

Simulasi dan Analisis Transmisi *Multihop Mobile WiMAX* Dengan Metode *Hybrid*

Simulation and Analysis of Multihop Transmission for Mobile WiMAX Using Hybrid Method

Muhamad Asvial dan Taufiq Nugroho

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Depok 16424, Indonesia

Abstrak

Makalah ini membahas tentang pengembangan *relay station* untuk transmisi *downlink Mobile WiMAX* dengan menggunakan metode *hybrid*, yaitu metode transmisi yang menggunakan tiga buah transmisi. Ketiga transmisi tersebut yaitu dua buah transmisi yang melewati *relay station* terlebih dahulu baru ke *receiver* dan satu buah transmisi langsung dari pengirim ke penerima. Pada *relay station* ada dua kondisi yang berlaku, yaitu *Decode and Forward (DF)* dan *Amplify and Forward (AF)*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika *Relay Station* dalam mode *forwarding Amplify and Forward (AF)* akan memperoleh BER yang kecil sehingga *throughput* besar dan merupakan peromansi yang terbaik. Ketika masing-masing *relay station* diatur agar menggunakan mode *forwarding* yang berbeda, misalnya AF pada *relay station* 1 dan DF pada *Relay Station* 2 atau sebaliknya akan memperoleh hasil yang sama. Sedangkan ketika kedua *relay station* diatur untuk menggunakan mode *forwarding Decode and Forward (DF)*, maka BER yang dihasilkan besar dan *throughput*-nya pun kecil, dan kondisi ini merupakan yang terburuk.

Kata kunci: *multihop mobile WiMAX, relay station, metode hybrid.*

Abstract

This paper discusses a developing of relay station for Mobile WiMAX downlink transmission using the hybrid method – the transmission method that uses three transmissions. All of the three transmissions where the two transmission pass through the relay station first before to the receiver and one transmission from the transmitter directly passes to the receiver. At the relay station there are two conditions that apply, the Decode and Forward (DF) and Amplify and Forward (AF). Simulation results show that when both relay station in Amplify and Forward (AF) forwarding mode, they will yield low BER so that the throughput will high and this state is the best performance. When both of relay station are arranged to activate different forwarding mode, for example AF in relay station 1 and DF in relay station 2 or the other way, they will yield the same results. When both of relay station are arranged to activate Decode and Forward (DF) forwarding mode, BER will high and throughput will low, and this condition is the worst.

Keywords: *multihop mobile WiMAX, relay station, hybrid method.*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi *wireless* khususnya untuk akses internet yang merupakan pengembangan teknologi *WiFi* dikenal dengan *WiMAX*. Teknologi ini diyakini mampu menjawab kebutuhan konsumen yang amat besar dan dinamis [1] - [3]. Teknologi ini terus berkembang dan dewasa ini banyak menggunakan teknologi *multihop mobile WiMAX* dengan beragam pemodelan untuk mendapatkan unjuk kerja tertentu [4]. Banyak standar yang dikembangkan dan salah satunya adalah menggunakan *hardware* berupa *multi antenna* [5] - [7]. Teknologi akan sulit digunakan dengan kompleksitas dan efisiensi biaya yang cukup tinggi. Oleh karena itu, banyak dilakukan pengembangan dari sisi *software* dengan mengembangkan protokol-protokol pada *layer* 2

dan 3 berdasarkan format *OSI layer* yang lebih dikenal dengan *MAC layer* [8], [9]. Ada juga teknologi yang dikembangkan dengan mengadopsi penggunaan *relay*.

Penerapan *multihop mobile WiMAX* ini dilakukan dengan penambahan komponen pada *WiMAX* konvensional, yaitu *relay station*. Komponen ini dapat bertindak selayaknya *amplifier* maupun sebagai *BTS*. Penambahan ini memberikan keuntungan, yaitu bertambahnya kapasitas dan bertambah luasnya *coverage*.

Penggunaan *relay station* di sini menggunakan dua buah mode *forwarding*, yaitu *Amplify and Forward (AF)* dan *Decode and Forward (DF)*. Mode-mode ini diperkenalkan dalam *United States Patent Application Publication* [10]. Pada *patent* ini dijelaskan mengenai skema pemilihan penggunaan mode *forwarding AF* dan *DF*.

Dalam mentransmisikan data, metode transmisi dengan bantuan *relay station* ini pun ada bermacam-macam. Salah satunya yaitu dengan menggunakan metode *hybrid*. Metode inilah yang akan disimulasikan dan dianalisis unjuk kerjanya. Metode ini penulis

* Corresponding Author.

Email: asvial@eng.ui.ac.id

Received: April 16, 2014; Revised: June 6, 2014

Accepted: June 27, 2014

Published: June 30, 2014

© 2014 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v14.8-14

ketahui dalam suatu presentasi yang dibawakan oleh Pusan National University.

