

OPTIMALISASI JARINGAN LMDS BERBASIS MULTI ANTENA DAN ADAPTIVE MODULATION PADA KONDISI HUJAN DI DAERAH MATARAM MENGGUNAKAN METODE WATERFILLING

LmDs Networks Optimization Based Multiple Antenna And Adaptive Modulation On Rainy Conditions On Mataram Area Using Waterfilling Technique

Rina Prihaty Octaviana¹, Made Sutha Yadnya², Abdullah Zainuddin³

¹Jurusan Teknik Elelktro Fakultas Teknik Universitas Mataram Nusa Tenggara Barat Indonesia
Email : rpo1012.r1@gmail.com¹, msyadnya@unram.ac.id², abduallahzainuddin@yahoo.com³

ABSTRAK

Dewasa ini, teknologi komunikasi data makin berkembang. Hal ini juga beriringan dengan jumlah pengguna layanan komunikasi nirkabel yang semakin meningkat. Faktor inilah yang menyebabkan kanal komunikasi nirkabel (LMDS) menjadi terbatas. Adapun faktor lain yang dapat mengganggu keandalan komunikasi LMDS adalah hujan. Tak terkecuali hujan di daerah Mataram Pada penelitian ini, MIMO adalah sistem multi antenna yang digunakan. Sistem MIMO diuji keandalannya dalam mencapai threshold sebesar 10^{-3} pada kondisi hujan yang diukur dari 3 tempat di Mataram dan diklasifikasikan lagi berdasarkan intensitas hujannya yakni hujan gerimis, sedang, dan deras. Hasil simulasi yang didapat untuk MIMO adalah paling baik pada kondisi hujan gerimis karena threshold sebesar 10^{-3} tercapai. Pada modulasi adaptif, didapatkan hasil bahwa jenis modulasi BPSK dan QPSK paling cocok diterapkan pada kanal dengan kondisi hujan gerimis. Untuk metode Waterfilling, pengujian dilihat dari nilai probabilitas redaman hujan dalam menghasilkan nilai redaman hujan optimum untuk setiap 1 Km. Didapatkan hasil probabilitas terbaik pada hujan gerimis yakni sebesar 0,7% dan menghasilkan nilai redaman hujan optimumnya dalam 1 Km sebesar 0,595 dB.

Kata Kunci : MIMO, Modulasi Adaptif, Waterfilling, Redaman Hujan, LMDS.

ABSTRACT

Nowadays, the technology of data communication has been developing in line with the increasing amount of wireless communication services increase. This factor causes limitation on wireless communication channel (LMDS). Another factor that can hinder the reliability of communication is rain. Unexcepting rain in Mataram area. This research using MIMO as the multi antenna system. Thereafter reliability of MIMO system tested to reach 10^{-3} threshold on rainy condition that measured at 3 places on mataram and classified by intensity i.e. drizzle, moderate rain, and heavy rain. Best simulation result obtained for MIMO is on drizzle because 10^{-3} threshold has been reached with E_b/N_0 less than on the moderate rain and heavy rain. This research using method adaptive modulation concluded that BPSK or QPSK applied on drizzle condition, the other for waterfilling technique, the value of rain attenuation probability is tested to generate rain attenuation optimum value per 1 Km. The best probability result obtained is on drizzle condition which is 0,7% and the m rain attenuation optimum value per 1 Km is 0,595 dB.

Keywords : MIMO, Adaptive Modulation, Waterfilling, Rain attenuation, LMDS

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi yang terus berkembang khususnya di bidang komunikasi data (4G) beriringan dengan jumlah pengguna jasa komunikasi yang semakin meningkat sehingga kapasitas kanal pada komunikasi nirkabel menjadi

terbatas. Hal ini juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti misalnya hujan. Indonesia merupakan negara beriklim tropis dan memiliki curah hujan yang tinggi tak terkecuali di daerah Mataram. Tentu saja menjadi salah satu faktor yang mengganggu keandalan

komunikasi LMDS. Untuk itu diperlukan suatu teknik perbaikan kinerja LMDS dengan peningkatan kapasitas, pemilihan jenis modulasi yang tepat, serta perbaikan daya.

MIMO (*multi input multi output*) adalah suatu system multi antena yang dapat digunakan untuk peningkatkan kapasitas kanal. Modulasi Adaptif merupakan suatu teknik modulasi yang dalam penerapannya digunakan untuk menentukan jenis modulasi yang tepat sesuai dengan kondisi kanal. Teknik *Waterfilling* merupakan teknik pembagian alokasi daya yang digunakan untuk meningkatkan kinerja komunikasi.

