

ANALISA DAN PERHITUNGAN REDAMAN HUJAN PADA LINK RADIO 2,4GHZ DENGAN ARAH LINK BERLAWANAN DENGAN ARAH ANGIN DI DAERAH MATARAM

Valian P.A¹, I Putu Hariyadi², Galih H.M

(1, 2, 3) STMIK Bumigora Mataram

Jl. Ismail Marzuki, Cakranegara, Mataram, NTB (0370)-638639

Abstrak

Abstrak Tropic area, such as the city of Mataram, generally has heavy rainfall which causes propagation attenuation affecting communication network system mainly on terrestrial radio link. Due to such a condition, it requires a design of network system that is reliable and also resistant to such a rain condition. Before designing, it is important to determine the characteristics and real circumstances on the area by means of capturing rainfall and rain attenuation data. Rainfall is closely related to attenuation, because the higher the rainfall, the higher the attenuation occurs.

The use of 2.4 GHz radio devices in Mataram is relatively very high, both as a backbone and local access. Therefore, it is necessary to obtain information concerning rain attenuation on the radio link with a frequency of 2.4 GHz in the city of Mataram to be used as means for designing terrestrial radio communication network system. The recent study will carry out a rain attenuation measurement either by direct method or by SST (Synthetic Storm Technique) method on the 2.4 GHz radio link in the city of Mataram to provide a comparison of rain attenuation along the link considering wind direction and speed.

2.4 GHz radio link will be built on the campus of STMIK Bumigora Mataram with 47.47 meters link distance and its direction is opposite to the direction of the wind. Then, empirical rain attenuation measurement is carried out along the links and its result will be compared with the result of SST calculation on rain attenuation processed by Matlab, in which the data of the rainfall, wind speed, and its direction are obtained from BMKG Kediri Mataram.

(10pt)

Key word : Synthetic Storm Technique , rain attenuation analysis, 2.4 GHz radio link

1. Pendahuluan

Hujan merupakan fenomena yang menjadi bagian dari siklus air yang berlangsung secara alamiah. Sebagai akibat dari penguapan air di permukaan bumi, uap yang terkumpul bersama-sama pada ketinggian tertentu akan mengalami kondensasi dan jatuh kembali ke permukaan bumi sebagai hujan. Pada sistem komunikasi gelombang radio, hujan menyebabkan redaman propagasi. Di daerah beriklim tropis, curah hujan pada link radio menjadi parameter yang perlu diperhatikan, karena intensitas hujan di daerah tropis lebih besar dari daerah beriklim lainnya [1].

Suatu sistem jaringan komunikasi khususnya pada radio *terrestrial* sangat diperlukan desain yang handal dan tahan terhadap kondisi hujan di Indonesia, karena Indonesia termasuk negara yang beriklim tropis [2]. Sebelum langkah desain dilakukan maka perlu untuk mengetahui karakteristik dan keadaan nyata di lapangan dengan cara pengambilan data curah hujan dan redaman hujan. Curah hujan yang terjadi erat kaitannya dengan redaman, karena semakin tinggi curah hujan yang terjadi maka semakin tinggi pula redaman yang terjadi [3]. Untuk mengurangi dampak redaman ini maka daya stasiun pemancar harus disesuaikan selama terjadinya redaman untuk mengimbangi perubahan redaman hujan.

Salah satu metode yang digunakan adalah kontrol daya adaptif, dimana daya yang dikeluarkan pemancar bertambah untuk mengatasi *fading* yang terjadi, sehingga akses daya akan konstan selama adanya *fading* [4]. Namun, kelayakan penerapan metode ini masih harus diuji terlebih dahulu. Salah satu metode pengujiannya adalah dengan mensimulasikan suatu sistem nirkabel dalam kondisi hujan [5].

Di kota Mataram khususnya, penggunaan perangkat radio dengan frekuensi 2.4 GHz sudah sangat tinggi, baik digunakan sebagai *backbone* maupun *local access*. Sehingga diperlukan informasi redaman hujan terhadap link radio dengan frekuensi 2.4 GHz di kota Mataram untuk kebutuhan desain sistem jaringan komunikasi radio *terrestrial*. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan uji coba secara langsung maupun dengan metode SST (*Synthetic Storm Technique*) untuk menghitung nilai redaman hujan pada link radio 2.4 GHz di daerah kota Mataram.

