

ANALISA POWER CONTROL TERHADAP EFEK REDAMAN HUJAN

Eka Widya Purwitasari¹, Hani'ah Mahmudah², Ari Wijayanti²

¹Mahasiswa Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Telekomunikasi

²Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Surabaya 60111

Email : eka@student.eepis-its.edu E-mail : haniah@eepis-its.edu , ariw@eepis-its.edu

Abstrak

Broadband Wireless Access atau yang lebih sering dikenal dengan BWA merupakan akses pita nirkabel dengan teknologi akses yang dapat menawarkan akses data/internet berkecepatan tinggi dan berkemampuan menyediakan layanan kapanpun dan dimanapun. Untuk mengatasi kendala pada saat transmisi data karena pengaruh curah hujan maka diperlukan perancangan *power control* adaptif dari stasiun pemancar. Metode *power control* yang berfungsi sebagai manajemen daya transmisi dari *transmitter* digunakan secara bersamaan dengan modulasi adaptif untuk mengatasi efek dari *pathloss* dan *slow fading*. Dengan modulasi adaptif dapat mengakomodasi kondisi kanal yang fluktuatif tanpa merugikan pengguna lain dari system. Kemudian dilakukan perhitungan *power control* adaptif dengan step penguatan 0,5 dB, 1 dB, 1,5 dB sehingga dapat diperoleh nilai *probabilitas outage* BER berdasarkan target BER *treshold* modulasi yang semakin kecil dengan adanya penguatan daya.

Kata kunci : BWA (*Broadband Wireless Access*), SST (*Synthetic Storm Technique*), redaman hujan , *power control*

I. PENDAHULUAN

Akses Pita Lebar berbasis Nirkabel atau *Broadband Wireless Access* (BWA) merupakan teknologi akses yang dapat menawarkan akses data/internet berkecepatan tinggi dan berkemampuan menyediakan layanan kapan dan dimanapun (*anytime anywhere*) dengan menggunakan media nirkabel. Terdapat sejumlah layanan yang dapat disediakan oleh penyelenggaraan BWA antara lain akses internet pita lebar, VoIP/Teleponi, Multimedia, layanan on demand, yang dapat diakses melalui 1 (satu) perangkat saja secara bersamaan.

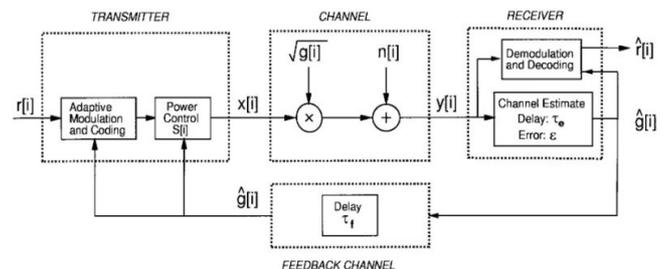
Terdapat 2 (dua) kategori layanan BWA, yaitu Fixed BWA dan Mobile BWA. Fixed BWA menawarkan layanan akses pelanggan tetap (sepaimana yang telah diterapkan pada layanan-layanan BWA sebelumnya), sedang Mobile BWA dapat digunakan untuk akses pelanggan tetap dan bergerak. Sejumlah kelompok industri berusaha mempromosikan standar teknologi yang dikembangkannya berusaha menjadi standar yang dapat diadopsi di seluruh dunia dengan frekuensi yang sama, sehingga perangkat dapat dibuat dalam volume

sangat besar (*mass market volume*), dan harga akan dapat ditekan sedemikian rupa, sehingga pada akhirnya konsumen mendapatkan layanan yang murah, berkualitas dan dapat digunakan di mana saja.

II. BROADBAND WIRELESS ACCESS

2.1 Sistem Transmisi Adaptif

Sistem transmisi adaptif adalah bagaimana mengestimasi kanal dan mengumpan balikkan hasil estimasi ini ke pemancar, sehingga pemancar dapat mengadaptasi parameter transmisinya sesuai kondisi kanal [8]. Pada suatu sistem yang non adaptif terhadap perubahan kanal, suatu nilai margin telah ditentukan untuk dapat tetap menjamin unjuk kerja tertentu pada saat kondisi kanal memburuk. Dengan ini parameter system dirancang untuk kondisi terburuk dari kanal mengakibatkan penggunaan dari kanal menjadi tidak efisien. Pada suatu system adaptif, misalkan dengan variasi laju data (*variable rate*) maka laju data disesuaikan dengan kondisi kanal. Jika kanal dalam keadaan buruk maka laju data diturunkan, dan jika kondisi kanal lebih baik mencapai *treshold* tertentu maka laju di naikan [8].



