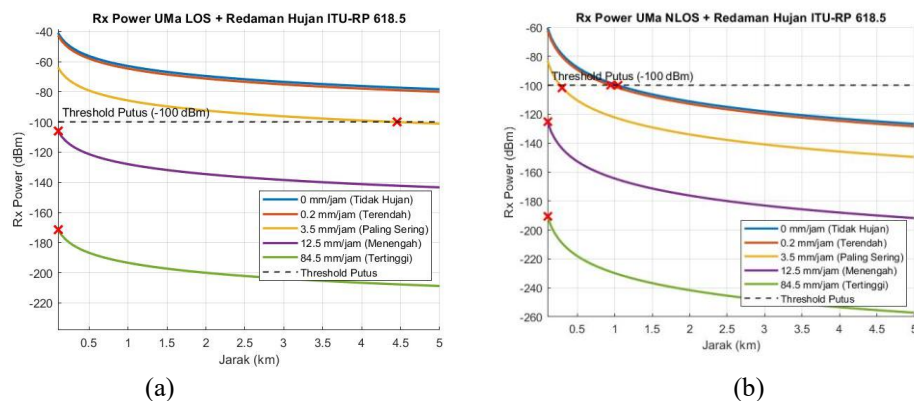
TABEL V
PERBANDINGAN TOTAL *PATH LOSS* (DB) PADA CURAH HUJAN (84.5 MM/JAM)

Skenario	Jarak (m)	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	ITU-RP.618-5	SAM	ITU-Tropis
LOS	1040	84.5	254	164	184
LOS	2030	84.5	260	170	190
LOS	3020	84.5	264	174	194
LOS	4010	84.5	267	176	197
LOS	5000	84.5	269	179	199
NLOS	1040	84.5	291	200	220
NLOS	2030	84.5	302	212	232
NLOS	3020	84.5	309	218	238
NLOS	4010	84.5	313	223	243
NLOS	5000	84.5	317	227	247

Pada curah hujan tinggi (84.5 mm/jam), terjadi peningkatan total *path loss* yang sangat drastis, jauh melampaui dampak hujan ringan atau sedang. Pelemahan sinyal akibat jarak tetap konsisten, dimana sinyal melemah seiring bertambahnya jarak. Kondisi NLOS jauh lebih buruk dibandingkan kondisi LOS. Sebagai contoh, total *path loss* model ITU-R P.618-5 pada kondisi NLOS dapat mencapai 317 di jarak 5000 m. Model ITU-R P.618-5 secara konsisten memprediksi total *path loss* tertinggi, mencapai 269 dB pada LOS di jarak 5000 m. Model ITU-R Tropis juga menunjukkan total *path loss* yang lebih tinggi daripada SAM yang mencapai 199 dB pada LOS jarak 5000 m, namun masih lebih rendah dari ITU-R P.618-5. Perbedaan besar antar model ini mencerminkan karakteristik spesifik masing-masing model dalam menghadapi curah hujan tinggi. Untuk lingkungan kota seperti Palembang, perancangan jaringan telekomunikasi adalah tantangan besar yang memerlukan pertimbangan terhadap redaman sinyal yang sangat parah untuk memastikan komunikasi tetap berjalan.

B. Perbandingan Received Power UMa (LOS/NLOS) + Model Redaman Hujan

1. Received Power UMa + Redaman Hujan ITU-RP.618-5

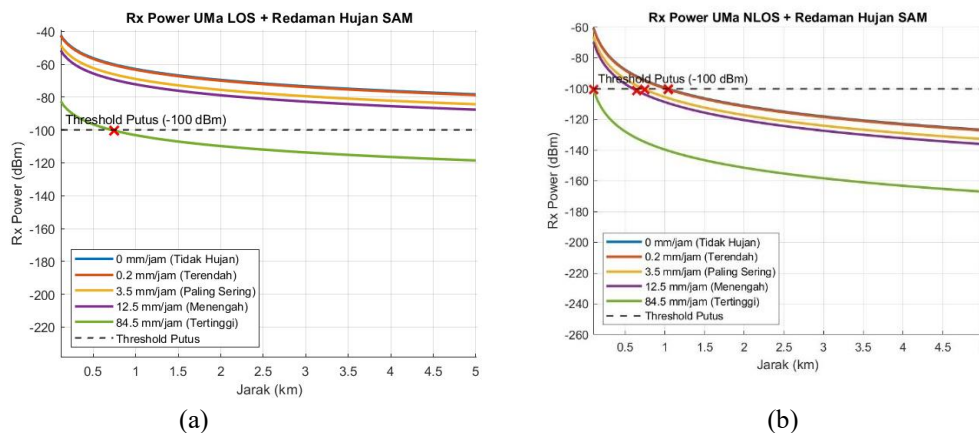


Gambar 2. (a) Received Power UMa LOS + Redaman Hujan ITU-RP.618-5, (b) Received Power UMa NLOS + Redaman Hujan ITU-RP.618-5

