

KOMBINASI ADAPTIVE MODULATION DAN CODING DENGAN CROSS LAYER UNTUK JARINGAN WIRELESS

Budi Prasetya
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
budiprasetya@telkomuniversity.ac.id

Adit Kurniawan
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
Bandung, Indonesia
adit@stei.itb.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan komunikasi *wireless* mendorong meningkatnya pemenuhan kebutuhan disisi pengguna dalam hal layanan data kecepatan tinggi secara *real time*, memperbaiki kualitas sinyal dan peningkatan *data rate* dengan tetap menjaga efisiensi spektrum, *delay* yang rendah, penghematan energi bahkan sebisa mungkin dengan kompleksitas sistem yang rendah. Permasalahan komunikasi data kecepatan tinggi adalah *frequency selective fading* yang muncul ketika dihadapkan dengan kanal propagasi *multipath*, hal ini diatasi dengan OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Untuk mengatasi masalah kanal yang berfluktuatif, dibutuhkan suatu cara agar sistem mampu menyesuaikan terhadap kondisi kanal. Pada makalah ini menerapkan teknik *cross-layer* dengan mengkombinasikan AMC (*adaptive modulation and coding*) pada *layer* fisik dan ARQ (*automatic repeat request*) yang terpotong pada *layer data link*. Dari hasil simulasi awal dapat dilihat bahwa sistem *adaptive* memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan sistem *non adaptive* dalam efisiensi *bandwidth* maupun efisiensi daya.

Kata kunci

cross-layer, AMC, ARQ, OFDM

1. PENDAHULUAN

Problem utama dari sistem *mobile wireless communication* adalah pada kanal propagasi akibat *multipath fading* dan pergerakan user/benda di sekitar yang bisa menurunkan kualitas komunikasi. Pada [1] telah dilakukan penelitian untuk mengatasi masalah dalam kanal komunikasi *wireless* yaitu adanya fenomena *multipath fading* tetapi masih belum menganalisis *time varying channel*. Pada [1], sinyal yang diterima merupakan penjumlahan dari sinyal langsung dan sejumlah sinyal terpantul dari berbagai objek yang bisa mengakibatkan *frequency selective fading*. Salah satu teknik untuk mengatasi efek *multipath fading* pada pengiriman data kecepatan tinggi adalah dengan menggunakan teknik modulasi *multicarrier* OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Dengan adanya OFDM, sinyal yang mengalami *frequency selective fading* akan terasa *flat fading* di penerima dan dengan sifat orthogonalitas antara *subcarrier-subcarrier* maka penggunaan *bandwidth* akan lebih efisien.

Akibat pergerakan user/benda di sekitarnya mengakibatkan *time varying channel*, kinerja link nirkabel semakin rusak yang bisa membatasi *throughput* sistem secara keseluruhan

jika dibandingkan dengan alternatif komunikasi *wireline*. Untuk meningkatkan *throughput* dalam sistem komunikasi data nirkabel terkini dan masa depan, modulasi dan pengkodean adaptif atau Adaptive Modulation and Coding (AMC) telah dipelajari secara mendalam dan diusul diterapkan pada lapisan fisik, dalam rangka untuk menyesuaikan kecepatan transmisi dengan perubahan kondisi kanal, seperti telah diteliti pada [2], [3], [5] - [8] dan referensi di dalamnya. Namun, untuk mencapai keandalan yang tinggi pada lapisan fisik, kita harus mengurangi kecepatan transmisi baik dengan menggunakan modulasi tingkat rendah, atau, *powerfull* tetapi dengan pengkodean *error-control* yang *low-rate*.

Alternatif lain untuk mengurangi efek kanal *fading* adalah dengan menggunakan *automatic repeat request* ARQ protokol pada lapisan *data link*, yang meminta transmisi ulang bagi paket-paket yang diterima dan mengalami kesalahan. Karena retransmisi diaktifkan hanya bila diperlukan, maka ARQ cukup efektif dalam meningkatkan *throughput* sistem secara relatif terhadap sistem yang hanya menggunakan *forward error coding* (FEC) pada lapisan fisik [9]. Untuk meminimalkan *delay* dan ukuran buffer, dalam prakteknya protokol ARQ yang terpotong telah banyak diadopsi dengan membatasi jumlah maksimum retransmisi. Penelitian [9] ini hanya dibatasi pada pemilihan jenis modulasi dan coding yang tetap pada *layer* fisik tetapi telah dipertimbangkan dalam sistem dengan protokol ARQ yang terpotong.