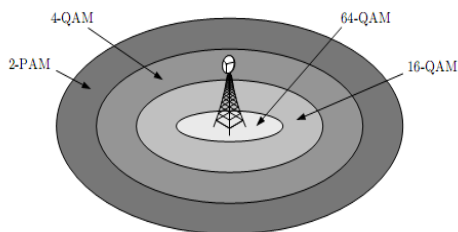
Hasil dari simulasi ini menjelaskan bahwa metode *hybrid* dapat digunakan dalam mentransmisikan data dengan performa yang baik. Selain itu, mode *forwarding* pada masing-masing *Relay Station* sebaiknya berbeda atau kalau pun sama, hanya mode *forwarding Amplify and Forward (AF)* saja. Apabila mode *forwarding* yang digunakan pada masing-masing *Relay Station* sama, yaitu *Decode and Forward (DF)*, maka sistem dipastikan akan memperoleh *loss* yang sangat besar, sesuai yang dijelaskan pada simulasi ini.

II. SISTEM TRANSMISI

A. AMC

Kebutuhan akan kemudahan dalam komunikasi menyebabkan perlunya perancangan suatu sistem komunikasi yang jauh lebih pintar dan cepat, yang mampu menghasilkan akses data yang fleksibel dan efisien. Karena itu, terdapat suatu sistem AMC yang dapat beradaptasi dan mengatur parameter transmisi berdasarkan kualitas *link* yang dapat memberikan efisiensi spektrum terhadap sistem.

AMC didesain untuk bekerja pada kanal yang bervariasi, dimana AMC dapat mengubah skema modulasi dan *coding* yang digunakan sehingga menghasilkan *throughput* yang lebih besar dengan mentransmisikan data dengan modulasi yang memberikan *data rate* yang tinggi pada saat kondisi kanal transmisi sedang baik dan mentransmisikan data dengan modulasi yang menghasilkan *error* yang kecil pada saat kondisi kanal buruk.



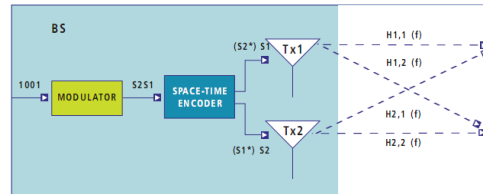
Gambar 1. Pembagian Daerah Kerja pada AMC.

Pada Gambar 1 terlihat bahwa pada wilayah yang jauh dari pemancar sehingga memiliki kualitas kanal yang buruk, digunakan modulasi yang menghasilkan *error* kecil. Namun, pada wilayah yang dekat dengan pemancar digunakan modulasi yang menghasilkan *data rate* yang tinggi.

B. STBC/MIMO Matriks A

MIMO Matrix A menggunakan *space-time coding* (STC), meningkatkan realibilitas transmisi data untuk *mobile modem*, dan menggunakan transmisi *multiple antenna*. Sebuah *cell site* MIMO berakhir menjadi berlipat ganda, salinan *data stream* yang redundan ke penerima untuk meningkatkan kemungkinan bahwa beberapa dari data tersebut bertahan dari *physical path* antara transmisi dan penerimaan dalam keadaan cukup baik untuk memungkinkan *decoding* yang *reliable*. Redundansi ini ada pada ruang (dengan menggunakan beberapa antena), dan waktu.

Kondisi ini sangat mungkin terjadi saat terminal sangat *mobile*, dengan *rapid signal fading* dan penerimaan *multipath*. Dengan menambahkan redundan, *path paralel*, modem telah memiliki dua kali kesempatan untuk menerima salinan data yang bagus. Di bawah kondisi normal stabil (*stationary*), *gain* yang diberikan oleh STC hanya +3 dB, tetapi dalam lingkungan *fading*, seperti ketika melewati antara bangunan dengan cepat, *gain* yang dapat diperoleh sebanyak 5 dB untuk 16-QAM dB dan +10 dB untuk 64-QAM (dibandingkan dengan sinyal *non-STC* di bawah kondisi yang sama)[7]. Hasilnya adalah bahwa sistem dapat menghasilkan *throughput* yang relatif tinggi di bawah kondisi sulit.



Gambar 2. Prinsip Kerja MIMO Matrix A.

