

# STUDI PERBANDINGAN REDAMAN HUJAN MENGUNAKAN FREKUENSI 15 GHz DARI HASIL PENGUKURAN SECARA LANGSUNG DAN HASIL SIMULASI METODE SST (*SYNTHETIC STORM TECHNIQUE*)

<sup>1</sup>Riyan Eka Pratama, <sup>2</sup>Achmad Mauludyanto, <sup>3</sup>Gamantyo Hendrantoro

<sup>1,2</sup> Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi 10 November, Surabaya  
[riyaneka007@gmail.com](mailto:riyaneka007@gmail.com), [maulud@ee.its.ac.id](mailto:maulud@ee.its.ac.id), [gamantyo@ee.its.ac.id](mailto:gamantyo@ee.its.ac.id)

**Abstrak** — Pada sistem komunikasi gelombang mikro *line of sight* (LOS), pada frekuensi di atas 10 GHz sangat rentan terhadap redaman terutama redaman hujan khususnya di negara-negara tropis seperti Indonesia dengan curah hujan yang cukup tinggi, karena bisa menurunkan performansi dari sistem komunikasi ini. Terkait dengan hal di atas, parameter penting di dalam melakukan desain sistem komunikasi *point to point* ini adalah redaman hujan, yang harus ditentukan besarnya sebagai dasar pertimbangan untuk mendapatkan kestabilan sistem komunikasi pada umumnya.

Penelitian ini adalah melakukan pengukuran intensitas curah hujan secara langsung, dan untuk selanjutnya akan ditentukan nilai prediksi redaman hujan dengan metode *Synthetic Storm Technique* (SST), yang diperoleh melalui penentuan *rain rate* berdasarkan curah hujan hasil pengukuran *raingauge* dengan parameter  $k$  dan  $\alpha$  didasarkan pada rekomendasi ITU-R P.838-3 2005 dengan faktor koreksi  $\Delta A$  dan juga perhitungan prediksi redaman hujan SST dengan  $k$  dan  $\alpha$  dari proses regresi linear.

Hasil nilai prediksi redaman SST dari kedua metode tersebut di atas dibandingkan dengan hasil pengukuran redaman hujan secara langsung pada link komunikasi 15 GHz. Sebagai langkah terakhir dari pelaksanaan penelitian ini adalah pemilihan metode penentuan redaman SST yang memiliki jumlah kuadrat kesalahan (*sum of square error*) terkecil.

**Kata Kunci:** *Link komunikasi gelombang mikro 15GHz, SST, Synthetic Storm Technique, redaman hujan, raingauge, Regresi.*

**Abstraks** — *In line of sight* (LOS) of microwave communication systems, which at frequencies above 10 GHz are susceptible to rain attenuation especially in tropical countries such as Indonesia with high rainfall, because it can degrade the performance of this communication systems. In relation to the above, one of the important parameters in designing of communication systems is the value of rain attenuation, which should be estimated quantities as the basis of consideration to obtain the stability of the communication system in general.

This research is to measure rainfall intensity directly, and for the next will be determined the value of rain attenuation prediction by Synthetic Storm Technique (SST) method, which are obtained by determining rain rate from raingauge with parameter  $k$  and  $\alpha$  based on ITU-Recommendation P.838-3 2005 with correction factor  $\Delta A$  and also calculation of SST rain attenuation prediction with  $k$  and  $\alpha$  from linear regression process.

The result of SST rain attenuation prediction value from both methods is compared with rain attenuation measurement result directly on communication link 15 GHz. As the final step of the implementation of this research is the selection of SST rain attenuation determination method which has the least sum of square error.