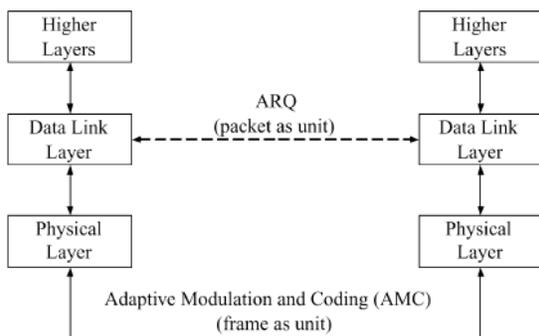
Dengan mempertimbangkan AMC pada lapisan fisik dan ARQ yang terpotong pada lapisan *data link* secara terpisah, pada penelitian [4] telah diusulkan desain *cross layer* yang menggabungkan dua lapisan berbeda untuk memaksimalkan efisiensi spektral, atau *throughput*, termasuk *delay* yang telah ditentukan di bawah standar dan kinerja error juga menjadi batasan. Dengan diterapkan ARQ sesekali dapat mengoreksi kesalahan paket di lapisan *data link*, persyaratan error kontrol yang semula ketat diringankan untuk AMC pada lapisan fisik.

Namun penelitian [4] yang sudah dilakukan baru diterapkan pada standard IEEE 802.11a atau HIPERLAN serta masih menggunakan asumsi pada pengirim tidak mengetahui kondisi kanal atau CSI (*Channel State Information*). Pada makalah ini mencoba mengusulkan *cross layer* yang menggabungkan AMC pada *layer* fisik dengan Truncated ARQ yang diterapkan pada jaringan *wireless* 3G serta jaringan mendatang. Teknologi kunci jaringan masa depan adalah OFDM dan MIMO yang menerapkan CSI pada sisi pengirim.

Susunan dari makalah ini terdiri dari bagian sebagai berikut: pemodelan sistem *cross layer* secara umum dijelaskan pada section II, pembahasan tentang *Adaptif Modulation & Coding* dipaparkan disection III, Pemodelan sistem pada *Adaptif Modulation & Coding* dipaparkan di section IV, hasil simulasi pada *layer* fisik dipaparkan pada section V, sedangkan kesimpulan disampaikan pada section VI.

2. PEMODELAN SISTEM CROSS-LAYER

Pada makalah ini akan diusulkan desain *cross layer* yang menggabungkan modulasi adaptif dan pengkodean pada lapisan fisik dengan protokol *automatic repeat request* ARQ yang terpotong pada lapisan *data link*. Model secara umum dari sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Struktur *Cross layer* mengkombinasikan AMC dan ARQ [4]

3. ADAPTIF MODULATION & CODING

3.1. Adaptif Modulation and Coding

Modulasi adaptif merupakan salah satu cara untuk meningkatkan *tradeoff* antara efisiensi *bandwidth* dan kualitas dari layanan yang akan diberikan. Penggunaan modulasi adaptif akan memberikan keuntungan pada kondisi lingkungan yang selalu berubah-ubah sepanjang waktu. Kanal yang digunakan pada komunikasi *wireless* akan selalu berubah sehingga akan mempengaruhi kinerja sebuah sistem terutama apabila kita menggunakan modulasi yang *fixed*. Hal ini akan berbeda jika kita menggunakan skema modulasi yang adaptif sesuai dengan keadaan kanal pada saat itu. Pilihan jenis modulasi yang digunakan pada modulasi adaptif penelitian ini adalah BPSK, QPSK dan 16QAM.

Prinsip dari modulasi adaptif itu sendiri adalah perubahan skema modulasi yang sesuai dengan kondisi kanal saat itu, biasanya parameter yang digunakan adalah nilai SNR-nya. Misalnya jika kondisi kanal sedang buruk atau nilai SNR yang rendah, maka skema modulasi yang rendah akan digunakan pula, misalnya BPSK dan *channel coding* dengan *code rate* 1/3. Sejalan dengan perubahan kondisi kanal, apabila kondisi kanal bagus, maka skema modulasi yang lebih tinggi (16 QAM) akan digunakan, sehingga akan memberikan kapasitas yang lebih pada sistem, dan demikian selanjutnya.