Link radio 2.4 GHz akan dibangun di kampus STMIK Bumigora Mataram dengan jarak link 47.47 m dan arah link berlawanan dengan arah angin. Pengukuran redaman hujan secara empiris dan metode SST (*Synthetic Storm Technique*) dilakukan untuk memberikan perbandingan redaman hujan sepanjang link dengan mempertimbangkan arah dan kecepatan angin.

Berbagai Penelitian telah dilakukan untuk menghitung redaman hujan seperti [6][7] telah membuat rumusan empiris untuk perhitungan redaman hujan di rentang frekuensi 0.6 – 100 GHz. Dalam penelitian tersebut penting untuk mempertimbangkan efek dari ukuran air hujan di setiap daerah. Berbagai perbaikan terhadap model perhitungan ITU-R [8] juga telah dilakukan seperti menggunakan distribusi curah hujan yang lengkap sebagai data input untuk mengatasi keterbatasan model ITU-R [9] dan model [10] dapat diterapkan untuk sudut elevasi yang berbeda.

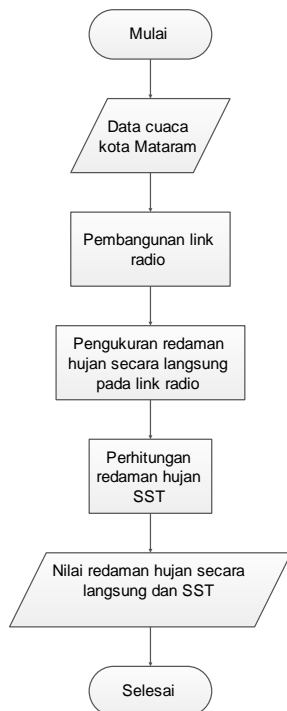
Perhitungan redaman hujan pada lintasan terestrial juga telah banyak dilakukan seperti pernah dilakukan di Afrika Selatan yang menghitung redaman hujan di zona iklim yang berbeda dengan menggunakan model redaman yang sudah ada [11] dan juga metode yang menggunakan konsep curah hujan efektif sehingga menghindari fungsi perhitungan yang bergantung pada persentase waktu [12]. Di Surabaya juga pernah dilakukan penelitian redaman hujan menggunakan link radio 28 GHz sepanjang 56 m [13].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh nilai redaman hujan pada lintasan radio 2.4 GHz di kota Mataram berdasarkan metode empiris dan SST (*Synthetic Storm Technique*).

2. Metodologi

2.1 Alur Penelitian

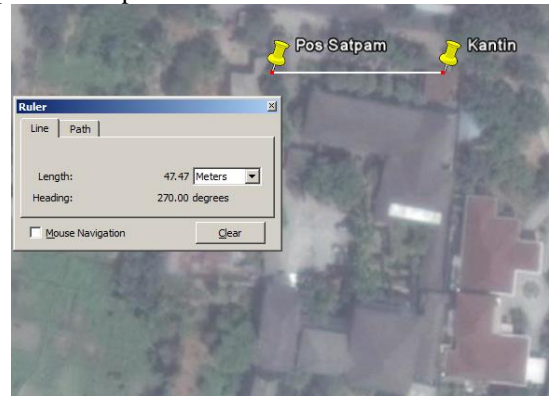
Adapun rancangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Penelitian

2.2 Pengukuran Redaman Hujan secara langsung

Pengukuran redaman hujan menggunakan sebuah link radio 2.4 GHz yang terdiri dari pemancar dan penerima. Link radio yang akan dibangun terletak di dalam kampus STMIK Bumigora Mataram, dimana pemancar (Tx) akan ditempatkan di lantai 2 kantin STMIK Bumigora dengan koordinat 8° 35' 28.72" S, 116° 06' 59.76" E, sedangkan penerima (Rx) berada di lantai 2 pos satpam STMIK Bumigora dengan koordinat 8° 35' 28.71" S, 116° 06' 58.19" E. Jarak pemancar dan penerima adalah 47.47 meter, dipastikan tidak terhalang oleh apapun. Arah link adalah timur – barat, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Pemancar dan Penerima