Jika simbol yang ditransmisikan adalah x_1 dan x_2 , maka setelah x_1 dan x_2 ditransmisikan dan tercampur dengan *noise* maka persamaan sinyal yang diterima di *receiver* adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} y_1^2 \\ y_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_2^* \\ x_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^2 \\ n_2^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Y adalah matriks pada sinyal yang diterima pada *receiver*. Sedangkan H adalah matriks kanal MIMO, n adalah *noise* yang terjadi akibat kanal *wireless*, dan x adalah informasi yang dikirimkan. Persamaan 1 adalah persamaan sinyal yang diterima pada *timeslot* pertama dan Persamaan 2 untuk *timeslot* yang kedua. Pada *receiver*, untuk mendapatkan kembali sinyal yang asli, diperlukan *decoder STBC*. Adanya matriks H yang dibentuk dari estimasi nilai h_{ij} pada kanal transmisi berfungsi untuk mendapatkan kembali sinyal *independent* sebagaimana yang dikirim dari sisi pengirim. Dengan demikian, sinyal transmisi (x) didapatkan dengan mengalikan *inverse H* dengan sinyal pada *receiver* (y). Jika pada *transmitter* $[Y] = [H]*[X]$, maka pada *receiver* $[X] = (INV[H])*[Y]$.

Jika persamaan 1 dan 2 untuk *timeslot* 1 dan 2 digabungkan, maka persamaannya akan menjadi:

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^{2*} \\ y_2^{2*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \\ h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \\ n_1^{2*} \\ n_2^{2*} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dengan mendefinisikan matriks *channel* MIMO H adalah:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \\ h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \quad (4)$$

Untuk mencari $\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$, maka harus dicari terlebih dahulu inversi dari H . Dengan inversi *pseudo* dapat didefinisikan sebagai:

$$H^+ = (H^H H)^{-1} H^H \quad (5)$$

dengan definisi bahwa,

$$(H^H H) = \begin{bmatrix} |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 & 0 \\ 0 & |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Karena matriks di atas merupakan matriks diagonal, maka jika diinversi, menjadi:

$$(H^H H)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

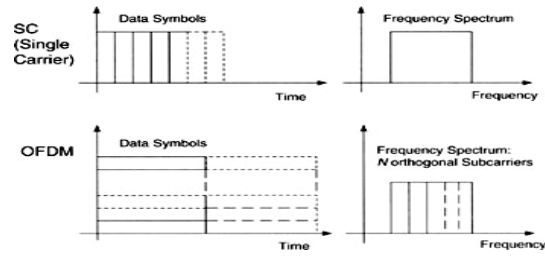
Estimasi simbol yang ditransmisikan dapat dituliskan dengan:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} = (H^H H)^{-1} H^H \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^{2*} \\ y_2^{2*} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Pada MIMO Matriks A , *Code* bekerja dengan sepasang simbol pada satu waktu dan membutuhkan 2 periode waktu untuk mentransmisikan 2 simbol. Sehingga besar *data rate* yang dihasilkan sama dengan data yang memasuki *encoder* namun performa *error* sistem meningkat. Sistem dengan performa SNR yang tinggi, peningkatan pada *error rate* didapat sebagai hasil dari penggunaan *Space-Time code* dapat ditukar dengan kapasitas lebih besar dengan penggunaan modulasi dengan orde lebih tinggi.

C. OFDM

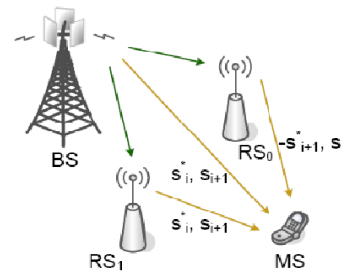
OFDM adalah teknik transmisi yang sangat kuat. OFDM berdasarkan prinsip transmisi secara simultan banyak frekuensi *orthogonal narrow-band*, sering juga disebut OFDM *subcarrier* atau *subcarrier*. Jumlah *subcarrier* sering dinyatakan dengan N . Frekuensi-frekuensi ini saling *orthogonal* satu sama lain yang (dalam teori) mengeliminasi interferensi antara *channel*. Masing-masing *channel* frekuensi dimodulasi dengan berbagai macam modulasi yang mungkin. Frekuensi *bandwidth* yang terkait dengan setiap *channel* ini akan jauh lebih kecil jika dibandingkan total *bandwidth* yang diduduki oleh satu modulasi. Hal ini dikenal sebagai *Single Carrier* (SC). Sebuah waktu simbol data N kali lebih lama, dengan OFDM menyediakan resistansi *multipath* yang jauh lebih baik.



Gambar 3. Representasi Waktu dan Frekuensi dari SC dan OFDM. Dalam OFDM, N data simbol ditransmisikan secara simultan pada N *orthogonal subcarriers*.