LMDS (Local Multipoint Distribution Service) merupakan salah satu pendekatan teknologi *wireless* untuk menyediakan layanan broadband dengan frekuensi operasi antara 28 GHz hingga 31 GHz. (Yadnya, 2007)

- Local, jarak tempuh sinyalnya terbatas hingga 5 km yang disebabkan karakteristik propagasi sinyal pada frekuensi tinggi mengalami banyak redaman akibatnya sangat rentan terhadap hujan.
- Multipoint, menunjukan bahwa sinyal dikirimkan secara *broadcast* (pengiriman sinyal ke berbagai lokasi secara bersamaan).
- Distribution, sistem ini mendistribusikan semua jenis layanan (*voice*, *data*, *image*, internet, dan *video*).
- Service, menunjukan bahwa lebar pita yang diberikan secara tidak terbatas sehingga mampu memberikan berbagai layanan. (Kurniawan, 2009)

Redaman Hujan dapat mengakibatkan kerusakan yang serius terhadap sinyal untuk propagasi dengan frekuensi 30 GHz. (Kurniawan, 2009)

Redaman hujan secara sederhana dapat diuraikan mengikuti persamaan berikut:

$$A = k \times R^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

A merupakan redaman hujan, k adalah koefisien derajat logaritmik. α merupakan koefisien derajat liner dan R adalah curah hujan. (Yadnya, 2008)

Nilai koefisien derajat logaritmik dan koefisien derajat liner dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

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

$$\alpha = \frac{[k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau]}{2k} \dots\dots\dots (3)$$

Nilai koefisien horizontal (k_H, α_H) adalah 0,187 untuk k_H dan α_H sebesar 1,021. Sedangkan untuk nilai koefisien vertikal (k_V, α_V) adalah 0,167 untuk k_V dan α_V sebesar 1,000. (ITU-R P.838-1)

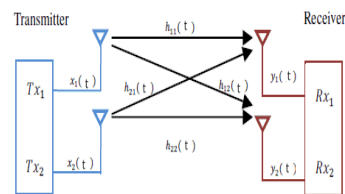
Nilai sudut elevasi (θ) adalah 53° dan sudut kemiringan polarisasi τ sebesar 45° . (ITU-R P.618)

Metode Korelasi merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji ada/tidaknya hubungan serta arah hubungan dari dua variabel atau lebih.

Korelasi dibagi menjadi dua yaitu:

1. Korelasi Silang (*Cross Correlation*) merupakan teknik statistic yang digunakan untuk menguji ada tidaknya hubungan serta arah hubungan antara dua variabel atau lebih.
2. Korelasi Diri (*Auto Correlation*) merupakan teknik statistic yang digunakan untuk menguji ada tidaknya hubungan serta arah hubungan antara suatu variabel dengan dirinya sendiri. (Sarwono, 2006)

MIMO (Multi Input Multi Output) merupakan sistem komunikasi nirkabel dengan menggunakan *multiple antenna* pada sisi pengirim dan sisi penerima untuk meningkatkan performansi sistem komunikasi.



$$y_1(t) = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_1$$

$$= [h_{11} \ h_{12}] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + n_1 \dots\dots\dots (4)$$

$$y_2(t) = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + n_2$$

$$= [h_{21} \ h_{22}] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + n_2 \dots\dots\dots (5)$$

Gambar 1. Penggunaan Sistem MIMO

Sinyal yang diterima oleh antenna sisi penerima adalah: Secara umum dapat digabungkan ke dalam suatu persamaan, yaitu:

$$y_l(t) = \sum_{k=1}^k h_{lk}(t) x_k(t) + n \dots\dots\dots (6)$$

Y merupakan sinyal pada penerima yang dihasilkan dari perkalian antara jumlah

kanal pada pengirim ke penerima (h) dengan sinyal yang dikirimkan (x) kemudian diberikan tambahan noise. (Wahyudi, 2008)

Modulasi Adaptif digunakan untuk modulasi yang berbeda dan memungkinkan untuk mengirim lebih banyak bit per simbol dan dengan demikian mencapai lebih tinggi *throughputs* atau efisiensi spektral yang lebih baik.