Dari Gambar 2 (a) dan (b) yang menampilkan daya terima dengan model ITU-R P.618-5, terlihat jelas bahwa jarak dan curah hujan adalah dua faktor yang secara signifikan memengaruhi daya terima sinyal. Pada kondisi LOS (Gambar 2a), daya terima menurun seiring bertambahnya jarak. Peningkatan curah hujan secara drastis menurunkan daya terima pada semua jarak. Titik kritis di mana daya terima jatuh di bawah ambang batas -100 dBm terjadi lebih cepat pada intensitas hujan yang lebih tinggi. Misalnya, pada hujan rendah (0.2 mm/jam), koneksi LOS masih bisa dipertahankan hingga jarak sekitar 5000 m. Namun, pada hujan menengah (12.5 mm/jam) sinyal

sudah di bawah ambang batas putus. Kondisi NLOS (Gambar 2b) memperburuk secara signifikan karena daya terima awal yang cenderung lebih rendah. Akibatnya, ambang batas putus -100 dBm tercapai pada jarak yang jauh lebih pendek dibandingkan kondisi LOS untuk curah hujan yang sama. Misalnya, pada hujan rendah (0.2 mm/jam), NLOS hanya bisa dipertahankan hingga sekitar 1000 m, jauh lebih pendek dari LOS. Pada hujan menengah (12.5 mm/jam), koneksi NLOS tidak bisa dipertahankan bahkan pada jarak terdekat. Untuk memastikan integritas dan keandalan komunikasi 5G, terutama dalam kondisi NLOS, diperlukan jarak yang sangat optimal, serta strategi mitigasi dampak redaman hujan.

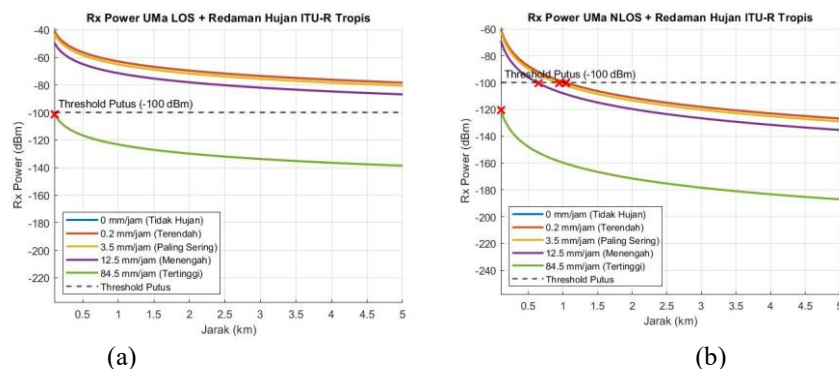
2. Received Power UMa + Redaman Hujan SAM



Gambar 3. (a) *Received Power UMa LOS + Redaman Hujan SAM*, (b) *Received Power UMa NLOS + Redaman Hujan SAM*

Analisis grafik daya terima menggunakan model SAM (Gambar 3a dan 3b) menunjukkan hal yang serupa dengan ITU-R P.618-5, di mana peningkatan jarak dan curah hujan menurunkan daya terima, dan kondisi NLOS selalu lebih buruk daripada kondisi LOS. Namun, perbandingan langsung dengan model ITU-R P.618-5 (Gambar 2) bahwa model SAM cenderung menunjukkan kinerja daya terima yang sedikit lebih baik atau jangkauan yang lebih luas pada curah hujan yang sama. Sebagai contoh, pada hujan menengah (12.5 mm/jam) di kondisi LOS, model SAM memprediksi daya terima yang memungkinkan koneksi hingga jarak sekitar 5000 m, lebih jauh dibandingkan prediksi model ITU-R P.618-5. Perbedaan ini menjadi lebih terlihat pada curah hujan tinggi. Hal ini disebabkan oleh prediksi *path loss* yang lebih rendah oleh model SAM dibandingkan ITU-R P.618-5, seperti yang telah dibahas pada Bagian A. Meskipun SAM memberikan estimasi jangkauan yang lebih bagus, keterbatasan jangkauan sinyal tetap signifikan, terutama dalam kondisi NLOS dimana ambang batas putus (-100 dBm) masih cepat tercapai pada jarak yang relatif pendek.