**Keywords :** *15 GHz Microwave link, SST, Synthetic Storm Technique, rain attenuation, Rain-gauge, Regression.*

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan desain sistem komunikasi khusus-nya pada *radio terrestrial line of sight* yang handal dan tahan terhadap kondisi hujan di Indonesia sangat mutlak diperlukan, karena Indonesia termasuk negara yang beriklim tropis, dimana curah hujannya yang sangat tinggi, sehingga permasalahan redaman pada link komunikasi radio yang disebabkan oleh hujan semakin menguat. Sebelum langkah desain dilakukan maka perlu untuk diketahui karakteristik dan keadaan nyata di lapangan dengan cara pengambilan data curah hujan dan dilanjutkan dengan penentuan nilai prediksi redaman hujan. Curah hujan yang terjadi erat kaitannya dengan redaman, karena semakin tinggi curah hujan

yang terjadi maka semakin tinggi pula nilai redaman yang terjadi.

Banyak metode yang telah dikembangkan untuk memprediksi nilai redaman hujan menggunakan data pengukuran intensitas curah hujan. Penelitian ini memberikan informasi perhitungan nilai statistik redaman hujan dengan berdasarkan hasil pengukuran curah hujan secara langsung di lokasi keberadaan link komunikasi radio *line of sight* 15 GHz di kampus teknik elektro ITS untuk mendapatkan nilai prediksi redaman hujan dengan menggunakan metode *Synthetic Storm Technique* (SST).



Gambar 1. Pengukuran Redaman pada Radio 15 GHz

Nilai prediksi redaman hujan yang diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode SST dengan didasarkan pada nilai intensitas curah hujan hasil pengukuran *raingauge* yang dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu parameter redaman  $k$  dan  $\alpha$  yang didasarkan dari rekomendasi ITU-R P.838-3 tahun 2005 yang hasilnya ditambahkan faktor koreksi sebesar  $\Delta A$  yang ditentukan berdasarkan perbedaan hasil perhitungan terhadap pengukuran rata-ratanya. Perhitungan redaman SST juga dilakukan dengan penentuan  $k$  dan  $\alpha$  melalui proses sistem regresi linear.

Hasil nilai prediksi redaman hujan SST dari kedua metode tersebut di atas selanjutnya dibandingkan dengan hasil nilai pengukuran redaman hujan secara langsung pada link komunikasi *line of sight* yang beroperasi pada frekuensi 15 GHz, yang didapatkan dengan cara mengambil selisih nilai daya yang diterima pada kondisi cuaca normal (cerah tidak ada hujan) dengan nilai daya yang diterima pada kondisi cuaca hujan.

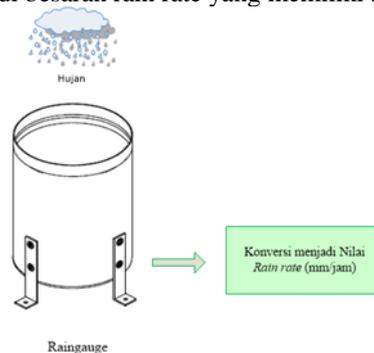
Pemakaian dua metode penentuan nilai parameter redaman  $k$  dan  $\alpha$  dalam rangka untuk menghitung nilai prediksi redaman hujan SST

dimaksudkan untuk mendapatkan hasil nilai prediksi yang lebih akurat. Tahap akhir pada pelaksanaan tugas akhir ini adalah melakukan pemilihan metode penentuan  $k$  dan  $\alpha$ , didasarkan nilai jumlah kesalahan kuadrat (*sum of square error*) yang terkecil dari hasil perbandingan terhadap pengukuran langsung yang dilakukan.

## II. Metode Penelitian

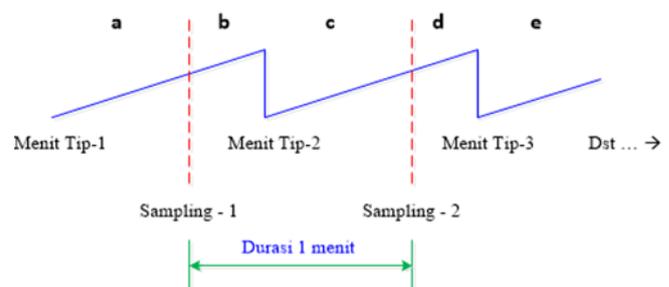
### A. Pengukuran Intensitas Curah Hujan

Alat ukur yang digunakan untuk pengukuran curah hujan yaitu *raingauge*, dan hasil pengukurannya berupa data log dalam bentuk format text yang berisikan data tanggal dan jam serta penambahan nilai *rain rate*  $R$  sebesar 0,01 inch di setiap *flip*-nya, sehingga diperlukan untuk mengkonversi menjadi besaran *rain rate* yang memiliki satuan mm/jam.