Menurut penelitian [2] dan [3] disebutkan bahwa perubahan parameter transmisi merupakan respon transmitter terhadap kondisi kanal yang *time-varying*. Untuk mengefisienkan

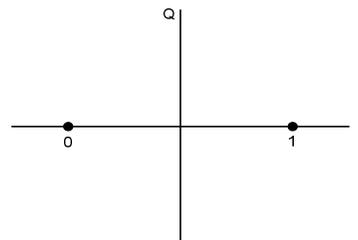
reaksi terhadap perubahan pada kualitas kanal, maka langkah-langkah yang dapat ditempuh adalah:

1. Estimasi kualitas kanal
Estimasi ini diperlukan untuk memilih parameter transmisi yang diperlukan untuk proses transmisi berikutnya secara tepat.
2. Memilih parameter yang tepat untuk transmisi selanjutnya.
Berdasarkan prediksi dari kondisi kanal untuk *timeslot* berikutnya, *transmitter* harus memilih mode modulasi yang sesuai untuk digunakan.
3. *Signaling* atau *blind detection* parameter yang dipakai.
Penerima harus diberi informasi parameter *demodulator* mana yang harus dipakai untuk paket yang diterimanya. Informasi ini bisa dibawa langsung dalam simbol OFDM sendiri atau penerima dapat mengestimasi parameter yang dipakai oleh *transmitter* dengan mekanisme *blind detection*.

Tujuan utama penerapan *adaptive modulation and coding* adalah meningkatkan performansi sistem dalam hal efisiensi *bandwidth*, reduksi SNR dan BER. Adaptif Coding pada Penelitian ini menggunakan *Turbo code* dan *Convolutional code*. Apabila kanal transmisi sangat buruk maka algoritma akan memilih *Turbo code*, apabila kanal tidak terlalu buruk maka algoritma akan memilih *Convolutional code*.

1) Modulasi BPSK, QPSK dan 16QAM

BPSK atau Binary Phase Shift Keying merupakan jenis modulasi digital dimana sinyal informasi akan mempengaruhi fasa dari sinyal pembawa tanpa merubah amplitudo ataupun frekuensinya. Pada BPSK terdapat dua simbol sinyal yang masing-masing simbolnya direpresentasikan 1 bit dan masing-masing simbol tersebut berbeda fasa sebesar 180 derajat.



Gambar 2. Diagram Konstelasi BPSK

Jika sinyal pembawa sinusoidal mempunyai amplitudo A_c dan energi per *bit* E_b sebesar $\frac{1}{2} A_c^2 T_b$, maka sinyal BPSK yang ditransmisikan dapat dinyatakan sebagai:

$$S_{BPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \theta_c), \quad 0 \leq t \leq T_b \quad (1)$$

QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) merupakan modulasi PSK dengan perbedaan fasa untuk masing-masing simbol sebesar 90 derajat. QPSK mempunyai *bandwidth* dua kali lebih efisien daripada BPSK karena untuk masing-masing simbol direpresentasikan dengan 2 bit.

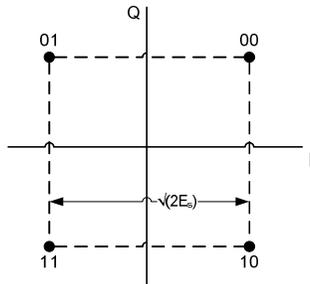
Persamaan matematis untuk menyatakan sinyal QPSK adalah:

$$S_{QPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left[2\pi f_c t + (i-1)\frac{\pi}{2}\right]$$

$$0 \leq t \leq T_s, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

dimana T_s merupakan durasi simbol yang bernilai dua kali periode bit, dan E_s adalah Energi Simbol.

Diagram konstelasi QPSK dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



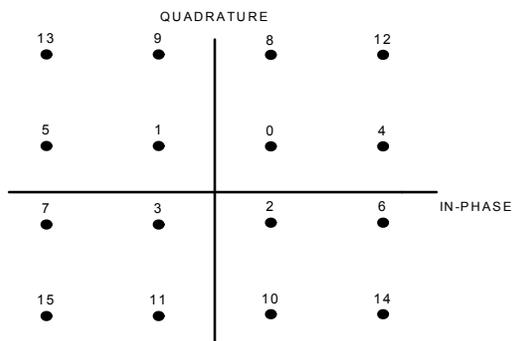
Gambar 3. Diagram Konstelasi QPSK

Modulasi M -ary QAM merupakan modulasi PSK dengan amplitudo sinyal *carrier* yang berubah-ubah, sehingga pada diagram konstelasinya tidak berupa lingkaran seperti pada M-PSK. Bentuk umum dari sinyal M-QAM sendiri dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_{min}}{T_s}} a_i \cos(2\pi f_c t) + \sqrt{\frac{2E_{min}}{T_s}} b_i \sin(2\pi f_c t) \quad (3)$$