Gambar 2.1 Model Sistem Transmisi Adaptif

Awal mulanya diamati penggunaan untuk satu lintasan, jika nilai SNR-CS (clear sky) dikurangi nilai redaman, jika pada saat k masih melebihi *treshold* SNR yang ditetapkan untuk satu level modulasi. Maka tidak perlu dilakukan penguatan daya (gain). Begitu pula sebaliknya, pada suatu kondisi kanal yang lebih buruk pada saat SNR CS terkena pengaruh redaman hingga nilainya kurang dari *treshold* sebelumnya maka daya pancar akan dinaikkan atau mengalami penguatan sebesar step daya yang ditentukan. Step penguatan daya yang diterapkan dapat berubah-ubah besarnya, akan tetapi besarnya di ubah secara bertahap, misalnya dengan 0,5 dB, 1 dB, 1,5 dB [8].

Harga daya pancar dapat di ubah dalam rentang waktu dinamis 25 dB .Modulasi yang digunakan adalah level 4QAM ,16 QAM ,64 QAM, 256 QAM untuk parameter BER 10^{-3} dan 10^{-6} . Diasumsikan estimasi kanal beersifat ideal dan delay *feedback* sangat kecil sehingga dapat di abaikan.

2.2 Parameter Variable Adaptif

Banyak parameter yang bisa di variasikan untuk adaptasi dan perubahan gain kanal. Beberapa parameter yang lazim digunakan adalah laju data, daya, pendkodean, probabilitas kesalahan dan tentu saja kombinasi dari parameter-parameter tersebut [8].

a. Teknik Variasi Laju Data (*Adaptive Modulation*)

Pada teknik ini, laju data $R[\gamma]$ bervariasi terhadap perubahan γ kanal. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menetapkan laju simbol dan menerapkan konsep multiple modulasi atau jenis modulasinya ditetapkan dan laju simbolnya di variasikan. Variasi laju simbol sulit untuk di implementasikan karena mengubah-ubah bandwidth sinyal tidaklah praktis dan pemakaian bandwidth menjadi kompleks. Sebaliknya, mengubah ukuran konstelasi atau tipe modulasi dengan laju simbol tetap relatif lebih mudah [8].

b. Teknik Variasi Daya (*Power Control*).

Adaptasi daya pancar tanpa kombinasi dengan teknik lainnya, umumnya digunakan untuk mengatasi variasi SNR. Tujuannya adalah untuk mempertahankan BER tertentu atau bisa dikatakan ekivalen dengan membuat SNR konstan. Dengan adaptasi daya maka fading dapat terkompensasi.

c. Teknik Pengkodean Adaptif (*Adaptive Coding*)

Jika pada modulasi adaptif laju dari simbol di adaptasikan sesuai dengan kondisi kanal dengan cara mengubah level modulasinya, maka pada pengkodean adaptif, laju dari kode juga diubah-ubah sesuai kondisi kanal.

2.3 Konsep Desain Adaptif *Power Control*

Dengan memperhatikan kondisi dan faktor-faktor yang mempengaruhi dalam perancangan sistem kontrol daya adaptif serta disesuaikan dengan statistik redaman hujan yang terjadi, maka dalam tugas akhir ini, sistem yang dianalisa merupakan adaptif *power control* dengan modulasi adaptif pada kanal yang dipengaruhi redaman hujan dan kontrol daya diterapkan pada kondisi ketika SNR mencapai nilai *treshold* modulasi. Perubahan level daya terima *signal-to-noise* yang terkena pengaruh redaman hujan menjadi persamaan seperti berikut[7].

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \left(\frac{S}{N}\right)_0 - A. \text{ (dB)} \quad (1)$$

dimana:

$\left(\frac{S}{N}\right)_0$: SNR pada kondisi clear sky

A : total redaman hujan pada suatu link

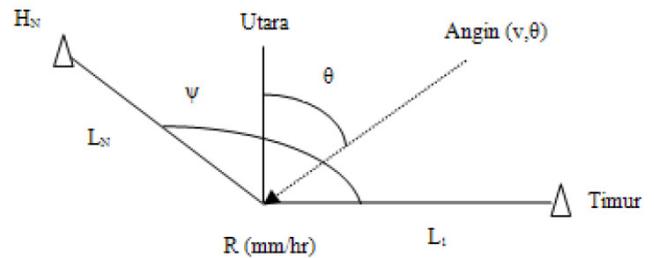
Step penguatan daya tersebut bertujuan untuk mengkompensasi SNR terima yang berada di bawah level *treshold* SNR yang ditetapkan untuk mencapai target BER tertentu, sehingga nilai SNR mengalami penguatan terus menerus sehingga memenuhi kondisi yang diharapkan. Begitu pula sebaliknya, apabila level terima SNR yang diharapkan berada di atas *treshold* adaptif, maka daya pemancar dapat diturunkan sampai pada kondisi tertentu untuk efisiensi daya. Pada bagian ini, penerapan skema *treshold* power control bertujuan untuk mencapai unjuk kerja BER yang semakin meningkat.