Pengukuran redaman hujan dilakukan di sisi penerima (Rx), dimana sinyal yang diterima di penerima (Rx) dihubungkan langsung dengan spektrum analyzer, sehingga besaran sinyal dapat terbaca. Pengukuran besaran sinyal yang diterima di penerima ini atau yang disebut RSL (Receive Signal Level) dilakukan secara manual karena *spectrum analyzer* riskan jika dinyalakan secara terus menerus, sehingga pengukuran yang dilakukan maksimal 24 jam dan setelah itu *spectrum analyzer* diistirahatkan beberapa jam sebelum dinyalakan kembali. Besaran sinyal yang terukur, dengan satuan dBm. Besaran sinyal diukur dengan sampling 1 detik. Data sinyal yang dihasilkan tersebut disimpan di hard disk *spectrum analyzer* dalam format *file txt*. Data tersebut masih merupakan besar sinyal yang diterima (RSL) di *Receiver*.

Untuk mendapatkan nilai redaman hujan dengan cara mengurangkan RSL pada saat hujan dengan RSL pada saat cuaca bagus (*clear sky*), dapat ditulis dengan persamaan:

$$A = P_h - P_b \quad (1)$$

Dengan A menyatakan redaman hujan, P_h menyatakan besarnya sinyal yang diterima saat terjadi hujan, dan P_b adalah besarnya sinyal yang diterima saat kondisi cuaca baik.

2.3 Perhitungan Redaman Hujan dengan Metode SST

Dalam perhitungan redaman hujan dengan metode SST pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data

curah hujan, data kecepatan angin (v_r) dan besar sudut (θ) diperoleh dari data BMKG Kediri Mataram sesuai dengan jam, tanggal, dan bulan pengukuran. Data curah hujan, kecepatan angin dan besarnya sudut tersebut berupa file excel. Kemudian, perhitungan redaman hujan (A) menggunakan Matlab yang sebelumnya terlebih dahulu data kecepatan angin (v_r) dan sudut (θ) formatnya disesuaikan dengan Matlab agar dapat dipanggil ke dalam perhitungan redaman hujan yang juga menggunakan Matlab.

3. Pembahasan

3.1 Redaman Hujan

Hujan mengakibatkan penghamburan gelombang radio sehingga muncul redaman. Hujan akan menyebabkan energi gelombang mikro mengalami penghamburan (*scatter*) dan penyerapan (*absorpsi*) sepanjang lintasan komunikasi [14].

Daerah tropis merupakan suatu kawasan yang mempunyai curah hujan yang sangat tinggi, maka redaman yang sangat berpengaruh adalah redaman yang disebabkan oleh hujan. Pada sistem transmisi pada kondisi hujan, antena transmitter akan memancarkan elektromagnetik yang bertabrakan dengan titik-titik hujan sehingga akan terjadi beberapa fenomena seperti redaman, *depolarisasi* gelombang dan *scattering*.

Untuk dapat mengetahui proses dan besarnya gangguan gelombang elektromagnetik perlu diketahui kondisi hujan dan parameter-parameter yang mempengaruhi redaman hujan seperti panjang lintasan gelombang, frekuensi dan sudut elevasi yang digunakan, karena semakin tinggi intensitas hujan dan semakin tinggi frekuensi yang digunakan akan mengakibatkan semakin tinggi redaman yang akan mengakibatkan menurunnya nilai link availability.

Redaman hujan menyebabkan perambatan gelombang radio melalui medium udara mengalami penurunan dalam kualitas komunikasi akibat terjadinya hujan. Untuk dapat mengetahui proses dan besarnya gangguan gelombang mikro oleh hujan, perlu diketahui parameter hujan yang mempengaruhi terjadinya redaman hujan misalnya intensitas curah hujan. Salah satu akibat dari redaman hujan adalah terjadinya pelemahan sinyal yang disebut fading. Fading yang terjadi dapat mengganggu sistem komunikasi gelombang millimeter. Ada dua hal yang berpengaruh dalam perhitungan fading yaitu fade slope dan fade duration [15].

3.2 Redaman Spesifik

Redaman hujan pada link radio di suatu daerah, dapat dihitung dengan melakukan pengukuran curah hujan di daerah tersebut. Dalam melakukan perhitungan redaman hujan terhadap sinyal radio, perlu diketahui frekuensi dari sinyal tersebut. Redaman spesifik sesuai dengan ITU-R P.838-3 [8], dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\gamma_R = kR^\alpha \tag{2}$$

dengan γ_R menyatakan redaman spesifik (dB/km), k dan α menyatakan koefisien redaman hujan yang tergantung dari frekuensi dan polarisasi, dan R adalah curah hujan (mm/h).