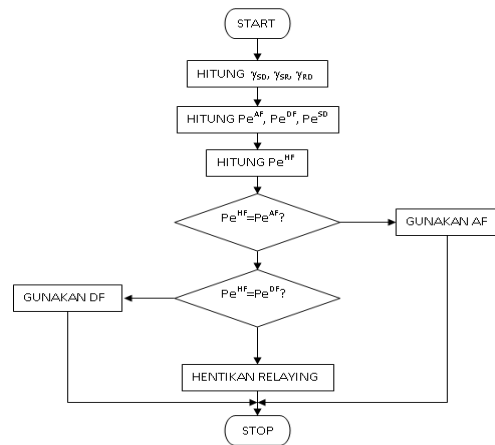
D. Metode Hybrid

Transmisi dengan metode *hybrid* ini menggunakan tiga buah antenna Tx dan Rx serta dua buah *relay station*. Berikut skema metode *hybrid* yang dimaksud. Metode ini menggunakan prinsip STBC.



Gambar 4. Transmisi Metode Hybrid.

Sebuah pemilih skema *forwarding* memilih sebuah skema *forwarding* untuk transmisi. Blok *Amplify and Forward* (AF) menguatkan data yang diterima dari pemilih skema *forwarding*, jika skema AF dipilih. Blok *Decode and Forward* (DF) *men-decode* dan *meng-encode* data yang diterima dari pemilih skema *forwarding*, jika skema DF dipilih [10].



Gambar 5. Flow Chart Skema Pemilihan AF atau DF.

Untuk membuat suatu perbandingan antara AF, DF, dan transmisi *direct*, *data rates* dan daya transmisi total dijaga sama untuk transmisi *direct* dan *relaying*. Untuk skema transmisi *direct*, BPSK digunakan dan terminal sumber mentransmisikan simbol di kedua *time slot*, *odd* dan *even*. Untuk skema *relay*, QPSK digunakan. Terminal *relay* menghitung *bit error probability* tiap *subcarrier* untuk masing-masing AF, DF, dan skema transmisi *direct*.

Terminal *relay* diberitahukan SNR dari simbol di setiap *subcarrier* dalam *link* S-D, R-D, dan S-R. Pengukuran SNR ini di kembalikan ke terminal *relay* pada *virtual diversity channel*. S, R, dan D menyatakan terminal sumber, terminal *relay*, dan terminal tujuan. Karena itu, S-D merepresentasikan *link* dari terminal sumber ke terminal tujuan, R-D merepresentasikan *link* dari terminal *relay* ke terminal tujuan, dan S-R merepresentasikan *link* dari terminal sumber ke terminal *relay*.

Terminal *relay* mengkalkulasikan *bit error probability* tiap *subcarrier* untuk masing-masing AF, DF, dan skema transmisi *direct*. Asumsikan masing-masing probabilitas tersebut direpresentasikan oleh P_e^{AF} , P_e^{DF} , dan P_e^{SD} . P_e^{AF} dapat diberikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_e^{AF} = Q\left(\sqrt{\gamma_s^{AF}}\right), \gamma_s^{AF} = \frac{\left(\gamma_{SD} + \frac{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}{1 + \gamma_{SR}}\right)^2}{\gamma_{SD} + \frac{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}{1 + \gamma_{SR}} + \frac{\gamma_{SR}\gamma_{RD}^2}{(1 + \gamma_{SR})^2}} \quad (9)$$

di mana $Q(\cdot)$ merepresentasikan *Gaussian tail probability function*. P_e^{DF} dinyatakan dengan persamaan :

$$P_e^{DF} = \begin{cases} \left(1 - Q(\sqrt{\gamma_{SR}})Q(\sqrt{\gamma_{SR} + \gamma_{RD}})\right) + Q\left(\frac{\sqrt{(\gamma_{SD} - \gamma_{RD})^2}}{\gamma_{SD} + \gamma_{RD}}\right)Q(\sqrt{\gamma_{SR}}), & \text{jika } \gamma_{SD} - \gamma_{RD} \geq 0 \\ \left(1 - Q(\sqrt{\gamma_{SR}})Q(\sqrt{\gamma_{SR} + \gamma_{RD}})\right) + \left(1 - Q\left(\frac{\sqrt{(\gamma_{SD} - \gamma_{RD})^2}}{\gamma_{SD} + \gamma_{RD}}\right)\right)Q(\sqrt{\gamma_{SR}}), & \text{jika } \gamma_{SD} - \gamma_{RD} < 0 \end{cases} \quad (10)$$

P_e^{SD} diberikan oleh persamaan:

$$P_e^{SD} = Q\left(\frac{\sqrt{\gamma_{SD} + \gamma_{RD}}}{2}\right) \quad (11)$$

Untuk sebuah kombinasi dari *hybrid forwarding* dan transmisi *direct*, *bit error probability* minimum dihitung dengan persamaan :

$$P_e^{HF} = \min(P_e^{AF}, P_e^{DF}, P_e^{SD}) \quad (12)$$

Pada persamaan-persamaan di atas, γ_{SR}, γ_{SD} dan γ_{RD} merepresentasikan SNR dari *subcarrier* yang diberikan pada *link* S-R, S-D, dan R-D.