3. Received Power UMa + Redaman Hujan ITU-R Tropis



Gambar 4. (a) *Received Power UMa LOS + Redaman Hujan ITU-R Tropis*, (b) *Received Power UMa NLOS + Redaman Hujan ITU-R Tropis*

Dari Gambar 4 (a) dan (b) yang menunjukkan daya terima dengan model ITU-R Tropis, dengan penurunan daya terima akibat jarak dan curah hujan tetap konsisten. Kondisi NLOS secara signifikan mempercepat pencapaian ambang batas putus karena daya sinyal awal yang sudah lebih rendah. Jika dibandingkan dengan ITU-R P.618-5 dan SAM, model ITU-R Tropis memperlihatkan karakteristik yang berbeda. Pada curah hujan rendah, kinerjanya serupa dengan SAM, dan sedikit lebih baik dari ITU-R P.618-5. Namun, pada curah hujan yang tinggi (84.5 mm/jam), model ITU-R Tropis memprediksi daya terima yang menunjukkan redaman lebih besar daripada SAM, namun relatif sebanding atau sedikit lebih baik dibandingkan model ITU-R P.618-5. Sebagai contoh, pada kondisi LOS jarak 5000 m dengan curah hujan 84.5 mm/jam, daya terima berdasarkan ITU-R Tropis berada di sekitar -140 dBm, yang sedikit lebih baik daripada prediksi ITU-R P.618-5 sekitar 210 dBm, namun lebih buruk dari SAM sekitar 120 dBm. Model ITU-R Tropis menjadi sangat relevan karena dirancang untuk menggambarkan kondisi iklim tropis secara lebih akurat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis *total path loss* dan daya terima sinyal pada frekuensi 28 GHz menggunakan model propagasi *Urban Macro* (UMa) dengan data historis curah hujan Kota Palembang (periode Maret 2025), serta perbandingan tiga model redaman hujan (ITU-R P.618-5, SAM, dan ITU-R Tropis), dapat disimpulkan bahwa jarak dan curah hujan merupakan faktor paling dominan yang secara signifikan memengaruhi pelemahan sinyal, berpotensi menyebabkan putusnya koneksi jaringan 5G. Kondisi NLOS secara konsisten menunjukkan pelemahan sinyal yang jauh lebih buruk dibandingkan kondisi LOS karena daya terima awal yang lebih rendah dan mempercepat pencapaian batas ambang putus sinyal (-100 dBm). Pada curah hujan tinggi sebesar 84.5 mm/jam di kondisi NLOS, ITU-R P.618-5 memprediksi *total path loss* tertinggi sekitar 317 dB, ITU-R Tropis sekitar 247 dB dan SAM sekitar 227 dB. Dengan daya terima model ITU-R P.618-5 sebesar -260 dBm, ITU-R Tropis sebesar -190 dBm, dan SAM sebesar -170 dBm. Model ITU-R P.618-5 memprediksi pelemahan sinyal yang secara signifikan lebih tinggi, mencerminkan sifat globalnya yang mungkin lebih konservatif. Sementara itu, model SAM menunjukkan kinerja daya terima yang sedikit lebih baik atau jangkauan yang lebih luas dibandingkan model ITU-R P.618-5, khususnya pada kondisi LOS. Model ITU-R Tropis yang dirancang untuk iklim tropis menunjukkan redaman akibat hujan yang lebih besar dari SAM, namun relatif sebanding atau sedikit lebih baik dibandingkan model ITU-R P.618-5 pada curah hujan yang sangat tinggi. Penelitian ini menekankan bahwa memilih model redaman hujan yang sesuai dan strategi penanggulangan yang tepat sangat penting agar jaringan 5G di Palembang dapat dirancang dan berfungsi secara optimal, mengingat kota ini berada di wilayah beriklim tropis. Meskipun demikian, pengukuran di lapangan secara langsung di Kota Palembang tetap disarankan untuk memvalidasi hasil simulasi ini, mengidentifikasi model redaman hujan yang paling akurat, dan mendapatkan karakteristik propagasi sinyal 5G yang lebih presisi pada kondisi lingkungan nyata. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan frekuensi *millimeter wave* lainnya, seperti di frekuensi 39 GHz atau 60 GHz untuk melihat dampak redaman hujan pada frekuensi yang berbeda.