Nilai koefisien k dan α dapat dilihat pada tabel 2.1. Koefisien k dan α , masing-masing terdiri dari dua jenis yang tergantung dari polarisasi antena, yaitu polarisasi vertical dan horizontal. Nilai-nilai koefisien tersebut dapat diperoleh dengan persamaan:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2 \tau] / 2 \tag{3}$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2 \tau] / 2k \tag{4}$$

Dengan θ adalah sudut elevasi dan τ adalah sudut miring polarisasi relative terhadap horizontal ($\tau = 45^\circ$ untuk polarisasi *circular*)

Tabel 1 Koefisien untuk Estimasi Redaman Hujan Spesifik [8]

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.9490
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.0001340	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882
6	0.0007056	1.5900	0.0004878	1.5728
7	0.001915	1.4810	0.001425	1.4745
8	0.004115	1.3905	0.003450	1.3797
9	0.007535	1.3155	0.006691	1.2895
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156

3.3 Metode Synthetic Storm Technique (SST)

Redaman hujan SST adalah perhitungan redaman hujan dengan cara mengkonversi intensitas hujan sebagai fungsi waktu menjadi intensitas hujan sebagai fungsi ruang dengan menggunakan estimasi dari kecepatan perpindahan angin (*storm*) dan transformasi waktu menjadi jarak.

Metode *Synthetic Storm Technique* (SST) didekati sebagai suatu intensitas curah hujan sebagai fungsi dari panjang suatu lintasan/link (Km) yang mana hujan tersebut bergerak sepanjang lintasan karena adanya pergerakan dari angin dengan kecepatan tertentu [16].

Dalam hal ini, memprediksi statistik redaman hujan pada lintasan terestrial dari data intensitas curah hujan merupakan suatu hal yang penting untuk dipertimbangkan selama beberapa tahun terakhir dan akan dikembangkan secara luas dengan teori dan hasil percobaan.

Dalam perhitungan redaman hujan SST digunakan beberapa asumsi seperti berikut:

1. Struktur spatial dari hujan (*storm*) dijaga tidak hanya pada *raingauge* tetapi sepanjang link. Asumsi ini berlaku sampai panjang link 30 km.
2. Arah dari gerakan *storm* untuk setiap kejadian hujan sepanjang lintasan dan kecepatan angin pada tekanan 700 mbar dan asumsi ini berlaku juga untuk lintasan paralel.

Untuk mengaplikasikan redaman hujan SST, ada beberapa kondisi yang harus di perhatikan diantaranya yaitu:

- a. kecepatan angin bervariasi dari satu kejadian hujan ke kejadian hujan yang lain.
- b. kecepatan angin sama tetapi sudut kedatangan pada lintasan bervariasi maka akan menyebabkan kecepatan angin akan bervariasi.
- c. rata-rata kecepatan angin.
- d. rata-rata kecepatan angin dikombinasikan dengan rata-rata sudut kedatangan.

Metode SST dan ITU-R adalah metode yang digunakan untuk menghitung nilai redaman hujan dari curah hujan yang diukur. Namun perhitungan ITU-R tidak bisa digunakan untuk menghitung *fade slope* dan *fade duration*. *Fade slope* menggambarkan pelemahan sinyal (kemiringan) yang melebihi batas *threshold* tertentu. Sedangkan *fade duration* menggambarkan lamanya pelemahan sinyal (*fade slope*) tersebut. Sedangkan dengan menggunakan metode SST, selain dapat digunakan untuk menghitung *fade slope* dan *fade duration* juga dapat digunakan untuk perhitungan prediksi redaman hujan untuk beberapa tahun.

Metode *synthetic storm* mendeskripsikan suatu intensitas curah hujan sebagai fungsi dari panjang suatu lintasan/link (Km) dimana hujan tersebut bergerak sepanjang lintasan karena adanya pergerakan dari angin dengan kecepatan tertentu. Pada *synthetic storm technique* angin bergerak dengan kecepatan terbatas v (Km/s) dan digunakan untuk merubah waktu sampling dari pengukuran intensitas curah hujan menggunakan alat pengukur hujan dengan distribusi spatial sepanjang lintasan. Dari besarnya kecepatan angin dan arah angin maka diperoleh kecepatan angin dalam lintasan v_r .