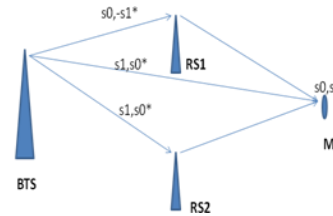
Untuk *subcarrier* yang diberikan, terminal *relay* menyeleksi skema *forwarding* yang menyediakan *bit error probability minimum* sebagai berikut:

- Jika $P_e^{HF} = P_e^{AF}$, maka terminal *relay* akan memilih AF untuk *subcarrier*.
- Jika $P_e^{HF} = P_e^{DF}$, maka terminal *relay* akan memilih DF untuk *subcarrier*.
- Jika $P_e^{HF} = P_e^{SD}$, maka terminal *relay* akan menghentikan *relaying subcarrier*.

III. PEMODELAN TRANSMISI *MULTIHOP MOBILE WIMAX* DENGAN METODE *HYBRID*

Simulasi ini dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Simulink/MATLAB 7.6.0 (R2008a) dengan sistem operasi *Windows XP Professional service pack 2*.

Berikut ini adalah gambaran umum simulasi yang telah dibuat.



Gambar 6. Gambaran Umum Simulasi yang Dibuat.

Pada Gambar 6, jaringan *multihop*, yang menggunakan dua atau lebih hop untuk mentransmisikan data dari *source* ke *destination*, dengan menggunakan metode transmisi *hybrid* dapat dilihat pada *link* yang menghubungkan BTS dengan MS dengan urutan BTS-RS1-MS maupun BTS-RS2-MS. Pada Gambar 6, *link relay* adalah BTS-RS1 dan BTS-RS2. Sedangkan *link access* adalah RS1-MS, BTS-MS, dan RS2-MS.

Pada jaringan tersebut, *relay station* digunakan sebagai amplifier maupun *decoder* dan *encoder*. *Relay station* ini diperlukan untuk membantu mentransmisikan data dari BTS ke MS atau sebaliknya dalam kondisi kanal yang buruk. Kondisi yang dimaksud yaitu letak MS yang jauh atau dipinggiran *cell* sehingga untuk memperoleh kualitas layanan yang baik, maka ditambahkan *relay station* ini. Walaupun kondisi tersebut buruk, namun transmisi *direct* antara BTS dengan MS tetap terjadi.

Simulasi yang dibuat adalah simulasi transmisi pada PHY layer *Multihop mobile WiMAX* dengan metode *hybrid*. Simulasi ini terdiri dari lima bagian utama, yaitu *transmitter*, *channel 1*, *relay station*, *channel 2*, dan *receiver*. Simulasi ini dibuat dengan memodifikasi simulasi atau demo yang ada pada matlab, yaitu "IEEE® 802.16-2004 OFDM PHY Link, Including Space-Time Block Coding". Modifikasi yang dilakukan ada pada penggunaan STBC dari dua antena *transmitter* menjadi tiga antena *transmitter*. Untuk itu, di sisi *receiver* juga perlu dilakukan perubahan dalam blok STBC *combiner*. Selain itu, ditambahkan juga dua buah blok yang masing-masing mewakili satu buah *relay station*.

Pada blok *relay station*, skema pemilihan *forwarding* seperti yang dijelaskan sebelumnya tidak digunakan. Hal ini dikarenakan skema tersebut berjalan secara otomatis sehingga untuk melihat perbedaan masing-masing *forwarding* cukup sulit. Oleh karena itu, skema yang seharusnya digunakan diganti dengan menggunakan suatu konstanta yang dapat memilih skema *forwarding* mana yang aktif.

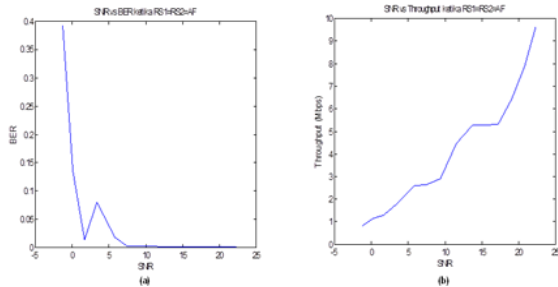
IV. ANALISIS DAN HASIL SIMULASI

Parameter-parameter yang diatur sebelum simulasi dijalankan yaitu besarnya *channel bandwidth* sebesar 3,5 MHz, jumlah simbol OFDM per *burst* sebanyak empat simbol, faktor *cyclic prefix* (CP) sebesar 1/8, dan *low SNR threshold for rate control* pada 4, 10, 12, 19, 22, dan 28 dB.