III. METODOLOGI

3.1 Redaman Hujan SST (*Synthetic Storm Thecnique*) Multilink

Pengolahan data menggunakan synthetic storm technique dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Membuat asumsi orientasi arah lintasan



Gambar 3.1 Asumsi arah multilink

Data intensitas hujan akan digunakan untuk memprediksi redaman hujan sepanjang lintasan dalam dB dengan orientasi link reference di timur seperti pada gambar diatas. Kecepatan angin pada link untuk link timur sebagai link reference yang diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{r_1} = \left| \frac{v}{\cos(90 - \theta)} \right| \quad (3.1)$$

dengan :

θ = arah kedatangan angin ($^{\circ}$)

v = kecepatan angin (km/jam)

V_r = Kecepatan angin pada lintasan

Untuk kecepatan angin pada link ke-NLN adalah :

$$V_{r_n} = \left| \frac{v}{\cos(\psi - (90 - \theta))} \right| \quad (3.2)$$

Dengan :

V_{r_n} = resultan kecepatan pada link ke-N dengan $N=2,3,4$

ψ = sudut antar link 45° , 90° , 135° dan 180°

2. Menentukan panjang segmen dalam satu lintasan dengan persamaan (3.3)

$$\Delta L = v.T \quad (3.3)$$

dengan T adalah periode sampling (s) dan v_r diperoleh dengan persamaan (3.2)

3. Menentukan nilai redaman hujan dengan

$$persamaan A(n) = \sum_{m=0}^{n-1} kR_{(n-m)}^\alpha \cdot \Delta L_m \quad (3.4)$$

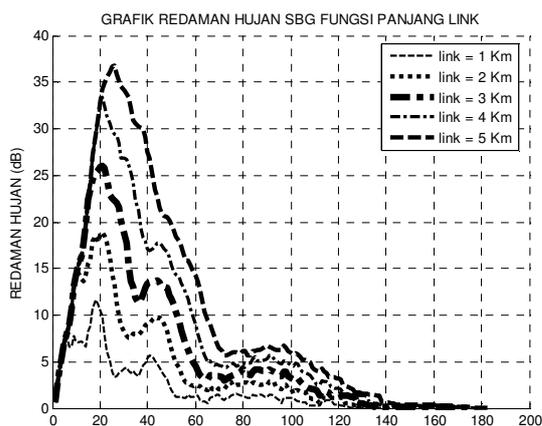
dengan :

A = redaman hujan (dB)

R = intensitas hujan (mm/jam)

k, α = koefisien yang nilainya berdasarkan frekuensi yang digunakan dan jenis polarisasi sinyal yang digunakan sesuai standart ITU-R P.838

ΔL = panjang segmen (km)



Sampel

Gambar 3.2. Grafik Pada Tanggal 19 Desember 2009 Frekuensi 30 Ghz, Frekuensi Horisontal, Link Timur sepanjang 1 Km

3.2 Skenario Kontrol Daya Adaptif

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = \left(\frac{S}{N}\right)_{CS} - A_0 + G_0 \quad (3.5)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_1 = \left(\frac{S}{N}\right)_{CS} - A_1 + G \quad (3.6)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_2 = \left(\frac{S}{N}\right)_{CS} - A_k + (G_k + G) \quad (3.7)$$

$$\dots \dots \dots \left(\frac{S}{N}\right)_k = \left(\frac{S}{N}\right)_{CS} - A_k + G_k \quad (3.8)$$

dengan:

$\left(\frac{S}{N}\right)_k$ = nilai SNR saat ke k

$\left(\frac{S}{N}\right)_{CS}$ = nilai SNR clear sky (tidak terjadi redaman)

A_k = nilai redaman saat ke-k

G_k = nilai penguatan daya komulatif ke k

G = nilai step penguatan daya

Tabel 3-1 menunjukkan nilai SNR-CS untuk lintasan komunikasi 1,2,3,4 dan 5 km di setiap frekuensi 30 GHz.

Panjang Link	S/N clear sky (dB)
	f=30 GHz
1	54,96
2	48,94
3	45,42
4	42,92
5	40,97

SNR yang terukur merupakan nilai SNR clear sky(SNR-CS) yang diperoleh dari perhitungan *link budget* setelah dikurangi dengan redaman hujan yang diperoleh dari simulasi. Dengan cara tersebut, maka diperoleh SNR clear sky *-link budget* untuk panjang lintasan 1-5 km di frekuensi 30 GHz.

Tiap- tiap S/N dipetakan terhadap tipe modulasi berdasar target BER, dengan tujuan untuk mengusahakan BER sistem lebih kecil atau sama dengan BER maksimum.

Tabel 3-2. Nilai *threshold* S/N untuk BER maksimum[10]

BER	Treshold SNR (dB) pada Modulasi			
	4QAM	16QAM	64QAM	256 QAM
10^{-3}	9,8	16,54	22,55	28,5
10^{-6}	13,54	20,42	26,56	33,5

Dari nilai *treshold* S/N tersebut, diperoleh skenario modulasi M-QAM Adaptif dengan memetakan batas interval S/N terhadap tipe modulasi.