Intensitas curah hujan R (mm/h) diukur menggunakan alat ukur hujan dengan waktu sampling T (s) sepanjang lintasan dengan jarak

tertentu. Pembagi lintasan ΔL dapat diperoleh dengan rumusan sebagai berikut:

$$\Delta L = v_r \times T \text{ Km} \quad (5)$$

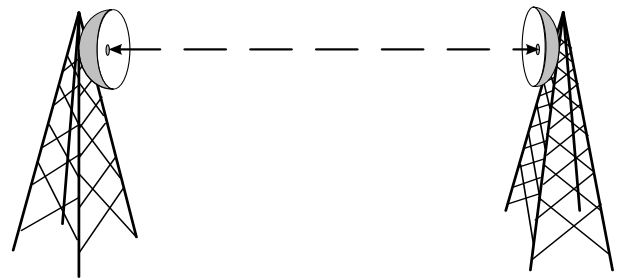
Total redaman A (dB) hujan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$A = \sum_{j=0}^{n-1} aR_j^b \times \Delta L_j \quad (6)$$

dengan $n = L / \Delta L$ dan koefisien k dan α bergantung dari frekuensi gelombang radio, polarisasi gelombang radio dan *canting angle* (sudut jatuh) dari hujan. Koefisien tersebut berdasarkan pada ITU-R P.838-3 [8] dapat ditunjukkan oleh tabel 2.1. Dalam penelitian ini digunakan frekuensi 2.4 GHz dengan polarisasi horizontal sehingga dari tabel di bawah koefisien yang digunakan yaitu $\alpha = 0.0001321$ dan $b = 1.1209$

3.4 Link dengan Orientasi Arah Barat Timur

Untuk link dengan orientasi arah Barat-Timur, dimisalkan transmitter berada di Barat dan receiver berada di Timur ataupun sebaliknya. Hal tersebut dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.



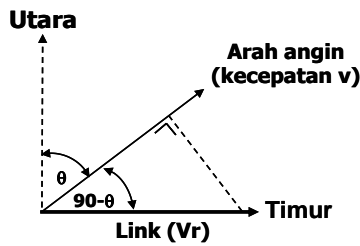
Gambar 3. Link dengan orientasi arah barat timur

Mengacu pada link dengan orientasi arah Barat-Timur seperti Gambar 3, dilakukan perhitungan besarnya kecepatan angin resultan seperti penjelasan pada Gambar 4.

Apabila arah angin diasumsikan seperti gambar 2.2, maka besarnya kecepatan angin yang dipengaruhi oleh arah angin yaitu kecepatan angin resultan yang dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$v_r = \left| \frac{v}{\cos(90 - \theta)} \right| \quad (7)$$

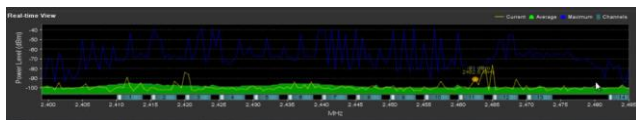
$$v_r = \left| \frac{v}{\sin(\theta)} \right| \quad (8)$$



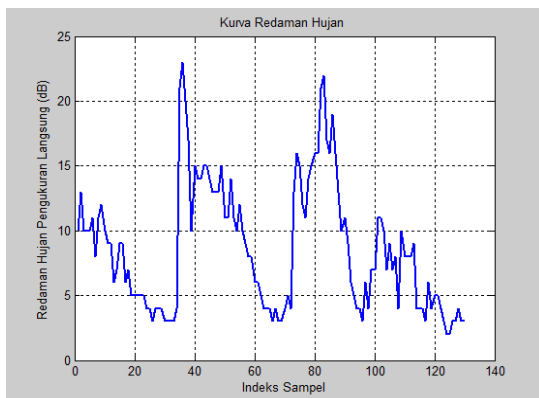
Gambar 4. Arah Kecepatan Angin

3.4 Hasil Pengukuran Redaman Hujan dengan Metode Empiris

Sinyal yang diterima di receiver (penerima) dihubungkan langsung dengan *spectrum analyzer* via laptop sehingga besaran sinyal dapat terbaca. Pengukuran besaran sinyal yang diterima di penerima (atau yang disebut RSL (Receive Signal Level) dalam satuan dBm. Besaran sinyal yang terukur, dengan satuan dBm seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengukuran RSL