Teknik modulasi adaptif pada OFDM dilakukan dengan menerapkan skema modulasi yang berbeda-beda pada masing-masing subkanal sesuai dengan kondisi kanal yang terjadi pada masing-masing subkanal. (Ho, 2004)

Jenis Modulasi :

1. Modulasi BPSK merupakan jenis transmisi data M-ary dengan $M = 2$, yang menggunakan prinsip PSK (*Phase Shift Keying*). BPSK memiliki satu simbol informasi yang direpresentasikan dengan satu bit. (Kusmaryanto, 2004)
2. Modulasi QPSK merupakan jenis transmisi data M-ary dengan $M = 4$, yang menggunakan prinsip PSK (*Phase Shift Keying*). QPSK memiliki satu simbol informasi yang direpresentasikan dengan satu bit. yaitu 00, 01, 10 dan 11. (Hamzah, 2013)

Metode Waterfilling merupakan metode pembagian daya pada sub-sub kanal untuk meningkatkan unjuk kerja sistem. Bila tiap tiap subkanal pada sistem memiliki *gain* λ_i yang merupakan nilai *eigen* yaitu kuadrat dari komponen-komponen diagonal matriks S, maka subkanal dengan *gain* terbesar akan mendapat porsi daya yang besar pula. (Gunantara, 2008)

METODOLOGI PENELITIAN

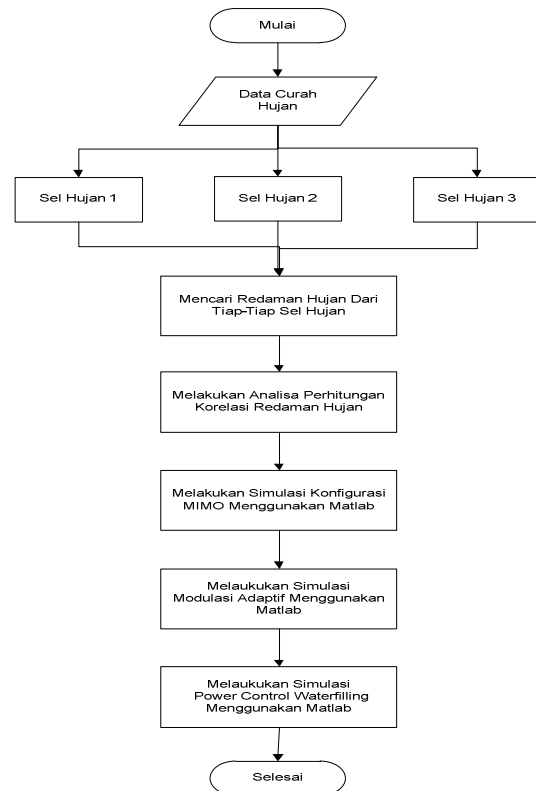
Langkah-Langkah Penelitian. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengumpulkan data curah hujan yang ada di daerah Perumnas, Jangkuk, Duman. Data curah hujan yang telah didapat kemudian dihitung besar redaman hujannya dengan menggunakan parameter yang terdapat pada tabel ITU-R P.838-1 dan ITU-R P.618 untuk standar komunikasi LMDS di tiap-tiap sel hujan dengan intensitas gerimis, sedang, dan tinggi sehingga dari data tersebut hasilnya dapat dibandingkan. Kemudian menampilkan

hasil redaman hujan dengan menggunakan Matlab.

2. Melakukan simulasi korelasi baik untuk korelasi diri dan korelasi silang dengan menggunakan data redaman hujan sebagai nilai masukannya. Hal ini dilakukan untuk mencari ada tidaknya hubungan dan arah hubungan antara data redaman hujan pada tiap-tiap daerah. Kemudian hasilnya ditampilkan dengan menggunakan Matlab.
3. Melakukan simulasi pembangkitan kanal MIMO dengan Matlab. Pada tahap ini, sistem MIMO diletakkan pada 3 daerah yakni Perumnas, Jangkuk, dan Duman. Kemudian diberikan tambahan redaman berupa redaman hujan yang dibagi menjadi 3 kriteria redaman hujan berdasarkan ukuran curah hujannya. Hal ini bertujuan untuk mendapat kinerja MIMO yang paling baik diterapkan dengan adanya kondisi hujan tertentu.

Berikut Merupakan diagram alir secara keseluruhan:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

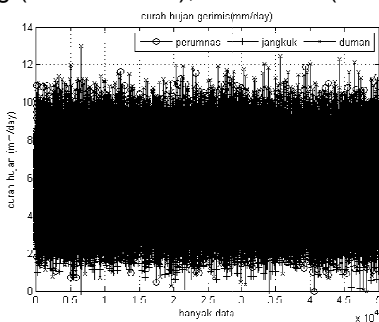
4. Melakukan simulasi untuk pembangkitan modulasi adaptif (OFDM) dengan menggunakan Matlab. Pada tahap ini, jenis modulasi yang digunakan adalah BPSK dan QPSK. Dengan menambahkan redaman hujan gerimis, redaman hujan

sedang, dan redaman hujan deras pada masing-masing tempat. Hal ini dilakukan untuk menentukan jenis modulasi yang paling tepat diterapkan dengan adanya kondisi hujan tertentu.