Tabel 3-3. Skenario modulasi adaptif untuk BER maksimum [10]

Tipe Modulasi	Interval S/N (dB)	
	BER 10^{-3}	BER 10^{-6}
no transmisi	S/N<9,8	S/N<13,5
4-QAM	9,8<=S/N<16,5	13,55<=S/N<20,4
16-QAM	16,5<=S/N<22,5	20,4<=S/N<26,55
64-QAM	22,5<=S/N<28,5	26,55<=S/N<33,5
256-QAM	S/N>28,5	S/N>33,5

3.3 Efisiensi *Bandwidth Power Control* Adaptif.

Berdasarkan nilai SNR_k modulasi adaptif maka efisiensi *bandwidth* untuk adaptif *power control* dapat dijelaskan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

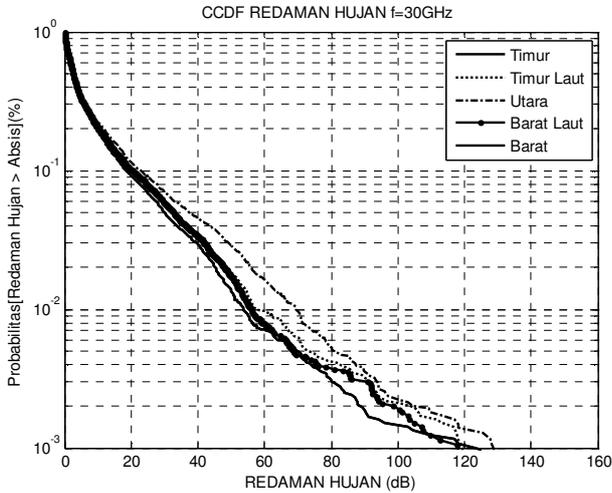
$$\frac{R}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{1,5}{\ln(SBER) \sqrt{1/\gamma}} \right) \quad (3.9)$$

Dimana:

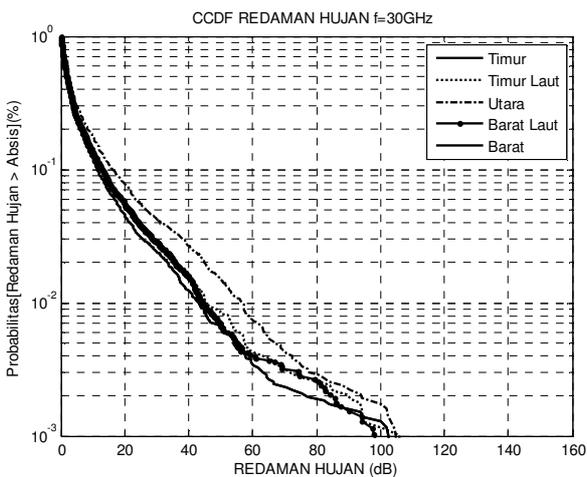
$\frac{P}{E}$ = efisiensi *bandwidth power control* adaptif
 γ = nilai SNR_k modulasi.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Redaman Hujan SST Multilink



Gambar 4.1 Redaman Hujan SST *Multilink* frekuensi 30 GHz, polarisasi horisontal, panjang link 3 km



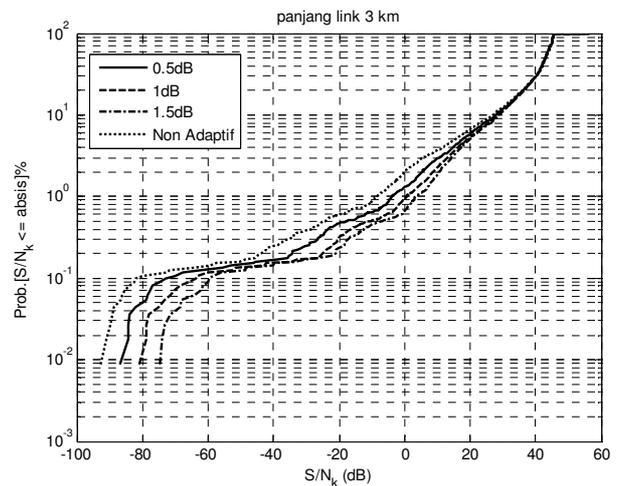
Gambar 4.2 Redaman Hujan SST *Multilink* frekuensi 30 GHz, polarisasi vertikal, panjang link 3 km

Berdasarkan pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 menunjukkan besarnya redaman hujan untuk polarisasi yang berbeda. Pada polarisasi horisontal redaman di setiap link lebih besar dibandingkan dengan redaman polarisasi vertikal. Semakin besar panjang link maka total sample akan semakin besar. Untuk menghitung redaman hujan SST, panjang lintasan harus dibagi dengan panjang segmen untuk melakukan perhitungan konvolusi nilai redaman sesuai persamaan 3-4. Besarnya nilai redaman hujan akan digunakan untuk menentukan nilai SNR_k (SNR terukur) yang kemudian di jadikan acuan untuk mengetahui besarnya nilai *probabilitas outage* di masing – masing lintasan dengan teknik *power control* adaptif.