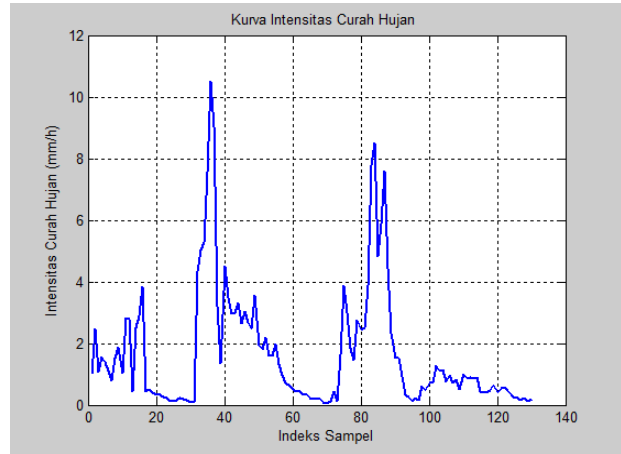
Gambar 6. Redaman Hujan Hasil Pengukuran Langsung

Gambar 6 menunjukkan redaman hujan hasil pengukuran langsung (empiris) dengan sampel yang diambil sejumlah 130, dimana setiap sampel berdurasi 1 menit. Dapat terlihat bahwa redaman hujan yang terjadi sangat bervariasi dimana yang tertinggi di angka 23 dB dan yang terendah di 2 dB. Terdapat 2 peningkatan redaman signifikan yaitu dari 3 dB menjadi 23 dB terjadi lonjakan 20 dB dan 3 dB menjadi 22 dB terjadi lonjakan 19 dB.

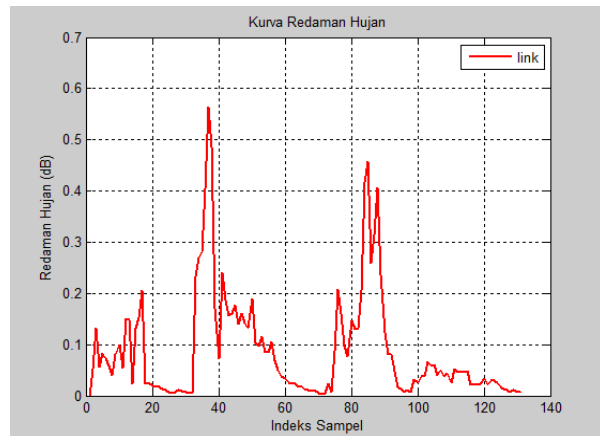
3.5 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Dengan Metode SST

Dalam perhitungan redaman hujan dengan metode SST pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data curah hujan, data kecepatan angin (v_r) dan besar sudut (θ) diperoleh dari data BMKG Kediri pada bulan Juni 2016 sesuai dengan jam, tanggal, dan bulan pengukuran. Data kecepatan angin dan besar nya sudut tersebut

berupa *file excel*. Kemudian, perhitungan redaman hujan menggunakan Matlab, yang sebelumnya terlebih dahulu data kecepatan angin (v_r) dan sudut (θ) formatnya disesuaikan dengan bantuan Matlab agar dapat dipanggil ke dalam perhitungan redaman hujan yang juga menggunakan Matlab. Format data yang akan diinputkan ke Matlab yaitu pada kolom yang pertama adalah tanggal kejadian hujan, kolom kedua adalah jam kejadian hujan dimana disampling per 1 menit, dan kolom ketiga berisi data curah hujan (mm/h).