Gambar 2. Pengukuran Curah Hujan *Raingauge*

Konversi yang dilakukan adalah dengan cara menentukan besaran *rain rate*  $R$  dengan satuan mm/jam, di mana pada penelitian ini digunakan sampling data di setiap 1 (satu) menit, yaitu :



Gambar 2. Konversi data *raingauge* hasil pengukuran per menit

$$b = \frac{\text{menit Tip 2} - \text{menit sampling 1}}{\text{menit Tip 2} - \text{menit Tip 1}} \times 0,01 \times 25,4 \quad (1)$$

$$c = \frac{\text{menit sampling 2} - \text{menit Tip 2}}{\text{menit Tip 3} - \text{menit Tip 2}} \times 0,01 \times 25,4 \quad (2)$$

Sehingga besaran *rainrate*  $R$  (mm/jam) untuk waktu sampling yang ke 1 dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut ini.

$$R = (b + c) \times 60 \text{ [mm/jam]} \quad (3)$$

**B. Redaman Hujan Synthetic Storm Technique (SST)**

Metode synthetic storm mendeskripsikan suatu intensitas curah hujan sebagai fungsi dari panjang suatu lintasan (km) dimana hujan tersebut bergerak sepanjang lintasan karena adanya pergerakan dari angin dengan kecepatan tertentu. Untuk menghitung redaman hujan dapat dilakukan melalui pengukuran curah hujan secara langsung dan penggunaan data cuaca serta pertimbangan arah dan kecepatan angin menggunakan metode statistik *Synthetic Storm Technique* (SST).

Dari besarnya kecepatan angin dan arah angin maka diperoleh kecepatan angin dalam lintasan ( $V_r$ ). Menentukan nilai kecepatan angin terhadap arah angin yang bergerak pada lintasan link komunikasi radio, adalah :

$$v = \left| \frac{v_r}{\sin \theta} \right| \quad ; \text{Orientasi link Timur – Barat} \quad (4)$$

$$v = |v_r \cos \theta| \quad ; \text{Orientasi link Utara – Selatan} \quad (5)$$

Keterangan :

$V_r$  adalah Kecepatan angin

$v$  adalah Kecepatan angin terhadap arah angin yang datang pada link radio

$q$  adalah sudut datang angin terhadap lintasan

Untuk selanjutnya, dengan waktu sampling sebesar  $T$ , dengan Intensitas curah hujan ( $R$ ) di sepanjang lintasan, maka besarnya segmen sebagai pembagi lintasan  $\Delta L$  dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\Delta L = v_r T \text{ [km]} \quad (6)$$

Dan nilai total redaman hujan  $A_m$  (dB) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$A_m(dB) = \sum_{j=0}^{n-1} k R_{m-j}^\alpha \times \Delta L \quad (7)$$

Keterangan :

$A_m$  (dB) : adalah redaman Hujan SST

$k, \alpha$  : adalah parameter redaman berdasarkan Polarisasi dan Frekuensi (ITU R-838.3,2005)

$R$  : adalah Intensitas curah hujan [mm/jam]  
 $DL$  : adalah panjang segmen dari link efektif  $L$   
 $V_r$  : adalah kecepatan angina  
 $T$  : waktu sampling

Jumlah segmen  $n$  adalah sama dengan  $L/\Delta L$  dan koefisien  $k$  dan  $\alpha$  bergantung dari frekuensi gelombang radio, dan polarisasi antenna link radio komunikasi gelombang mikro sebagai obyek pengukuran, yang dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$k = \frac{1}{2} [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{1}{2k} [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] \quad (9)$$

Nilai konstanta  $k_V, k_H$  dan  $\alpha_V, \alpha_H$  didasarkan pada table yang ditetapkan oleh rekomendasi ITU-R P.838 2005.