A. Kinerja Sistem Ketika RS1 dan RS2 Mengaktifkan AF

RS1 diatur agar yang aktif adalah blok AF (*Amplify and Forward*), di mana hanya berisi blok *gain*. Begitu pula dengan RS2, yang aktif hanya blok AF.

Selanjutnya, simulasi dijalankan dengan memvariasikan nilai SNR pada masing-masing *channel* AWGN, dengan besar SNR yang sama, agar dapat dilihat perbandingan antara SNR pada *receiver* dengan BER, dan SNR pada *receiver* dengan *throughput*. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7.



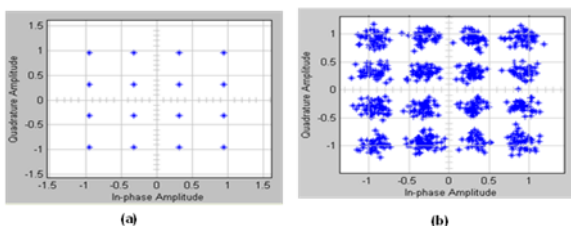
Gambar 7. Performansi Simulasi Pertama.

Gambar 7 (a), secara umum ketika SNR naik, maka nilai BER mengecil sehingga semakin banyak data yang diterima dan semakin sedikit data yang *error*.

Untuk Gambar 7 (b) terlihat bahwa semakin besar SNR maka semakin besar pula *throughput*-nya. Hal ini berkaitan dengan menurunnya nilai BER sehingga banyaknya data yang dikirim (bit) sedikit ada yang *error* ketika sampai di penerima. Besarnya *throughput* yang diperoleh ketika SNR pada AWGN *channel* diatur 21 dB, nilai SNR di *receiver* sebesar 17,21 dB, adalah 5,301836 Mbps.

Pada kondisi ini, *Relay Station* berperan sebagai amplifier yang hanya *me-relay* sinyal data yang dikirimkan oleh OFDM *transmitter*. Selanjutnya, sinyal ini akan dikirimkan kembali oleh *relay station* ke OFDM *receiver* dan akan diproses lebih jauh di *receiver*.

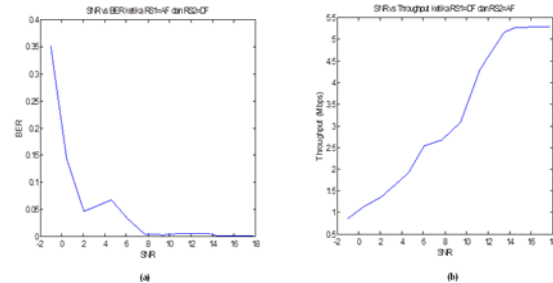
Selanjutnya, data grafik konstelasi diambil dengan besar SNR pada masing-masing blok AWGN *channel* diatur sebesar 21 dB. Diagram konstelasinya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Konstelasi Simulasi Pertama.

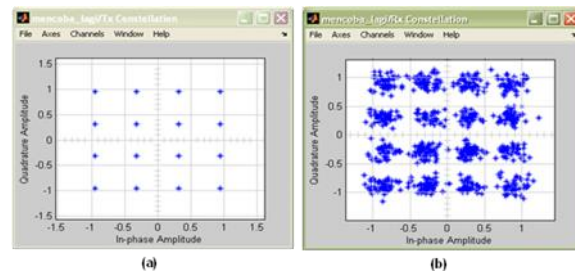
B. Kinerja Sistem Ketika AF Aktif pada RS1 dan DF Aktif pada RS2

Selanjutnya, simulasi kedua dilakukan dengan mengatur RS1 agar mengaktifkan AF dan RS2 mengaktifkan DF. Sama seperti sebelumnya, simulasi ini juga dilakukan dengan memvariasikan nilai SNR pada masing-masing AWGN *channel*.



Gambar 9. Performansi Simulasi Kedua.

Gambar 9 (a) memperlihatkan bahwa ketika SNR naik maka BER akan turun meskipun ada yang nilai BER-nya naik. Pada Gambar 9 (b) dapat dilihat besarnya *throughput* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya SNR karena nilai BER juga menurun. Gambar 10 menunjukkan diagram konstelasinya.

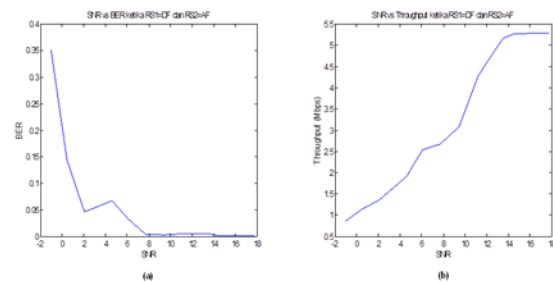


Gambar 10. Konstelasi Simulasi Kedua.