Gambar 7. Intensitas Curah Hujan



Gambar 8. Redaman Hujan Hasil Perhitungan SST

Pada Gambar 7 dapat ditunjukkan bahwa intensitas curah hujan yang terjadi bervariasi dan terdapat beberapa lonjakan yaitu di indeks sampel 38 dan 82. Dimana terjadi lonjakan dari 1 mm/h ke 11 mm/h dan 3 mm/h ke 9 mm/h. Gambar 8. adalah plot data redaman hujan dengan menggunakan metode SST yang datanya diambil dari data curah hujan dari gambar 4.6, dimana per-lag juga 1 menit dan sampel sejumlah 130. Hasil perhitungan redaman hujan yang didapat bervariasi antara 0 dB hingga 0.55 dB.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembangunan link radio menggunakan perangkat TP Link baik di sisi pemancar maupun penerima. Link berhasil terhubung dan sinyal yang diterima (RSL) menunjukkan bahwa kualitas sinyal sangat baik
2. Nilai redaman hujan hasil pengukuran langsung menunjukkan hasil yang bervariasi dengan nilai tertinggi adalah 23 dB
3. Intensitas curah hujan tertinggi adalah 11 mm/h dan redaman hujan tertinggi hasil perhitungan dengan metode SST diperoleh 0.55 dB

Daftar Pustaka

- [1] F. Moupfouma dan J. Tiffon, "Raindrop Size Distribution from Microwave Scattering Measurements in Equatorial and Tropical Climates," *Electronic Letters*, Vol. 18, pp. 1012-1014, 1982.
- [2] P. J. L. Maagt, S. I. E. Touw, J. Dijk, G. Brusard, dan J. E. Allbutt, "Result of 11.2 GHz Propagation Experiments in Indonesia," *Electron Lett.*, Vol. 29, pp. 1988-1990, 1993.
- [3] J. D. Kannelopoulos, dan S. G. Koukoulas, "Outage Performance Analysis of Route Diversity Systems of Cellular Structure," *Radio Science*, vol. 26, no. 4, pp. 289-299, 1991.
- [4] M. M. J. L. Van de Kamp, "Rain Attenuation as a Markov Process : The Meaning of Two Sample," *International Workshop, COST Action 280, ONERA, Toulouse, France, 2003.*
- [5] G. Hendratoro, dan Indrabayu, "A Multichannel Autoregressive Model of Rain Attenuation on Multiple Radio Links and Its Application in Assessment of Fade Mitigation Schemes in Fixed Wireless Systems Above 10 GHz," *Proceedings of the 28 URSI General Assembly, New Delhi, India, 2005.*
- [6] D. P. Lin, dan H. Y. Chen, "An Empirical Formula for the Prediction of Rain Attenuation in Frequency Range 0.6-100 GHz," *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, Vol. 50, No. 4, April, 2002.
- [7] H. Y. Chen dan D. P. Lin., "Prediction of Rain Attenuation for Wireless Communications," *IEEE*, 2000.
- [8] Rec ITU-R P.838-3, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods," 2005.
- [9] N. A. Pe'rez Garcı'a dan L. A. R. da Silva Mello, "Improved method for prediction of rain attenuation in terrestrial links," *ELECTRONICS LETTERS*, Vol. 40 No. 11, 27 Mei, 2004.
- [10] M. S. J. Singh, S. I. S. Hassan, dan M. F. Ain, "Proposed Rain Attenuation Model Revised From ITU Used For Prediction In Tropical Climates," *IEEE*, 2005.
- [11] M. O. Odedina dan T. J. O. Afullo, "Rain Attenuation Prediction Along Terrestrial Paths In South Africa Using Existing Attenuation Models," *IEEE*, 2007.
- [12] A. R. L. S. Mello, S. P. Marlene, dan R. S. L. Souza, "New Method for the Prediction of Rain Attenuation in Terrestrial Links Using the Concept of Effective Rainfall Rate," *IEEE*, 2007.
- [13] A. Mauludiyanto, G. Hendratoro, M. H. Purnomo, T. Ramadhany, dan A. Matsushima, "ARIMA Modeling of Tropical Rain Attenuation on a Short 28-GHz Terrestrial Link", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 9, 2010.
- [14] Crane, K. Robert, "Propagation Handbook for Wireless Communication System Design," *Handbook*, New Hampshire, 2003.
- [15] P. Hutajulu, "Model Statistik Fading Karena Hujan di Surabaya", *ITS*, 2007.
- [16] J. D. Kannelopoulos, dan P. Kafetzis, "Comparison of the Synthetic Storm Technique with a Conventional Rain Attenuation Prediction Model," *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-34, No. 5 hal: 714, Mei 1986.