Dalam penelitian ini menggunakan frekuensi sebesar 15 GHz dengan polarisasi Horizontal sehingga sudut *tilt* polarisasi  $\tau$  dan sudut elevasi lintasan  $\theta$  masing-masing adalah  $0^\circ$  [8].

Nilai redaman hujan nelalui penentuan nilai  $k$  dan  $\alpha$  berdasarkan rekomendasi ITU-R P.838 2005 akan ditambahkan satu parameter perhitungan faktor koreksi, agar mendapatkan nilai redaman hujan SST yang lebih mendekati hasil pengukuran redaman hujan secara langsung di lapangan.

Dalam menentukan nilai faktor koreksi didapat dengan mencari selisih nilai dari hasil pengukuran redaman secara langsung di lapangan dengan nilai redaman SST yang diperoleh berdasarkan perhitungan secara teoritis. Berikut ini adalah merupakan persamaan untuk menghitung nilai faktor koreksi redaman SST.

$$A_{SST} = A_{SST[ITU]} + \Delta A \quad (10)$$

$$\Delta A = \bar{A}_m - \bar{A}_{SST[ITU]} \quad (11)$$

Keterangan :

$A_{SST}$  = Redaman SST dengan factor koreksi  $\Delta A$

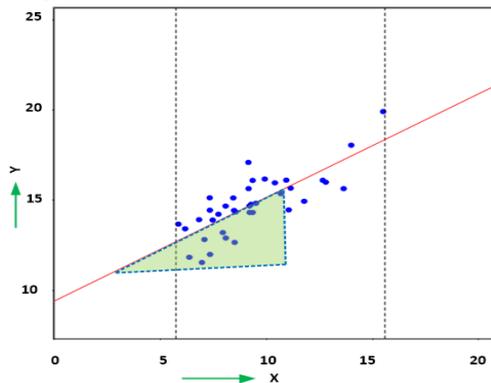
$A_{SST[ITU]}$  = Redaman SST dengan  $k$  dan  $a$  dari ITU R-838-3 2005

$\bar{A}_m$  = Redaman hujan hasil pengukuran rata-rata

$\bar{A}_{SST[ITU]}$  = Redaman SST rata-rata dengan  $k$  dan  $a$  dari ITU R-838-3 2005

$\Delta A$  = Faktor koreksi

Sebagai perbandingan akan ditentukan juga nilai redaman hujan SST melalui penentuan  $k$  dan  $\alpha$  dari hasil proses regresi linier.



Gambar 4. Proses Regresi Linier

Untuk menentukan nilai  $k$  dan  $\alpha$  berdasarkan analisis regresi linier, terlebih dahulu ditentukan parameter nilai redaman :

$$A_m = k R^\alpha L$$

dan,

$$\log\left(\frac{A_m}{L}\right) = \log k + \alpha \log R$$

Keterangan :

$A_m$  adalah nilai redaman hujan hasil pengukuran

$L$  adalah panjang lintasan

$k$  dan  $\alpha$  adalah variable konstan

$R$  adalah nilai intensitas curah hujan *rain rate*

Persamaan di atas adalah merupakan persamaan garis linier  $Y = a + bX$ , sehingga :

$$Y = \log \frac{A_m}{L} \tag{12}$$

$$a = \log k \text{ dan } b = \alpha \tag{13}$$

$$X = \log R \tag{14}$$

$$a = \frac{\sum Y_i \sum X_i^2 - \sum X_i \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{15}$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{16}$$