Terlihat bahwa konstelasi yang terbentuk pada *receiver* menyerupai konstelasi pada *transmitter* sehingga dapat dipastikan bahwa transmisi telah berhasil dilakukan dengan baik.

C. Kinerja Sistem Ketika DF Aktif pada RS1 dan AF Aktif pada RS2

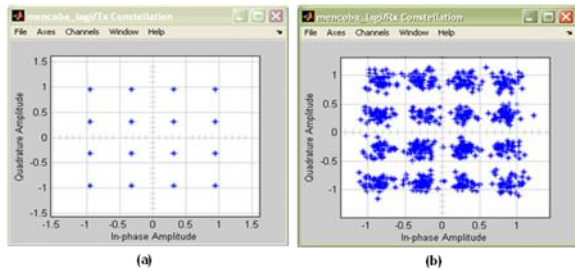
RS1 diatur agar mengaktifkan DF, sedangkan RS2 diatur agar mengaktifkan AF. Untuk melihat perbandingan SNR pada *receiver* dengan BER dan SNR pada *receiver* dengan *throughput*, maka AWGN *channel* diatur nilai SNR-nya.



Gambar 11. Performansi Simulasi Ketiga.

Dari Gambar 11 (a) dapat diketahui bahwa SNR yang semakin besar, maka BER semakin kecil. Sedangkan untuk Gambar 11 (b) semakin besar SNR maka semakin besar pula *throughput*-nya. Nilai-nilai

yang ada pada Gambar 11 ternyata sama dengan nilai-nilai ketika RS1 mengaktifkan AF dan RS2 mengaktifkan DF. Hal ini dikarenakan RS1 dan RS2 memiliki karakteristik yang sama sehingga ketika mode *forwarding* antara dua *relay station* ini ditukar tidak akan ada perubahan data yang diterima oleh *receiver*.

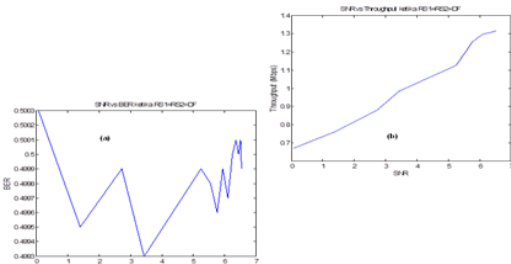


Gambar 12. Konstelasi Simulasi Ketiga.

Gambar 12 menjelaskan diagram konstelasi yang terjadi, di mana modulator yang aktif adalah 16-QAM dengan *rate* 1/2. Dengan melihat diagram konstelasi tersebut transmisi dapat dikatakan berhasil dengan baik.

D. Kinerja Sistem Ketika RS1 dan RS2 Mengaktifkan DF

RS1 dan RS2 masing-masing mengaktifkan *Decode and Forward* (DF). Lalu untuk mengetahui perbandingan antara SNR pada *receiver* dengan BER dan SNR pada *receiver* dengan *throughput*, maka nilai SNR pada masing-masing AWGN *channel* divariasikan.

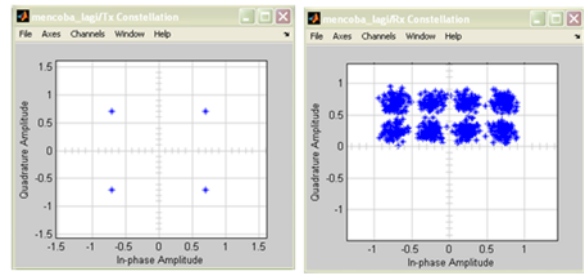


Gambar 13. Performansi Simulasi Keempat.

Hasil yang diperoleh dalam simulasi ini berbeda dari simulasi sebelumnya. Pada Gambar 13 (a), semakin besar SNR pada receiver ternyata BER yang diperoleh tidak jauh berubah yaitu berkisar 0,5 yang merupakan nilai BER yang sangat besar. Ini merupakan suatu *loss* yang sangat besar. Selain itu, ketika SNR pada AWGN *channel* diatur semakin besar ternyata SNR pada *receiver* tidak meningkat jauh. Terlihat bahwa *noise* sangat besar sehingga nilai SNR turun jauh.

Apabila kita melihat Gambar 13 (b), dapat dikatakan bahwa ketika SNR naik maka *throughput* juga akan naik. Namun, kenaikan SNR tidak terlalu jauh. Begitu juga dengan kenaikan *throughput*.