5. Kemudian melakukan perhitungan untuk alokasi daya dengan metode *power control Waterfilling*. Pada tahapan ini nilai redaman hujan dijadikan masukan untuk mencari nilai rata-ratanya. kemudian mencari nilai probabilitas pada redaman hujan sehingga didapatkan nilai redaman hujan maksimum/km.
6. Menampilkan hasil. Simulasi akan ditampilkan menggunakan matlab.
7. Selesai. Langkah terakhir adalah mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, dan memberikan masukan untuk penelitian selanjutnya yang lebih baik.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data Curah Hujan, diambil pada tiga titik pengukuran hujan yakni daerah Perumnas, Jembatan Gantung Sungai Jangkuk, dan Duman. Data curah hujan yang didapatkan diklasifikasikan lagi berdasarkan intensitas curah hujannya yakni gerimis (<20 mm/hr), sedang (20-50 mm/hr), dan deras (>50 mm/hr).



Gambar 3. Hujan Gerimis

Grafik yang bertanda lingkaran merupakan daerah dengan curah hujan gerimis tertinggi. Curah hujan tertinggi terdapat pada daerah Duman yakni 13.01592 mm/day.

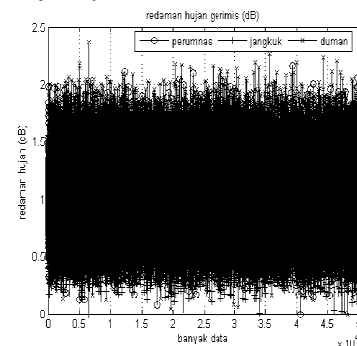
Hasil tertinggi yang didapat untuk data hujan sedang dan deras ditampilkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Data Curah Hujan

| CURAH HUJAN (mm/day) | | |
|----------------------|--------|----------|
| Gerimis | Sedang | Duman |
| 13.01592 | 63,642 | 149,7136 |

Curah hujan tertinggi berdasarkan tabel 1 diatas bahwa untuk kondisi hujan sedang adalah 63,642 mm/day dan untuk kondisi hujan deras adalah 149,7136 mm/day yang terdapat pada daerah Jangkuk.

Perhitungan Redaman Hujan, data curah hujan yang didapat kemudian dijadikan sebagai nilai masukan untuk mencari nilai redaman hujan dengan menggunakan persamaan 1 yang nilai koefisien derajat logaritmik (k), koefisien derajat linier (α) mengacu sesuai dengan standar pada *International Telecommunication Union (ITU)* model (ITU-R P,838-1) tahun 1999 untuk hujan pada komunikasi LMDS.



Gambar 4. Redaman Hujan Gerimis

Grafik yang bertanda lingkaran merupakan daerah dengan redaman hujan gerimis tertinggi. Redaman hujan tertinggi terdapat pada daerah Duman yakni 2.370344 dB.

Hasil tertinggi yang didapat untuk data hujan sedang dan deras ditampilkan pada tabel berikut:

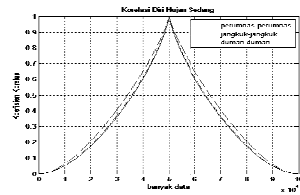
Tabel 2 Redaman Hujan

| REDAMAN HUJAN (dB) | | |
|--------------------|----------|----------|
| Gerimis | Sedang | Duman |
| 2,370344 | 11,79579 | 28,01336 |

Redaman hujan tertinggi untuk kondisi hujan sedang dapat dilihat pada tabel 2 yakni 11,79579 dB dan untuk kondisi hujan deras adalah 28,01336 dB yang terdapat pada daerah Jangkuk.

Korelasi, data redaman hujan dari ketiga titik pengambilan data dianggap sebagai variabel masukan pada penelitian ini. Korelasi diri (*Auto Correlation*) dan korelasi silang (*Cross Correlation*) pada penelitian ini digunakan untuk mencari hubungan antara variabel.