C. Pengukuran Redaman Hujan langsung pada Radio Link 15 GHz

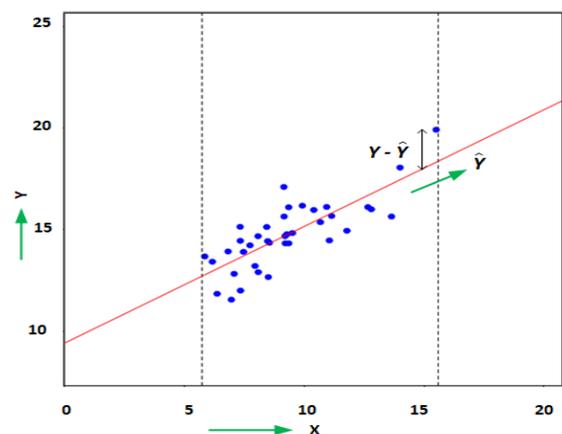
Pengukuran redaman hujan yang dilakukan secara langsung pada link komunikasi radio gelombang mikro *line of sight* 15 GHz, adalah dengan cara mengambil nilai selisih hasil pengukuran nilai daya yang diterima pada saat tidak hujan  $R_{x[\text{tidak hujan}]}$  dan nilai daya yang diterima saat terjadi hujan  $R_{x[\text{hujan}]}$  dan hasilnya adalah nilai redaman hujan  $A$  dengan satuan decibel (dB).

Pengukuran nilai daya yang diterima pada saat hujan dilakukan untuk setiap 15 detik yang kemudian hasilnya di rata-rata untuk setiap 1(satu) menitnya selama terjadinya hujan dan dilanjutkan dengan pencatatan untuk pengukuran nilai daya yang diterima pada saat tidak hujan dengan selang waktu yang sama di setiap sampelnya selama beberapa waktu pada saat tidak hujan.

Pengukuran daya yang diterima saat hujan ini dilakukan bersamaan dengan pengukuran curah hujan. Dan pengukuran berlanjut untuk mencatat daya yang diterima untuk kondisi tidak hujan. Pengukuran ini dilakukan seperti gambar 1 tersebut di atas.

D. Perbandingan Redaman perhitungan dengan Hasil Pengukuran Langsung pada Link 15 GHz

Tahap akhir pada pelaksanaan tugas akhir ini adalah membandingkan nilai hasil perhitungan redaman hujan SST di mana nilai  $k$  dan  $\alpha$  ditentukan berdasarkan ITU R-838-3 2005 dan melalui proses regresi linier dengan nilai hasil pengukuran secara langsung pada link radio gelombang mikro 15 GHz, dengan cara mengambil nilai jumlah kesalahan kuadrat (*sum of square error*) yang terkecil.



Gambar 5. Deviasi Garis Regresi Estimasi

SSE (*sum of square due to error*) adalah mengukur kesalahan penggunaan estimasi persamaan

regresi untuk menghitung nilai variabel terikat dari sampel.

$$SSE = \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (17)$$

Sebagai ukuran kesalahan estimasi dg menggunakan persamaan regresi  $\hat{Y}$ . SSE juga bisa dinyatakan sebagai jumlah kuadratis perbedaan nilai data variabel dependent ke i terhadap nilai persamaan garis ke i.

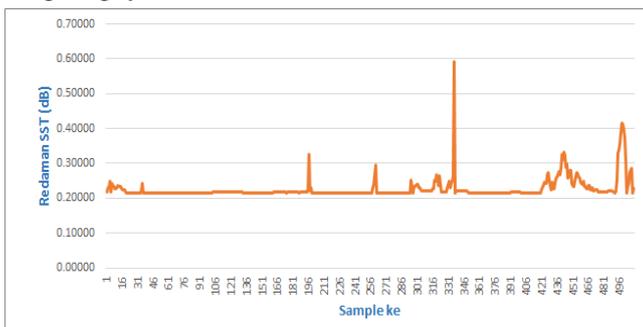
### III. Hasil Dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran baik untuk nilai *rain rate* yang berasal dari *raingauge* sebagai dasar menentukan nilai prediksi redaman hujan SST maupun pengukuran secara langsung pada link komunikasi radio gelombang mikro 15 GHz secara keseluruhannya adalah pada 7 event hujan yang dimulai sejak maret sampai dengan april 2018, yang diringkas seperti Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengukuran Rainrate dan Redaman Hujan Langsung