Pada kondisi ini, disadari bahwa *relay station* sangat mempengaruhi unjuk kerja sistem dan sangat merugikan. Karena pada kondisi ini kedua *relay station* mengaktifkan DF, maka seperti ada kekacauan pada data yang diterima oleh *receiver*, seakan-akan data menjadi bertumpuk dan akhirnya pada *receiver* yang diterima hanya setengah dari data yang dikirimkan.



Gambar 14. Konstelasi Simulasi Keempat.

Gambar 14 menunjukkan konstelasi yang terjadi. Terlihat bahwa sistem ini tidak mentransmisikan data dengan baik karena perbedaan konstelasi di sisi pengirim dengan sisi penerima.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dalam empat kondisi tersebut dan dari hasil analisis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Simulasi dengan kondisi RS1 dan RS2 sama-sama mengaktifkan mode *forwarding Amplify and Forward* (AF) menghasilkan unjuk kerja yang paling baik. Tercatat ketika SNR pada AWGN *channel* diatur masing-masing bernilai 21 dB, SNR pada *receiver* diperoleh sebesar 17,21 dB, data yang diterima sebanyak 5306000 bit, data yang *error* sebanyak 4164 bit, dan *throughput* yang diperoleh sebesar 5.301836 Mbps.
- Simulasi dengan kondisi RS1 mengaktifkan AF dan RS2 mengaktifkan DF memperoleh unjuk kerja yang sama dengan simulasi ketika kondisi RS1 mengaktifkan DF dan RS2 mengaktifkan AF. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan SNR vs BER dan SNR vs *Throughput* yang sama pada dua kondisi tersebut. Begitu pula dengan konstelasinya. Secara kuantitatif juga diperlihatkan kesamaannya. Contohnya ketika SNR di AWGN *channel* diatur sebesar 21 dB, SNR pada *receiver* sebesar 15,56 dB, data yang diterima sebanyak 5284000 bit, data yang *error* sebanyak 5389 bit, dan besarnya *throughput* sebesar 5,278611 Mbps.
- Simulasi dengan kondisi RS1 dan RS2 sama-sama mengaktifkan DF adalah simulasi dengan unjuk kerja atau hasil yang paling buruk. Tercatat ketika SNR pada AWGN *channel* diatur sebesar 21 dB, SNR pada receiver didapat sebesar 6,368 dB, banyaknya data yang diterima sebanyak 2615000 bit, data yang *error* sebanyak 1307000 bit, dan *throughput* yang diperoleh sebesar 1,308 Mbps.
- Dari simulasi yang dilakukan, penggunaan *relay station* pada transmisi metode *hybrid* ini sangat dihindari kondisi di mana RS1 dan RS2 sama-sama mengaktifkan DF karena performa yang buruk dan sangat merugikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] *Local and metropolitan area networks; Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access*, IEEE Std. 802.16, 2004.
 [2] *Local and metropolitan area networks; Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1*, IEEE Std. 802.16e, 2005.

-
- [3] WiMAX Forum (2006) Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation. [Online]. Available: http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_PartI_Overview_and_Performance.pdf
- [4] WiMAX Forum White Paper, “Mobile WiMAX - Part I: a technical overview and performance evaluation”, March 2006.
- [5] G. Nair, J. Chou, T. Madejski, K. Perycz, D. Putzolu, and J. Sydir, “IEEE 802.16 medium access control and service provisioning”, *Intel Technology Journal*, vol. 3, iss. 3, pp. 216-217, August 2004.
- [6] (2007) Multiple Antenna System in WiMAX; an Introduction to MIMO, SAS and Diversity. [Online]. Available: www.airspan.com
- [7] A. Salvekar, S. Sandhu, Q. Li, M. A. Vuong, X. Qian, “Multiple-Antenna Technology in WiMAX Systems, Intel Technology Journal, vol. 08, iss. 03, pp. 229-240, August 2004.
- [8] K. Sankar. (2009) Alamouti STBC with 2 receive antenna. [Online]. Available: <http://www.dsplog.com/2009/03/15/alamouti-stbc-2-receive-antenna/>
- [9] I. K. Fu, W. H. Sheen, F. C. Ren, “Deployment and radio resource reuse in IEEE 802.16j multi-hop relay network in Manhattan-like environment”, in *Proc. 6 th ICICS*, 2007, DOI: 10.1109/ICICS.2007.4449752, pp. 1-5
- [10] B. Can, H. Yomo, E. Carvalho, K. Sivanesan, D. Y. Kim, M. D. Katz, D. S. Park, and S. K. Hong, “Hybrid Forwarding Apparatus and Method of Cooperative Relaying in An OFDM Network” U. S. Patent 7 746 815, Jun. 29, 2010.