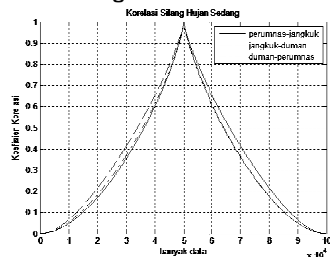
• Korelasi Diri



Gambar 5. Korelasi diri

Korelasi Diri (*Auto Correlation*) baik itu hujan dengan intensitas gerimis, sedang, maupun deras pada daerah Perumnas, Jangkuk, dan Duman didapatkan hasil secara berturut-turut sebesar 1 seperti yang terlihat pada Gambar 4. Dalam hal ini menunjukkan hubungan yang sempurna antar variabel dengan variabel itu sendiri.

• Korelasi Silang



Gambar 6. Korelasi Silang Pada Hujan Sedang

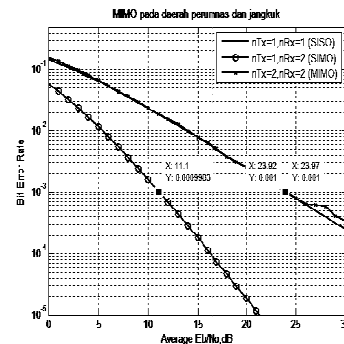
Korelasi Silang pada daerah Perumnas-Jangkuk, Jangkuk-Duman, dan Duman-Perum didapatkan hasil koefisien korelasi secara berturut-turut untuk hujan sedang sebesar 0,99688, 0,997908, dan 0,999985 yang dalam hal ini korelasi antar variabel memiliki hubungan kuat.

Tabel 3 Korelasi Silang

| Intensitas Hujan | Koefisien Korelasi | | |
|------------------|--------------------|---------------|-------------|
| | Perum-Jangkuk | Jangkuk-Duman | Duman-Perum |
| Gerimis | 0,999869 | 0,999942 | 0,99991 |
| Sedang | 0,99688 | 0,997908 | 0,99985 |
| Deras | 0,99988 | 0,99985 | 0,99988 |

MIMO (Multi Input Multi Output), redaman hujan akan dijadikan sebagai nilai masukan pada penelitian ini. Nilai redaman hujan yang didapat diklasifikasikan menjadi 3 kategori berdasarkan ukuran curah hujan yakni gerimis, sedang, dan deras. Pembagian wilayah tempat penentuan titik peletakan MIMO sendiri diletakkan pada 3 titik yaitu

daerah Perumnas-Jangkuk, Jangkuk-Duman, Duman-Perumnas.



Gambar 7. MIMO Dengan Hujan Gerimis Pada Daerah Perumnas Dan Jangkuk

Berdasarkan hasil simulasi dengan kondisi hujan gerimis pada daerah Perumnas-Jangkuk, dibutuhkan daya E_b/N_0 yang berbeda-beda untuk menghasilkan BER sebesar 10^{-3} baik untuk SISO, SIMO, dan MIMO. Pada SISO (*single input single output*), untuk mencapai BER sebesar 10^{-3} membutuhkan daya E_b/N_0 sebesar 23,97 dB. Untuk SIMO (*single input multiple output*) dimana dalam mencapai BER sebesar 10^{-3} membutuhkan E_b/N_0 sebesar 11,1 dB. Pada MIMO (*multi input multi output*), dibutuhkan daya E_b/N_0 sebesar 23,92 dB untuk mencapai BER sebesar 10^{-3} . Dari ketiganya didapatkan bahwa kinerja SIMO dalam kondisi hujan gerimis adalah yang paling baik.

Daerah lainnya dengan kondisi hujan sedang dan gerimis akan ditampilkan pada tabel 4 berikut:

Tabel 4 SISO SIMO dan MIMO

| Daerah | Hujan | SISO | SIMO | MIMO |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| | | (dB) | | |
| Perum-Jangkuk | G | 23,97 | 11,1 | 23,92 |
| | S | 23,97 | 11,09 | >30 |
| | D | 23,96 | 11,1 | >30 |
| Jangkuk-Duman | G | 23,96 | 11,09 | 25,08 |
| | S | 23,96 | 11,09 | >30 |
| | D | 23,97 | 11,09 | >30 |
| Duman-Perum | G | 23,97 | 11,09 | 25,11 |
| | S | 23,96 | 11 | >30 |
| | D | 23,96 | 11,09 | >30 |

Keterangan : G = Gerimis, S = Sedang, D = Duman.