No.	Tanggal Event	Sample <i>Rain rate</i>	Probabilitas Event	Sample Redaman Langsung
1	07 Maret 2018	257	0.50	257
2	08 Maret 2018	162	0.32	162
3	29 Maret 2018	10	0.02	10
4	30 maret 2018 A	36	0.07	36
5	30 maret 2018 B	5	0.01	5
6	30 maret 2018 C	21	0.04	21
7	01 April 2018	19	0.04	19
Jumlah		510	1.00	510

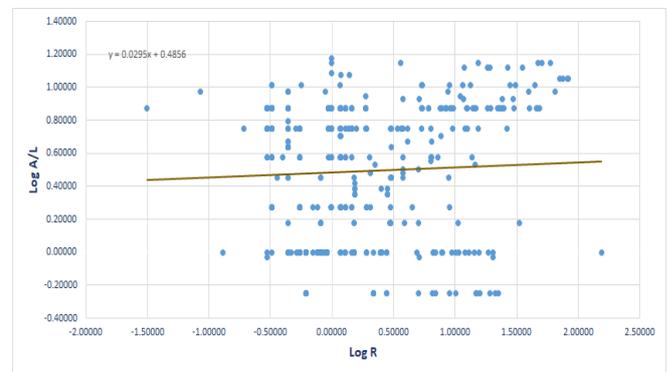
Data hasil pengukuran di semua event tersebut di atas digabungkan sebagai dasar untuk analisa secara menyeluruh terkait dengan kebutuhan untuk menganalisa seberapa besar tingkat kesesuaian atau perbedaan di antara hasil perhitungan nilai prediksi redaman hujan dengan menggunakan metode *synthetic storm technique* (SST) dengan nilai hasil pengukuran langsungnya.



Gambar 6. Redaman SST dengan k dan  $\alpha$  referensi ITU

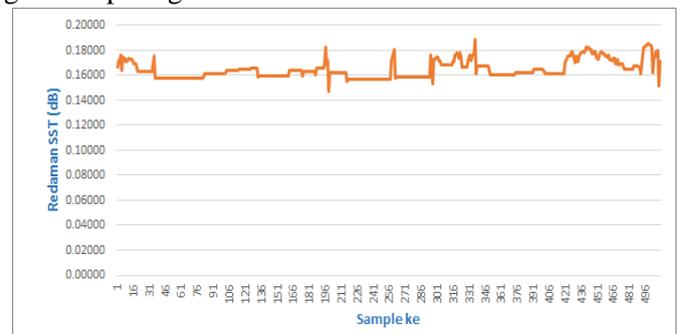
Berdasarkan nilai k dan  $\alpha$  yang ditentukan menggunakan referensi ITU R-838-3 2005 sesuai persamaan (8) dan (9), yaitu;  $k = 0,0448$ ,  $\alpha = 1,0049$  maka dapat ditentukan nilai redaman hujan SST menggunakan persamaan (7), yang hasilnya kemudian ditambahkan dengan faktor koreksi  $\Delta A$  sebesar 0,21379 sehingga secara menyeluruh hasilnya dapat dibuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 6.

Sebagai perbandingan, ditentukan juga nilai redaman hujan SST yang didasarkan nilai k dan  $\alpha$  dari hasil proses regresi linier. Pertama yang dilakukan adalah menggabungkan data *rain rate* yang berasal dari hasil pengukuran *raingauge*, yang kemudian dianalisa regresinya terkait untuk menentukan nilai k dan  $\alpha$ , sedangkan grafik regresi yang dihasilkan diberikan seperti gambar 7.