Dimana E_{min} merupakan energi dari sinyal dengan amplitudo terkecil, a_i dan b_i adalah pasangan nilai *integer* yang ditentukan menurut lokasi dari masing-masing titik sinyal. Modulasi 16-QAM tidak memiliki energi per simbol yang konstan atau tidak memiliki jarak yang konstan antar simbol.

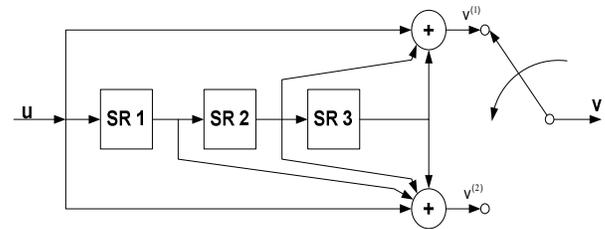
Diagram konstelasi untuk 16QAM dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Konstelasi 16QAM

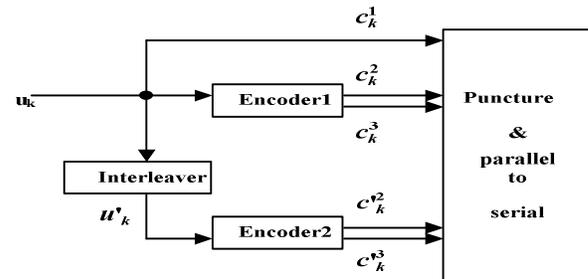
2) Convolutional dan Turbo Coding

Kode konvolusional dibangkitkan dengan melewati deretan informasi melalui *finite-state shift register* yang linier. Struktur dasar kode konvolusional (n, k, m) dengan pola $(2,1,3)$ ditunjukkan pada gambar 5 dibawah ini. Dimana digunakan $m = 3$, menunjukkan jumlah *shift register* atau *memory* pada tiap tingkat, $k = 1$, yaitu jumlah masukan, dan $n = 2$, yaitu jumlah keluaran.



Gambar 5. Struktur dasar encoder konvolusional dengan pola (2,1,3)

Struktur *turbo encoder* terlihat pada gambar 6. *Turbo encoder* terdiri dari dua RSC *encoder* (*Recursive Systematic Convolutional Encoder*) yang identik terhubung secara paralel dengan sebuah *interleaver* (*inner interleaver*) menuju RSC *encoder* kedua. Dua RSC *encoder* tersebut dinamakan *encoder* konstituen dari *turbo encoder*. Input kedua *encoder* tersebut sebenarnya adalah data yang sama, tetapi data yang masuk ke *encoder* kedua urutannya diacak terlebih dahulu dengan menggunakan *interleaver* (*inner interleaver*). *Puncture* berfungsi untuk menghapus bit-bit tertentu dari *encoder* sehingga diperoleh jumlah bit *output* sebesar R , jika panjang bit *input* adalah 1 maka *encoder* akan memiliki *code rate* = $1/R$ dengan *tail* bit ditambahkan pada ujung *frame* yang akan ditransmisikan. Karena keluaran *puncture* berupa data paralel maka harus diubah terlebih dahulu menjadi data serial sebelum menuju blok berikutnya.



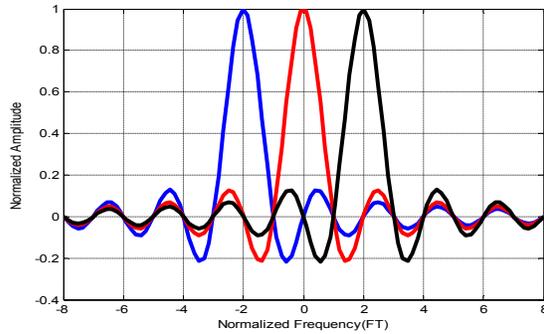
Gambar 6. Turbo encoder parallel concatenated

3.2. Sistem Komunikasi OFDM

Konsep dasar OFDM adalah membagi data serial kecepatan tinggi menjadi data paralel kecepatan rendah yang ditransmisikan dengan beberapa *subcarrier*. Masing-masing *subcarrier* dibuat saling *orthogonal* yang memungkinkan *spectral overlap* untuk efisiensi *bandwidth*. Keuntungan lain sistem OFDM adalah kemampuan mereduksi efek kanal *multipath*, karena kanal dengan sifat *frequencyselective fading* terhadap sinyal OFDM akan dirasa bersifat *flat fading* pada masing-masing *sub-carrier*.