REFERENSI

- [1] I. Parvez, A. Rahmati, I. Guvenc, A. I. Sarwat, and H. Dai, "A survey on low latency towards 5G: RAN, core network and caching solutions," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 20, no. 4, pp. 3098–3130, 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2841349.
- [2] D. ARYANTA, "Analisis Prediksi *Path loss* Teknologi Seluler 5G Pada Sel Micro Urban Wilayah Kota Bandung," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 3, p. 1105

- 548, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i3.548.
- [3] N. Haidar Hari, F. P. Eka Putra, U. Hasanah, S. R. Sutarsih, and Riyan, "Transformasi Jaringan Telekomunikasi dengan Teknologi 5G: Tantangan, Potensi, dan Implikasi," *J. Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 146–150, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.357.
 - [4] M. A. Samad, F. D. Diba, and D. Y. Choi, "A survey of rain attenuation prediction models for terrestrial links—current research challenges and state-of-the-art," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1–28, 2021, doi: 10.3390/s21041207.
 - [5] E. S. dan G. H. M. Yahya Batubara, "Komputasi Penghamburan dan Penyerapan Gelombang Elektromagnetik karena Titik Hujan dengan Metode Analitis pada Frekuensi diatas 10 GHz," vol. 1, 2012.
 - [6] K. J. Miraswan and M. Utari, "Perbandingan Prediksi Curah Hujan Kota Palembang Menggunakan Metode Fuzzy Time Series Chen dan Lee," vol. 17, no. 1, pp. 214–227, 2025.
 - [7] E. Alozie *et al.*, "A Review on Rain Signal Attenuation Modeling, Analysis and Validation Techniques: Advances, Challenges and Future Direction," *Sustain.*, vol. 14, no. 18, 2022, doi: 10.3390/su141811744.
 - [8] E. Nurdiansyah and A. Mauludiyanto, "Analisis Redaman Hujan pada Frekuensi C-Band dan Ku-Band untuk Komunikasi VSAT-TV pada Daerah Tropis," *J. Tek. Its*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2017.
 - [9] H. Yuliana, F. M. Santoso, S. Basuki, and M. R. Hidayat, "Analisis Model Propagasi 3GPP TR38.900 Untuk Perencanaan Jaringan 5G New Radio (NR) Pada Frekuensi 2300 MHz di Area Urban," *Telekontran, Vol. 10, No. 2, Oktober 2022*, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/download/8233/3321>.
 - [10] A. Sabrina, R. Hayati, and A. Fauziah, "Analisis pemodelan redaman hujan pada frekuensi 10 GHz di kota Lhokseumawe," *J. TEKTR0*, vol. 5, no. 1, pp. 50–54, 2021.
 - [11] A. I. Yussuff and N. H. Khamis, "Rain Attenuation Modelling and Mitigation in The Tropics: Brief Review," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 6, pp. 748–757, 2012, doi: 10.11591/ijece.v2i6.1222.
 - [12] J. X. Yeo, Y. H. Lee, and J. T. Ong, "Modified ITU-R slant path rain attenuation model for the tropical region," *ICICS 2009 - Conf. Proc. 7th Int. Conf. Information, Commun. Signal Process.*, pp. 40–43, 2009, doi: 10.1109/ICICS.2009.5397704.
 - [13] T. Report, "TR 138 901 - V17.0.0 - 5G; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (3GPP TR 38.901 version 17.0.0 Release 17)," *Etsi Ts*, vol. 0, no. 17.0.0, p. 100, 2022.
 - [14] "Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)," [Online]. Available: <https://dataonline.bmkg.go.id/data-harian>
 - [15] F. Akbar, *Kota Palembang Dalam angka 2025*. BPS KOTA PALEMBANG/BPS-Statistics of Palembang Municipality, 2025.
 - [16] K. Ni'amah, R. D. Wahyuningrum, and S. Larasati, "Broadband Channel Based on Polar Codes At 2.3 GHz Frequency for 5G Networks in Digitalization Era," *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 247–257, 2022, doi: 10.31289/jite.v6i1.7310.
 - [17] A. Sanriko, U. Kurniawan, and M. I. Maulana, "Prediksi Point To Point *Path loss* Pada Frekuensi 28 Ghz Di Tanjung Karang," vol. 8, no. 6, pp. 3792–3800, 2022.
 - [18] M. K. Samimi and T. S. Rappaport, "Characterization of the 28 GHz Millimeter-Wave Dense Urban Channel for Future 5G Mobile Cellular," *NYU Wirel. TR*, vol. 1, p. 322, 2014.