Gambar 7. Regresi Linier untuk menentukan k dan  $\alpha$

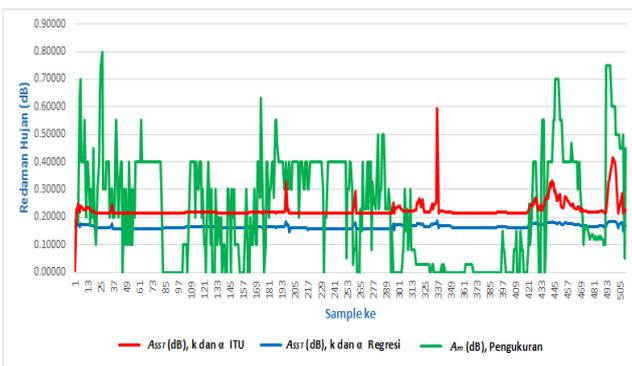
Diperoleh nilai  $k = 3.0591$  dan  $\alpha = 0.0295$ , sehingga redaman hujan SST tersebut dapat dibuat grafik seperti gambar 8.



Gambar 8. Redaman SST untuk k dan  $\alpha$  dari Regresi

Untuk selanjutnya, kedua nilai estimasi redaman hujan SST tersebut di atas dibandingkan dengan nilai redaman hujan hasil pengukuran secara langsung. Dan hasilnya dapat dibuat grafik seperti gambar 9.

Berdasarkan data hasil perbandingan redaman di atas, dapat ditentukan nilai parameter SSE (*sum of square due to error*), menggunakan persamaan (17), di mana parameter  $Y$  adalah nilai redaman hujan hasil pengukuran,  $\hat{Y}_A$  adalah nilai redaman hujan SST dengan  $k$  dan  $\alpha$  berdasarkan ITU-R P.838, dan  $\hat{Y}_B$  adalah Redaman hujan SST dengan  $k$  dan  $\alpha$  dari Regresi.



Gambar 9. Perbandingan Redaman hujan SST dengan Pengukuran

Sehingga diperoleh nilai SSE terkecil sebesar 18.06466 untuk perbandingan nilai redaman hasil pengukuran dengan nilai redaman SST di mana nilai  $k$  dan  $\alpha$  dihitung dengan referensi ITU-R P.838-3 yang ditambahkan faktor koreksi sebesar 0,21379.

#### IV. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan analisis dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Nilai Intensitas curah hujan (*rain rate*) diperoleh melalui hasil pengukuran menggunakan *rain gauge* dengan 7 (tujuh) event hujan dalam kurun waktu 2 (dua) bulan, dengan nilai intensitas hujan rata-rata adalah sebesar 5,09835 mm/jam.
- b. Redaman hujan SST dihitung berdasarkan nilai  $k$  dan  $\alpha$  yang ditentukan menggunakan referensi ITU-R P.838-3 2005 kemudian hasilnya ditambahkan dengan faktor koreksi sebesar 0,21379 diperoleh nilai rata-rata redamannya sebesar 0,22612 dB. Metode perhitungan redaman SST juga dilakukan melalui penentuan nilai  $k$  dan  $\alpha$  berdasarkan hasil proses regresi dan diperoleh rata-rata redamannya adalah sebesar 0,16464 dB.

- c. Pengukuran nilai redaman hujan secara langsung pada link radio *microwave* 15 GHz dilakukan dengan membandingkan nilai daya yang diterima saat kondisi hujan ( $R_{x(\text{hujan})}$ ) dengan daya yang diterima saat tidak hujan ( $R_{x(\text{tidak hujan})}$ ) yang diambil di setiap event setelah hujan reda selang waktu rata-rata 30 menit. Data hasil pengukuran daya yang diterima saat kondisi tidak hujan ( $R_{x(\text{tidak hujan})}$ ) adalah;

- Rata-rata daya diterima pada event 7 Maret adalah -23,1 dBm
- Rata-rata daya diterima pada event 8 Maret adalah -22,8 dBm
- Rata-rata daya diterima pada event 29 Maret adalah -23,1 dBm
- Rata-rata daya diterima pada event 30 Maret A adalah -23,1 dBm
- Rata-rata daya diterima pada event 30 Maret B adalah -23,1 dBm
- Rata-rata daya diterima pada event 30 Maret C adalah -23,6 dBm
- Rata-rata daya diterima pada event 1 April adalah -21,3 dBm

Dan secara keseluruhan diperoleh nilai redaman hujan rata-rata melalui pengukuran langsung sebesar 0,22612 dB.