4.2 Analisa Power Control Adaptif

4.2.1 Analisa grafik CDF data $(S/N)_k$ BER 10^{-3}

Untuk memperoleh nilai SNR_k maka dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk nilai SNR_{cs} berdasarkan tabel SNR_{cs} (tabel 3-1) yang dikurangi nilai redaman hujan kemudian ditambah dengan nilai penguatan daya, seperti yang telah dijelaskan pada persamaan 3.5. Penguatan daya yang yang diberikan besarnya sesuai dengan step daya yang digunakan yaitu 0,5 dB, 1 dB, 1,5 dB untuk mencapai target BER maksimum 10^{-3} .



Gambar 4.3 Grafik CDF SNR_k , 4QAM, link= Timur, polarisasi=Horisontal L= 3 km

Dengan melakukan pengamatan pada gambar 4.3 di atas untuk sistem yang menggunakan modulasi 4 QAM pada link 3 km, dapat dilihat bahwa probabilitas SNR_k kurang dari 9,8 dB (nilai *treshold* SNR pada modulasi MQAM) untuk step penguatan daya yaitu 0,5 dB, 1 dB, 1,5 dB secara berurutan memiliki nilai 2,913 % , 2,00 % , 1,778 % sedangkan untuk tanpa penguatan non adaptif yaitu 3,6307%. Apabila dilihat dari sudut pandang yang berbeda nilai 2,913 % mengandung pengertian bahwa probabilitas nilai SNR_k lebih dari sama dengan 9,8 dB di link Timur utn sebesar 97,087%. Begitu pula untuk step penguatan daya 1 dB , 1,5 dB dan sistem non adaptif memiliki nilai probabilitas SNR_k lebih dari 9,8 dB adalah 97,087% , 98,00% , serta 9,3963%.

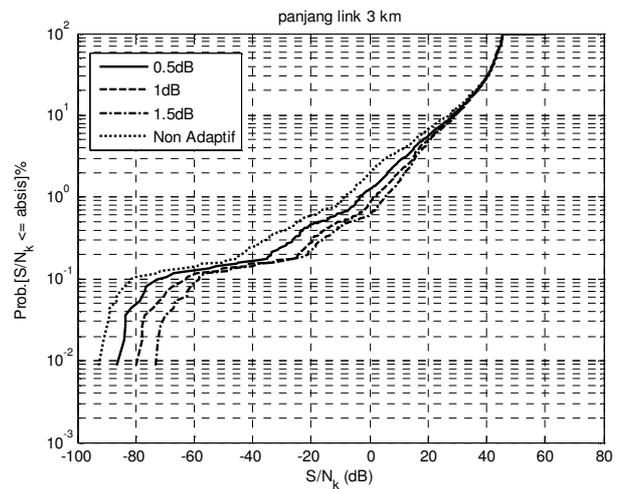
Nilai CDF SNR_k untuk metode transmisi dan panjang lintasan yang berbeda dapat dilihat secara lengkap pada tabel 4-1. Perbandingan nilai probabilitas yang ditunjukkan nilai probabilitas oleh tabel berikut ini menggambarkan adanya nilai yang semakin menurun seiring dengan semakin besarnya step penguatan daya. Hal tersebut dapat diartikan bahwa probabilitas SNR masing-masing *treshold* level modulasi juga meningkat karena adanya penguatan daya yang lebih besar.

Tabel 4-1. Probabilitas $SNR_k < TM$ (%) untuk BER 10^{-3} Timur L=3km, Horisontal

Panjang Lintasan	Modulasi	Mode transmisi			
		Tanpa Penguatan	Step daya 0,5dB	Step Daya 1 dB	Step Daya 1,5dB
1km	4 QAM	0,058	0,052	0,486	0,045
	16 QAM	0,147	0,869	0,620	0,056
	64 QAM	0,295	0,26	0,187	0,169
	256QAM	0,537	0,425	0,312	0,223
2km	4 QAM	0,954	0,822	0,783	0,616
	16 QAM	2,187	0,187	0,138	0,924
	64 QAM	3,548	2,990	1,833	1,513
	256QAM	5,623	4,928	3,987	2,344
3km	4 QAM	3,630	2,913	2,001	1,778
	16 QAM	5,370	4,014	3,221	2,511
	64 QAM	7,762	5,239	4,294	3,548
	256QAM	12,302	8,560	5,768	4,677
4km	4 QAM	4,120	3,824	3,402	3,162
	16 QAM	6,237	5,204	4,850	4,265
	64 QAM	7,943	6,267	5,399	4,677
	256QAM	13,182	9,456	8,492	7,079
5km	4 QAM	7,825	5,624	4,767	3,650
	16 QAM	10,964	7,290	6,187	5,495
	64 QAM	14,454	8,592	7,932	7,063
	256QAM	21,478	10,780	9,445	8,912

4.2.2 Analisa grafik CDF data $(S/N)_k$ BER 10^{-6}

Untuk memperoleh nilai SNR_k maka dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk nilai SNR_{cs} berdasarkan tabel SNR_{cs} (tabel 3-1) yang dikurangi nilai redaman hujan kemudian ditambah dengan nilai penguatan daya, seperti yang telah dijelaskan pada persamaan 3.5. Penguatan daya yang yang diberikan besarnya sesuai dengan step daya yang digunakan yaitu 0,5 dB, 1 dB, 1,5 dB untuk mencapai target BER maksimum 10^{-6} .