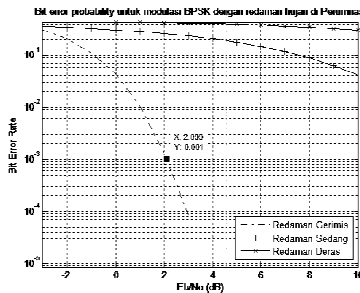
Kinerja MIMO paling baik saat kondisi hujan gerimis dibandingkan dengan saat

hujan sedang dan deras karena saat hujan gerimis MIMO mampu mencapai BER *threshold* yakni 10^{-3} dengan E_b/N_0 kurang dari 30 dB seperti yang dapat dilihat pada tabel 4. Untuk system yang paling baik pada saat kondisi hujan gerimis, sedang, maupun deras adalah SIMO.

Modulasi Adaptif, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing *sub-carriers* tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio simbol yang rendah. Dalam penelitian ini, jenis modulasi yang digunakan adalah BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) dan QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*). Simbol pada kedua modulasi tersebut digunakan pada ketiga titik penelitian yaitu Perumnas, Jangkuk, dan Duman dengan kriteria uji pada redaman hujan berdasarkan intensitas hujan Gerimis, Sedang, serta Deras.

Untuk modulasi BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) dan modulasi QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) berikut hasil yang didapatkan untuk masing-masing modulasi

• BPSK



Gambar 8. Modulasi BPSK pada daerah Perumnas

Daerah Perumnas dalam mencapai BER sebesar 10^{-3} dibutuhkan E_b/N_0 yang berbeda-beda untuk redaman hujan dengan intensitas gerimis, sedang, dan deras. Pada hujan gerimis, untuk mencapai BER sebesar 10^{-3} dibutuhkan E_b/N_0 sebesar 2,099 dB. Pada hujan dengan intensitas sedang, BER 10^{-3} tidak dapat dicapai dengan E_b/N_0 sebesar 10 dB dan hanya mampu mencapai BER sebesar $10^{-1,07}$. Pada hujan dengan intensitas deras, BER 10^{-3} tidak dapat dicapai dengan E_b/N_0 sebesar 10 dB dan hanya mampu mencapai BER sebesar $10^{-1,04}$. Dari 3

jenis intensitas hujan yang berbeda pada daerah Perumnas didapatkan bahwa modulasi BPSK paling bagus diterapkan pada hujan dengan intensitas gerimis.

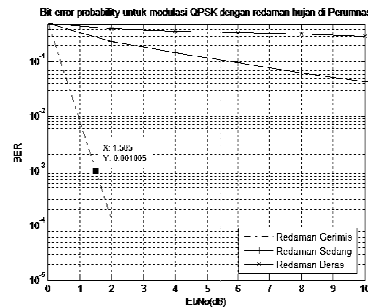
Daerah Jangkuk dan Duman saat kondisi hujan Gerimis, Sedang, dan Deras dapat dilihat pada tabel 5 berikut :

Tabel 5. Modulasi BPSK

| Daerah | Gerimis | Sedang | Deras |
|----------|---------|--------|-------|
| | (dB) | | |
| Perumnas | 2,099 | >10 | >10 |
| Jangkuk | 0,3645 | >10 | >10 |
| Duman | 2,908 | >10 | >10 |

Ketiganya dapat dikatakan bahwa Modulasi BPSK paling bagus diterapkan pada hujan dengan kondisi gerimis. Hal ini dikarenakan ketiga daerah tersebut berturut-turut hanya membutuhkan sebesar 2,099, 0,3645, 2,908 dB dalam mencapai BER *threshold* sebesar 10^{-3} .

• QPSK



Gambar 9. Modulasi QPSK pada daerah Perumnas

Daerah Perumnas dalam mencapai BER sebesar 10^{-3} dibutuhkan E_b/N_0 yang berbeda-beda untuk redaman hujan dengan intensitas gerimis, sedang, dan deras. Pada hujan dengan intensitas gerimis, untuk mencapai BER sebesar 10^{-3} dibutuhkan E_b/N_0 sebesar 1,505 dB. Pada hujan dengan intensitas sedang, BER 10^{-3} tidak dapat dicapai dengan E_b/N_0 sebesar 10^{-3} dB dan hanya mampu mencapai BER sebesar $10^{-1,37}$. Pada hujan dengan intensitas deras, BER 10^{-3} tidak dapat dicapai dengan E_b/N_0 sebesar 10 dB dan hanya mampu mencapai BER sebesar $10^{-0,5}$. Dari 3 jenis intensitas hujan yang berbeda pada daerah Perumnas didapatkan bahwa modulasi QPSK paling bagus diterapkan pada hujan dengan intensitas gerimis.