3) OFDM menggunakan Inverse DFT

Penggunaan *discrete fourier transform* (DFT) pada sistem OFDM akan mengurangi tingkat kompleksitas sistem pengirim dan penerima. DFT digunakan untuk menghasilkan *subcarrier* yang *orthogonal*, untuk mempersingkat waktu komputasi dapat diimplementasikan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT).



Gambar 7. Spektrum tiga sub-carrier

Untuk membangkitkan *baseband* simbol OFDM, urutan data serial pertama dimodulasi menggunakan skema modulasi seperti *Phase Shift Keying* (PSK) atau *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Simbol data ini kemudian dikonversi menjadi urutan data paralel dengan menggunakan *serial to paralel* sebelum modulasi *multicarrier*. Tiap *Subcarrier* disampling dengan *sampling rate* N/T_s , dimana N adalah jumlah *subcarrier* dan T_s adalah durasi simbol OFDM. Pemisahan frekuensi antar *subcarrier* yang berdekatan adalah $2\pi/N$. Simbol OFDM merupakan penjumlahan dari tiap *subcarrier* yang dinyatakan dengan persamaan berikut: [8]

$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \exp \left\{ j \frac{2\pi mn}{N} \right\}, \quad 0 \leq m \leq N - 1 \quad (4)$$

Dimana:

N = jumlah point IDFT (*subcarrier* total) yang digunakan

X_n = simbol data yang ditransmisikan pada *subcarrier* ke- n (kawasan frekuensi)

x_m = simbol OFDM output proses IDFT

Tujuan dari proses ini adalah untuk membuat *orthogonalitas* antar *subcarrier*, sehingga spektrumnya dapat dibuat saling *overlapping*. IDFT dapat diimplementasikan dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT).

4) Guard Time dan Cyclic Prefix

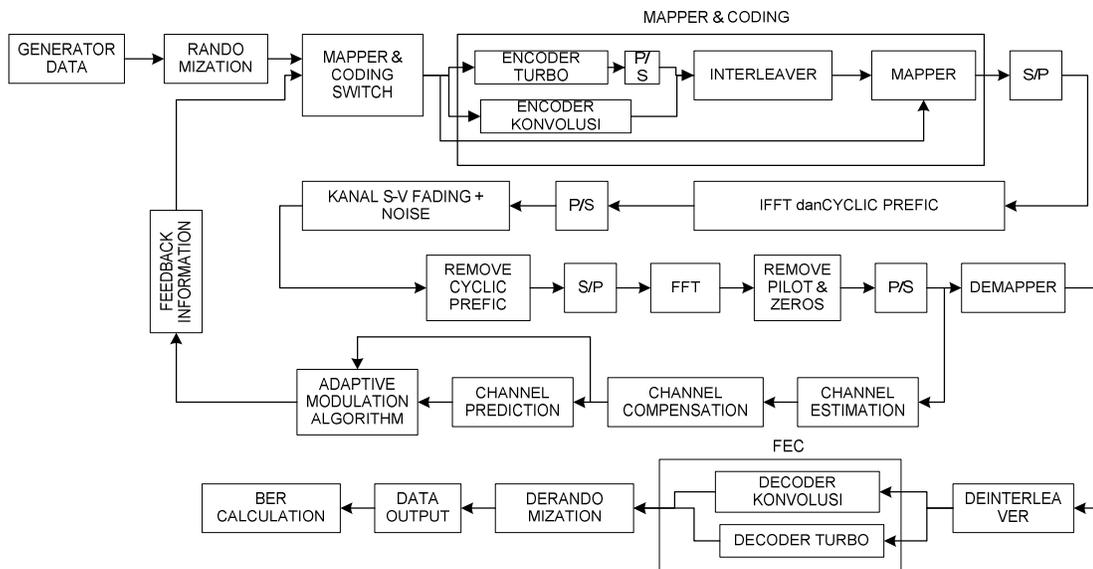
Untuk mengurangi efek ISI, *guard time* ditambahkan pada awal tiap simbol OFDM sebelum ditransmisikan dan dibuang kembali dipenerima sebelum dilakukan operasi DFT. Jika *guard time* dipilih sehingga durasinya lebih panjang daripada *delay spread*, ISI akan dapat dieliminasi.