- d. Perbandingan nilai redaman hujan SST dengan  $k$  dan  $\alpha$  ditentukan menggunakan referensi ITU-R P.838-3 2005 dan dengan  $k$  dan  $\alpha$  dari proses regresi terhadap hasil pengukuran langsung dilakukan dengan cara menentukan nilai SSE, yang diperoleh :

- Nilai SSE di antara Redaman SST ( $k$  dan  $\alpha$  dari ITU-R P.838-3) terhadap hasil pengukuran adalah sebesar 18,065
- Nilai SSE di antara Redaman SST ( $k$  dan  $\alpha$  dari Proses regresi) terhadap hasil pengukuran adalah 20,852

- e. Dari grafik hasil perbandingan nilai perhitungan redaman hujan SST dengan nilai redaman melalui pengukuran langsung menunjukkan bahwa kenaikan intensitas curah hujan menyebabkan kenaikan nilai redaman hujan hasil pengukuran langsung.
- f. Berdasarkan keseluruhan hasil perhitungan nilai redaman hujan SST, bahwa yang paling tepat dan mendekati nilainya dengan hasil pengukuran langsung adalah perhitungan redaman SST di mana nilai parameter redaman  $k$  dan  $\alpha$  ditentukan berdasarkan ITU-R P.838-3 dengan factor koreksi sebesar 0,21379 dB.

## V. Daftar Pustaka

- [1] Kanellopoulos J. D. dan Kafetzis P (1986), "Comparison of the synthetic Storm Technique with a Conventional Rain Attenuation Prediction Model", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation* , Vol AP-34 no. 5, hal 713-715.
- [2] Nuradi S, Haniah M, Ari W, Okkkie P., "Estimasi Redaman Hujan Menggunakan Synthetic Storm Technique (SST) Dan Segmentasi Link Untuk Gelombang Millimeter", SNATI 2009, ISSN: 1907-5022. Yogyakarta, 20 Juni 2009.
- [3] Febrin A., P. Hutajulu, G. Hendratoro, A. Mauludiyanto, "Model Statistik Fading Karena Hujan Di Surabaya", SNATI 2008, ISSN: 1907-5022, Yogyakarta, 21 Juni 2008.
- [4] Mahmudah H, Wijayanti A, Hendratoro G, Mauludiyanto A, Matsushima (2008) "Analysis of Rain Attenuation Statistics in Surabaya using Synthetic Storm Technique fo Tropical Millimeter-Wave Wireless Design", *Wireless Optical Communication Network WOCN*.
- [5] Mauludiyanto, A., Hendratoro, G., Purnomo, M. H., Ramadhany, T., dan Matsushima, A., (2010), "ARIMA Modeling of Tropical Rain Attenuation on a Short 28-GHz Terrestrial Link", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 9.
- [6] ITU-R Rec. P.530-10 (2001), "Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Terrestrial Line of Sight Systems".
- [7] ITU-R Rec. P.838-3 (2005), "Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods".
- [8] Saunders S.R (1999) *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems* ", John Willey & Sons, Ltd hal 93.
- [9] Kutner, M.H., C.J. Nachtsheim, dan J. Neter. 2004, "Applied Linear Regression Models", Fourth Ed. McGrawHill/Irwin. New York.
- [10] D. Reeve., Whitham, *Introduction to Radio Wave Polarization*", Copyright: © 2014 W. Reeve, Revision 1.4.