Gambar 4.4 Grafik CDF SNR_k , 4QAM, link=Timur, polarisasi=Horisontal, L= 3 km

Dari gambar 4.2 di atas dapat di analisa bahwa probabilitas SNR kurang dari 9,8 dB adalah 3,520% untuk penguatan daya step 0,5 dB , 3,011% hasil untuk penguatan 1 dB, 2,238 % SNR_k untuk penguatan 1,5 dB sedangkan untuk sistem tanpa penguatan 4,379% . Dari nilai-nilai tersebut dapat di diketahui nilai probabilitas nilai SNR_k yang lebih dari 9,8 dB secara berurutan adalah sebagai berikut 96,48%, 96,898%, 97,762%. Pada sistem tanpa adaptif *power control* nilai probabilitas SNR_k yang dimiliki hanya 95,621%.

Untuk dapat mengamati perbandingan nilai probabilitas yang dipengaruhi panjang lintasan dan mode transmisi yang berbeda, untuk memenuhi target BER maksimum 10^{-6} dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4-2 dibawah.

Tabel 4-2. Probabilitas $SNR_k < TM$ (%) untuk BER 10^{-3} Timur Laut

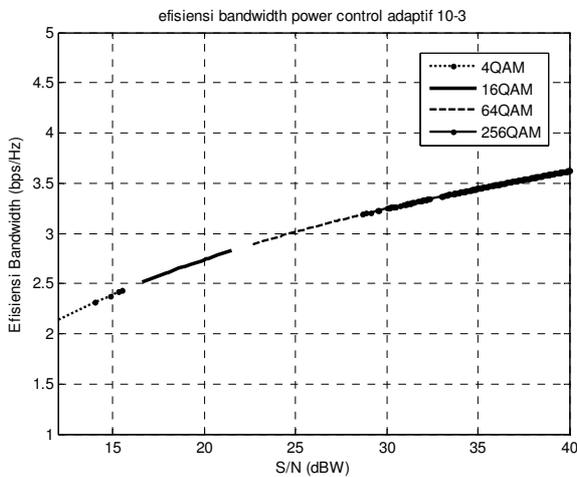
Panjang Lintasan	Modulasi	Mode transmisi			
		Tanpa Penguatan	Step daya 0,5dB	Step Daya 1 dB	Step Daya 1,5dB
1km	4 QAM	0,1035	0,089	0,061	0,0562
	16 QAM	0,264	0,1997	0,013	0,087
	64 QAM	0,397	0,309	0,249	0,2195
	256QAM	1,054	0,623	0,413	0,4914
2km	4 QAM	1,584	1,302	1,019	0,794
	16 QAM	2,941	2,174	1,832	1,2618
	64 QAM	6,913	5,208	3,774	2,904
	256QAM	8,659	7,060	5,712	3,019
3km	4 QAM	4,379	3,520	3,011	2,238
	16 QAM	6,7717	4,763	3,866	3,002
	64 QAM	9,558	7,098	5,226	4,395
	256QAM	16,218	10,362	8,124	6,2008

4km	4 QAM	5,188	4,613	3,458	2,658
	16 QAM	7,780	6,391	4,521	3,991
	64 QAM	11,534	9,009	7,236	5,211
	256QAM	19,769	15,1286	13,739	9,210
5km	4 QAM	9,332	5,1286	5,1286	5,1286
	16 QAM	12,805	8,129	7,324	6,382
	64 QAM	18,879	15,910	12,318	8,023

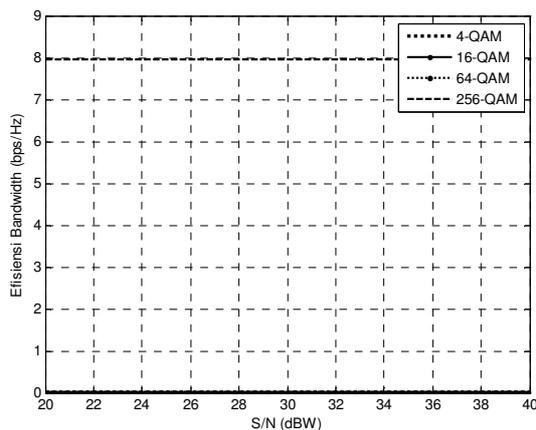
4.3 Analisa Efisiensi Bandwidth Adaptif Power Control

4.3.1 Analisa efisiensi bandwidth BER 10⁻³

Pada bagian ini akan dibahas tentang perbandingan besar nilai efisiensi *bandwidth* modulasi adaptif dengan modulasi adaptif yang kemudian mengalami penambahan gain pada pengamatan BER 10⁻³ pada pada lintasan dengan jarak yang berbeda.