Guard time yang dipilih adalah beberapa data simbol terakhir dari satu simbol OFDM agar *orthogonalitas subcarrier* OFDM tetap terjaga. Panjang *guard time* yang dibutuhkan tergantung dari kondisi *delay spread* kanal, tetapi panjang *guard time* harus melebihi *delay spread*. *Guard time* yang tadi dipilih, *copy*-kan menjadi *prefix* satu simbol OFDM, dan hal ini disebut *cyclic prefix*.

4. MODEL AND SIMULATION ADAPTIF MODULATION AND CODING

4.1. Model Sistem

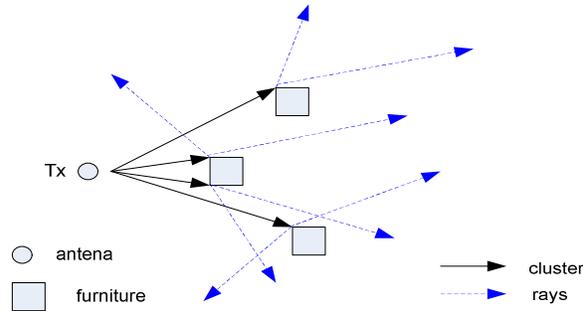
Gambar 8 dibawah adalah model *layer* fisik sistem yang telah menerapkan AMC di dalamnya. Kanal masih dimodelkan untuk *indoor* dengan model Saleh Valenzuela dan ada tambahan noise AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)



Gambar 8. Penerapan AMC pada layer fisik [2]

4.2. Channel Model

Kanal transmisi yang digunakan pada makalah ini terdiri dari kanal *multipath fading* indoor dengan model Saleh-Valenzuela dan ditambah dengan kanal *noise* terdistribusi *Gaussian* (AWGN). Pada model kanal ini sinyal *multipath* akan terbagi-bagi dalam bentuk kelompok *cluster* di mana dalam setiap *cluster* mengandung sejumlah *ray*. *Cluster* dimaksud dalam pemodelan ini adalah sejumlah sinyal yang keluar dari antenna Tx, sedangkan *ray* adalah sinyal – sinyal yang memantul dan berpancar dari setiap *cluster* akibat mengenai furnitur (partisi) di dalam ruangan. Asumsi kondisi partisi memiliki bentuk konstan di setiap sisi, ilustrasi *cluster* dan *ray* diperlihatkan oleh gambar 9.

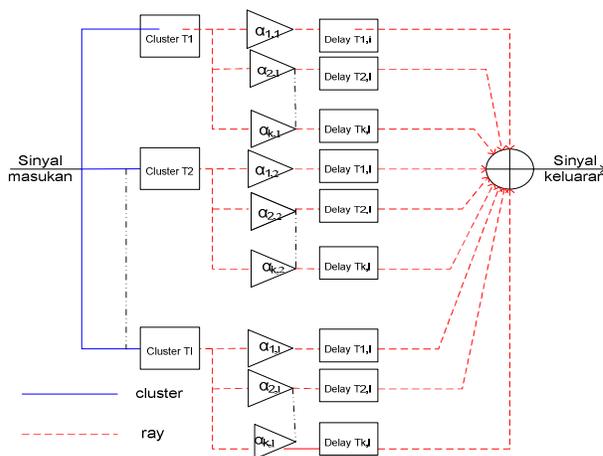


Gambar 9. Model *cluster* & *rays*

Skenario *channel model* (CM) yang dilakukan pada penelitian ini adalah untuk kondisi Line of Sight (LOS) dan Non Line of Sight (NLOS) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- CM1 kondisi LOS dengan jarak Tx-Rx (0-4)meter
- CM2 kondisi NLOS dengan jarak Tx-Rx (0-4)meter
- CM3 kondisi NLOS dengan jarak Tx-Rx (4-10)meter
- CM4 kondisi NLOS dengan jarak Tx-Rx >10meter

Pemodelan sinyal kanal Saleh-Valenzuela dapat dilihat pada gambar 10 di bawah:



Gambar 10. Model kanal Saleh-Valenzuela

4.3. Parameter Simulasi Tahap Awal

Parameter yang digunakan pada simulasi makalah ini mengadopsi parameter sistem standard IEEE.802.15.3a atau UWB:

- Jumlah *subcarrier* = 128 *subcarrier*
- *Subcarrier* untuk data = 100 *subcarrier*
- *Subcarrier* untuk pilot = 12 *subcarrier*
- *Subcarrier* untuk zeropadding dan Guard Interval GI = 16 *subcarrier* (10 GI dan 6 ZP)
- Periode simbol OFDM = 312.5 ns
- Mapping = BPSK, QPSK dan 16-QAM
- *Code rate* = 1/3 turbo, 3/4 konvolusi

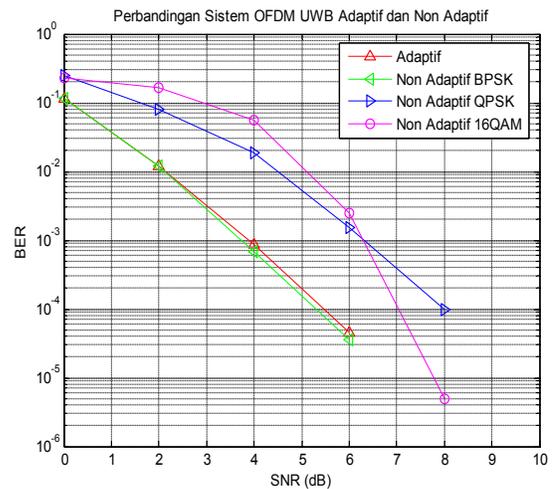
4.4. Parameter Kanal Saleh-Valenzuela

Tabel I . Data Parameter Kanal Saleh-Valenzuela

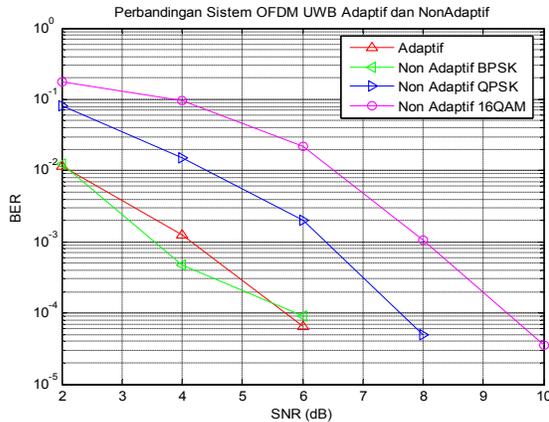
Parameter Kanal	CM1	CM2	CM3	CM4
Cluster Arrival Rate (1/ns)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
Ray Arrival Rate (1/ns)	2.5	0.5	2.1	2.1
Cluster Decay Factor	7.1	5.5	14	24
Ray Decay Factor	4.3	6.7	7.9	12
BW coherent (MHz)	8.9	8.15	4.5	2.7

5. HASIL SIMULASI AMC

Analisis Perbandingan Performansi Sistem *Adaptive* dan *Non adaptive*.



Gambar 11. Grafik perbandingan BER penerapan *non adaptive* dan *adaptive* pada *layer* fisik, disimulasikan menggunakan parameter sistem UWB dengan 500 iterasi.



Gambar 12. Grafik perbandingan BER penerapan non adaptive dan adaptive pada layer fisik, disimulasikan menggunakan parameter sistem UWB dengan 1000 iterasi.

Gambar 11 dan 12 menunjukkan perbandingan BER untuk penerapan non adaptive dan adaptive pada layer fisik, disimulasikan menggunakan parameter sistem UWB dengan 500 dan 1000. Nilai 500 dan 1000 adalah menyatakan banyaknya pergantian/fluktuasi kondisi channel model yang random, pada simulasi diatur setiap satu kali iterasi kondisi channel model berubah ke kondisi berikutnya dimana n_1 adalah indeks perubahan kondisi setiap satu kali iterasi untuk CM1, n_2 untuk CM2, n_3 untuk CM3 dan n_4 untuk CM4. Total iterasi misalkan diambil n_1 adalah 100 kali, maka untuk CM1 akan kembali dengan format (n_1+4) demikian seterusnya untuk CM2, CM3 dan CM4. Berikut diuraikan hasil diperoleh untuk setiap iterasi berbeda:

1. Untuk 500 kali iterasi performansi adaptive sama baiknya dengan kondisi modulasi BPSK non adaptive, di sini terlihat mulai adanya proses perbaikan oleh sistem adaptive.
2. Untuk 1000 kali iterasi terlihat perbaikan sistem adaptive terhadap non adaptive, untuk target BER = 10^{-4} nilai SNR adaptive paling rendah sekitar 5.5dB.