Daerah Jangkuk dan Duman saat kondisi hujan Gerimis, Sedang, dan Deras dapat dilihat pada tabel 6 berikut :

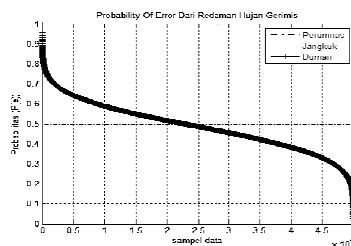
Tabel 6. Modulasi QPSK

| Daerah | Gerimis | Sedang (dB) | Deras |
|----------|---------|----------------|-------|
| Perumnas | 1,505 | >10 | >10 |
| Jangkuk | 0 | >10 | >10 |
| Duman | 1,94 | >10 | >10 |

Ketiganya dapat dikatakan bahwa Modulasi QPSK paling bagus diterapkan pada hujan dengan kondisi gerimis. Hal ini dikarenakan ketiga daerah tersebut berturut-turut hanya membutuhkan sebesar 1,505 dan 1,94 dB dalam mencapai BER *threshold* sebesar 10^{-3} kecuali pada daerah jangkuk yang hanya mampu mencapai BER sebesar $10^{-2,59}$.

Waterfilling, metode *Waterfilling* merupakan metode pembagian daya pada sub-sub kanal untuk meningkatkan unjuk kerja sistem. Dalam penelitian ini *Waterfilling* bertujuan untuk mengoptimalkan peng-alokasian daya terima (RSL) dengan melihat nilai dari probabilitas redaman hujan.

Nilai dari redaman hujan dijadikan *input*. Redaman hujan pada masing-masing daerah diklasifikasikan menjadi 3 kategori hujan yakni gerimis, sedang, dan deras. Data redaman hujan sendiri didapatkan dari pengukuran pada 3 tempat yakni Perumnas, Jangkuk, dan Duman.

Gambar 10. *Waterfilling* dengan Probabilitas Redaman Hujan Gerimis

Grafik pada Gambar 9 probabilitas redaman hujan gerimis pada daerah Perumnas, Jangkuk, dan Duman didapatkan bahwa nilai acuan (*water level*) adalah 0.5. Pada daerah Perumnas didapatkan nilai rata-rata (*mean*) sebesar 0,493 sehingga didapatkan probabilitas antara nilai acuan dengan nilai rata-rata redaman adalah 0,7%. Berdasarkan nilai standar acuan LMDS yakni sebesar 85 dB, didapatkan hasil untuk redaman hujan yang maksimum dapat diterima pada daerah Perumnas adalah

0,5950 dB dalam 1 Km. Pada daerah Jangkuk didapatkan nilai rata-rata (*mean*) sebesar 0,4850 sehingga didapatkan probabilitas antara nilai acuan dengan nilai rata-rata redaman adalah 1,5%. Berdasarkan nilai standar acuan LMDS yakni sebesar 85 dB, didapatkan hasil untuk redaman hujan yang maksimum dapat diterima pada daerah Jangkuk adalah 1.2750 dB dalam 1 Km. Pada daerah Duman didapatkan nilai rata-rata (*mean*) sebesar 0,4858 sehingga didapatkan probabilitas antara nilai acuan dengan nilai rata-rata redaman adalah 1,42%. Berdasarkan nilai standar acuan LMDS yakni sebesar 85 dB, didapatkan hasil untuk redaman hujan yang maksimum dapat diterima pada daerah Jangkuk adalah 1,207 dB dalam 1 Km.

Hujan sedang dan hujan deras dapat dilihat pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. Redaman Hujan Maksimum dalam 1 Km (dB)

| Hujan | Redaman Hujan Maksimum dalam 1 Km (dB) | | |
|-------|--|---------|---------|
| | Perum | Jangkuk | Duman |
| G | 0,5950 | 1,2750 | 1,207 |
| S | 26,384 | 22 | 18,9 |
| D | 21,743 | 22,60 | 23,0945 |

KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem MIMO dengan penambahan tiga macam kriteria intensitas hujan, didapatkan bahwa dalam mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} kinerja MIMO paling bagus diterapkan pada hujan dengan intensitas gerimis dibandingkan pada saat hujan dengan intensitas sedang dan deras.
2. Untuk modulasi BPSK, didapatkan hasil yang berbeda-beda dalam mencapai BER 10^{-3} pada tiap daerah dengan kondisi hujan gerimis, sedang, maupun deras. Pada daerah Perumnas, kondisi hujan gerimis yang paling tepat diterapkan karena mencapai BER *threshold* yang diinginkan dengan E_b/N_0 sebesar 2,1 dB. Begitu pula untuk daerah Jangkuk dan Duman, dalam mencapai BER 10^{-3} dibutuhkan E_b/N_0 masing-masing sebesar 0,36 dB dan 2,9 dB pada kondisi hujan gerimis. Sedangkan untuk kondisi hujan sedang, maupun deras hasilnya tidak bagus karena membutuhkan nilai