Gambar 4.5. Grafik efisiensi *bandwidth* dengan *power control* BER 10⁻³ (lintasan=multilink, L= 1 km, polarisasi=Horizontal, link Timur)



Gambar 4.6. Grafik *efisiensi bandwidth* tanpa *power control* BER 10⁻³ (Link=Timur, L= 1 km, polarisasi=Horizontal link Timur)

Tabel 4-3. Nilai efisiensi *bandwidth* dengan *power control* BER 10⁻³ (lintasan=multilink, L= 1 km, polarisasi=Horizontal)

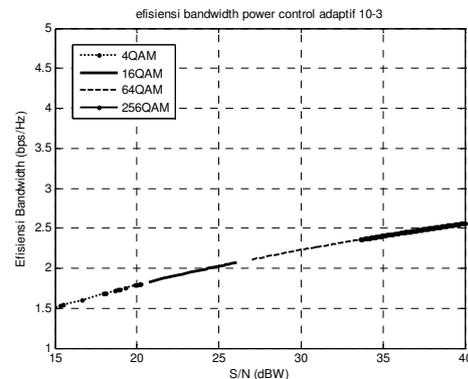
Mode Transmisi	Effisiensi Bandwidth Power Control (bps/Hz)				
	Barat	Barat Laut	Utara	Timur Laut	Timur
4-QAM	2.4298	2.4767	2.4394	2.4716	2.4298
16-QAM	2.8268	2.8567	2.8250	2.8392	2.8268
64-QAM	3.1772	3.1794	3.1806	3.1804	3.1772
256-QAM	4.0496	4.0496	4.0496	4.0496	4.0496

Tabel 4-4. Nilai efisiensi *bandwidth* tanpa *power control* BER 10⁻³ (link=Timur, L= 1 km, polarisasi=Horizontal)

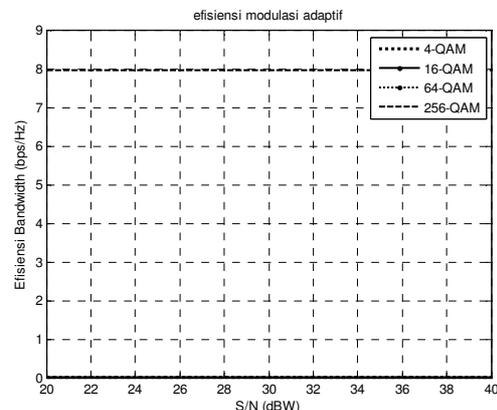
Mode Transmisi	Effisiensi Bandwidth Tanpa Power Control (bps/Hz)				
	Barat	Barat Laut	Utara	Timur Laut	Timur
4-QAM	0.0017	0.0017	0.0023	0.0024	0.0017
16-QAM	0.0059	0.0074	0.0059	0.0052	0.0059
64-QAM	0.0153	0.0104	0.0244	0.0182	0.0153
256-QAM	7.9567	7.9591	7.9421	7.9505	7.9567

4.3.1 Analisa efisiensi bandwidth BER 10⁻³

Pada bagian ini akan dibahas tentang perbandingan besar nilai efisiensi *bandwidth* modulasi adaptif dengan modulasi adaptif yang kemudian mengalami penambahan gain (*power control*) pada pengamatan BER 10⁻⁶ pada pada lintasan dengan fungsi jarak yang berbeda.



Gambar 4.7. Grafik efisiensi *bandwidth* dengan *power control* BER 10⁻⁶ (link= Timur, L= 1 km, polarisasi=Horizontal,)



Gambar 4.8. Grafik *efisiensi bandwidth* tanpa *power control* BER 10⁻⁶

(Link=Timur, L= 1 km, polarisasi=Horisontal)

Untuk lebih jelasnya nilai perbandingan efisiensi bandwidth berdasarkan level treshold modulasi yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4-5 dan tabel 4-6.

Tabel 4-5. Nilai efisiensi *bandwidth* dengan *power control* BER 10^{-6} (lintasan=multilink, L= 1 km, polarisasi=Horisontal)

Mode Transmisi	Effisiensi Bandwidth Power Control (bps/Hz)				
	Barat	Barat Laut	Utara	Timur Laut	Timur
4-QAM	1.802	1.796	1.802	1.796	1.802
16-QAM	2.072	2.088	2.090	2.087	2.072
64-QAM	2.354	2.354	2.351	2.354	2.354
256-QAM	2.954	2.954	2.954	2.954	2.954

Tabel 4-6. Nilai efisiensi *bandwidth* tanpa *power control* BER 10^{-6} (link=Timur, L= 1 km, polarisasi=Horisontal)

Mode Transmisi	Effisiensi Bandwidth Tanpa Power Control (bps/Hz)				
	Barat	Barat Laut	Utara	Timur Laut	Timur
4-QAM	0.0034	0.0033	0.0036	0.0033	0.0034
16-QAM	0.0051	0.0070	0.0118	0.0087	0.0051
64-QAM	0.0395	0.0398	0.0577	0.0365	0.0395
256-QAM	7.9160	7.9121	7.8761	7.9123	7.9160