Analisis dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penggunaan turbo code dengan modulasi QPSK menjadi lebih baik, ini terjadi karena code rate 1/3 (rendah) menghasilkan peluang error untuk BPSK dan QPSK hasil simulasi menjadi hampir sama. BPSK dengan convolutional code (3/4) dan QPSK dengan turbo code 1/3, maka turbo code memberikan coding gain lebih besar pada QPSK.
2. Sifat kanal yang makin random (mendekati random murni) menunjukkan hasil performansi sistem adaptive semakin baik.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari makalah ini yaitu diusulkan cross layer dengan menggabungkan AMC pada layer fisik dengan truncated ARQ pada layer data link. Hasil simulasi menunjukkan bahwa secara keseluruhan performansi sistem menggunakan teknik adaptive lebih baik dari sistem non adaptive. Teknik adaptive modulation and

coding pada simulasi awal ini diterapkan pada sistem dengan standard IEEE.802.15.3a atau UWB dengan menambahkan OFDM.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prasetya, B., Tjondronegoro, S., Kinerja Sistem MIMO-OFDM dengan Beamforming pada Kanal Rayleigh, Jurnal "Telekomunikasi" STT Telkom Desember 2006.
- [2] Prasetya, B., Mardiyanto S.D., Morganda G. A., Kinerja Adaptive Modulation and Coding Pada Sistem UWB OFDM, Proceeding of The 1st Makasar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEI)2008.
- [3] Keller, T., Hanzo, L., Adaptive multicarrier modulation: a convenient framework for time-frequency processing in wireless communications, Proceedings of the IEEE (Volume: 88, Issue: 5) Date of Publication: May 2000.
- [4] Liu, Q., Zhou, S., Giannakis, G. B., Cross-Layer Combining of Adaptive Modulation and Coding With Truncated ARQ Over Wireless Links, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.3, No.5, September 2004.
- [5] Goldsmith, A. J., Chua, S.G., Adaptive Coded Modulation for Fading Channels, IEEE Transactions On Communications, Vol. 46, No. 5, May 1998.
- [6] Viswanathan, H., Li, X., Krishnamoorthy, R., Adaptive Coded Modulation over Slow Frequency-Selective Fading Channels, IEEE Vehicular Technology Conference, May, 1999
- [7] M.-S. Alouini and A. J. Goldsmith, "Adaptive modulation over Nakagami fading channels," Kluwer J. Wireless Commun., vol. 13, no. 1-2, pp. 119-143, May 2000.
- [8] D. L. Goeckel, "Adaptive coding for time-varying channels using outdated fading estimates," IEEE Trans. Commun., vol. 47, pp. 844-855, June 1999.
- [9] E. Malkamaki and H. Leib, "Performance of truncated type-II hybrid ARQ schemes with noisy feedback over block fading channels," IEEE Trans. Commun., vol. 48, pp. 1477-1487, Sept. 2000.
- [10] Barr, J.R., IEEE 802.15 TG3a and SG3a. IEEE 802.15.3 Task Group Motorola, 2002.
- [11] Valenti, M., "Turbo Codes and Iterative Processing". Mobile and Portable Radio Research Group Bradley Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Tech. Blacksburg, Virginia, 1998.
- [12] Wessman, M.O., "Design and Performance of Carrier-based Direct-Sequence Ultra-Wideband Systems". Department of Signals and Systems. Sweden: Chalmers University of Technology, 2005.
- [13] 3GPP TS 25.201, "Physical layer - general description," <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25-series.htm>.
- [14] "Physical layer aspects of UTRA high speed downlink packet access (release 4)," 3GPP TR 25.848 V4.0.0, 2001.
- [15] "Error resilience in real-time packet multimedia payloads," 3GPPTSG-S4 Codec Working Group, 1999.
- [16] T. Ue, S. Sampei, N. Morinaga, and K. Hamaguchi, "Symbol rate and modulation level-controlled adaptive modulation/TDMA/TDD system for high-bit-rate wireless data transmission," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 47, pp. 1134-1147, Nov. 1998.