- Eb/No yang lebih besar dari 10 dB dalam mencapai BER 10^{-3} .
3. Untuk Modulasi QPSK, didapatkan hasil yang berbeda-beda dalam mencapai BER 10^{-3} pada tiap daerah dengan kondisi hujan gerimis, sedang, maupun deras. Pada daerah Perumnas, kondisi hujan gerimis yang paling tepat diterapkan karena mencapai BER *threshold* yang diinginkan dengan Eb/No sebesar 1,5 dB. Untuk daerah Duman, dalam mencapai BER 10^{-3} dibutuhkan Eb/No sebesar 1,94 dB pada kondisi hujan gerimis. Sedangkan untuk kondisi hujan sedang, maupun deras hasilnya tidak bagus karena membutuhkan nilai Eb/No yang lebih besar dari 10 dB dalam mencapai BER 10^{-3} . Pada daerah Jangkuk, modulasi QPSK tidak tepat diterapkan baik itu untuk kondisi hujan Gerimis, Sedang, maupun Deras. Hal ini dikarenakan pada kondisi hujan tersebut tidak ada yang mencapai BER 10^{-3} .
 4. Pada *Waterfilling*, didapatkan hasil probabilitas redaman hujan maksimum pada 1 Km yang berbeda-beda pada tiap-tiap kondisi hujan dengan menggunakan nilai acuan dan rata-rata sehingga didapatkan nilai persentase probabilitas untuk redaman hujan. Dengan mengacu pada standar LMDS yakni sebesar 85 dB didapatkan nilai redaman hujan maksimum per 1 Km untuk daerah Perumnas, Jangkuk, dan Duman pada hujan gerimis sebesar 0,5950 dB, 1,2750 dB, dan 1,207 dB. Pada hujan sedang didapatkan hasil redaman maksimum sebesar 26,384 dB, 22 dB, 18,9 dB untuk 1 Km. Pada hujan deras didapatkan hasil redaman maksimum sebesar 21,743 dB, 22,60 dB, 23,0945 dB untuk 1 Km.
- SARAN**
- Saran yang diberikan berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu:
- Diharapkan pada penelitian selanjutnya, dapat menambahkan parameter lainnya agar optimalisasi jaringan pada LMDS dalam kondisi hujan sedang maupun deras dapat terpenuhi.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Gunantara, N., 2008, "Analisis Unjuk Kerja Teknik Pengkodean STBC Dan *Waterfilling* pada Sistem D-Mimo" Teknik Elektro, Universitas Udayana, Bali
- Hamzah, I.K, 2013, "*Quadrature Shift Keying*" Teknik Elektro, Universitas Riau Pekanbaru
- HO ,W.S., 2004, "*Adaptive Modulation (QPSK, QAM)*", Intel
- Kurniawan, U.U, 2009, " Sistem LMDS Layanan *Broadband Wireless* pada Frekuensi 28 GHz – 31 GHz", Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung.
- Kusmaryanto, S., 2004, "Diktat Kuliah ", Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung.
- Recomendation ITU-R P.618, "*Specification Of Next Generation Of LMDS Architecture*," Acis Project 215
- Recomendation ITU-R P.838-1, "*Specific Attenuation Model For Rain For Use In Prediction*", 2005.
- Sarwono, J., "Buku Lepas Tentang Korelasi", 2006
- Wahyudi, D; Wirawan, 2008, "Evaluasi Kinerja Teknik *Adaptive Modulation and Coding (AMC)* pada *Mobile WIMAX MIMO-OFDM*", Jurusan Teknik Elektro, Institute Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya
- Yadnya, M.S; Achmad Mauludiyanto; Gamantyo Hendranto; Ari Wijayanti; Hani'ah Mahmudah; Muriani 2007, "*Simulation of Rain Rate and Attenuation in Indonesia for Evaluation of Milimeter-Wave Wireless System Transmission*", ICSIT 2007, july 26-27, 2007, Bali Indonesia
- Yadnya, M.S; Maulidiyanto A., Hendranto .G., 2008, "Statistical Of Rain Rates For Wireless Channel Communication In Surabaya", Departement Of Electrical Engineering, WUCN.