Pada tabel 4-1 sampai dengan tabel 4-6 menunjukkan bahwa dengan efisiensi adaptif *power control* diperoleh nilai efisiensi bandwidth yang lebih tinggi dibandingkan hanya dengan modulasi tanpa *power control*, sedangkan pada level modulasi 256 QAM nilai efisiensi *bandwidth* modulasi adaptif lebih besar dari pada efisiensi menggunakan *power* hal ini dikarenakan nilai SNR_k sudah memenuhi batas nilai *treshold* untuk SNR level modulasi 256QAM guna mencapai target BER 10^{-3} dan 10^{-6} pada sistem komunikasi link budget.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan redaman hujan menggunakan metode *synthetic storm* dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu intensitas hujan, kecepatan angin, dan arah angin. Berdasarkan nilai redaman hujan yang telah diperoleh dengan menggunakan metode *synthetic storm*, nilai redaman hujan pada lintasan utara lebih besar dari lintasan lainnya, hal ini dikarenakan prosentase arah angin terbanyak terdapat pada arah angin timur atau barat.
2. Pada sistem *power control* adaptif dikombinasikan dengan teknik modulasi adaptif diperoleh nilai *probabilitas outage* terbaik pada link 1 km polarisasi horisontal, BER 10^{-3} dengan modulasi 4 QAM pada link timur sebesar 0,058% untuk nilai SNR tanpa penguatan, 0,052%, 0,048% dan 0,045% untuk besarnya nilai

probabilitas outage ketika mengalami step penguatan (*gain*) 0,5 dB, 1 dB, dan 1,5 dB. Sedangkan untuk nilai probabilitas outage terbesar terdapat pada link utara panjang link 5 km polarisasi horisontal BER 10^{-6} dengan modulasi 256 QAM yang nilainya adalah 28,183% untuk nilai outage tanpa penguatan, 16,231% untuk step 0,5 dB, 15,694% untuk step 1 dB dan 15,135% untuk step 1,5 dB.

3. *Power Control* adaptif sebagai metode mitigasi dapat mengatasi redaman hujan pada sistem komunikasi BWA, karena memiliki kelebihan yaitu meningkatkan efisiensi bandwidth dibandingkan dengan modulasi adaptif. Pada SST multilink pengamatan BER maksimum 10^{-3} , efisiensi *bandwidth power control* adaptif mencapai sebesar 3,1772 bps/Hz dibandingkan dengan modulasi adaptif 0,0153 bps/Hz untuk level modulasi 64 QAM.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kanellopoulos J. D. and P. Kafetzis, May 1986. "Comparison of the Synthetic Storm Tehnique with a Conventional Rain Attenuation Prediction Model", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-34, no.5.
- [2] Mansour A. Aldajani and Ali H. Sayed, "Adaptive Predictive Power Control for the Uplink Channel in DS-CDMA Cellular Systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology* Vol. 52, No. 6, November 2003.
- [3] Mahmudah H., "Prediksi Redaman Hujan Menggunakan *Synthetic Storm Technique* (SST)" Tesis, ITS, 2008.
- [4] Robert E. Collin, 1985. "Antennas and Radiowave Propagation", Mc Graw-Hill, Inc.
- [5] Chen K. S and C. Y. Chu, Progress In Electromagnetic Research, "A Propagation Study of the 28 GHz LMDS System Performance With M-QAM Modulations Under Rain Fading", *PIER* 68, 35 – 51, 2007.
- [6] W.Kusprasetyo dan A.Kurniawan, "Kinerja Power Control dengan Stepzize Adaptif menggunakan Ssatu Bit Perintah pada System CDMA", ITB, 15 Mei 2004.
- [7] Hashemi Homayoun, "The Indoor Radio Propagation Channel", IEEE, 1993.
- [8] J.Goldsmith Andrea, IEEE Transaction In Communication, "Variable-Rate Variable-Power MQAM for Fading Channels", VOL. 45, NO. 10, OCTOBER 1997.
- [9] Ainne, "Analisa Kinerja Modulasi M-QAM dengan Kontrol Daya Adaptif pada LMDS di bawah Pengaruh Redaman Hujan di Indonesia", ITS, 2008
- [10] Sukmana Paulus Jaya, "Evaluasi Modulasi Adaptif M-QAM pada Sistem Komunikasi LMDS terhadap Pengaruh Redaman Hujan", PENS-ITS, 2009

- [11] Arie Chindy Vannie, "Evaluasi Kinerja Teknik Adaptive Power Allocation untuk Sistem OFDM pada Kanal Gelombang Milimeter", ITS, 2009.
- [12] Muhammad, A. A, "Perbandingan Prediksi Redaman Hujan dengan Teknik SST dan ITU-R P.530-10", Proyek Akhir, PENS-ITS,2009