

Metode *Interference Cancellation* yang Efisien pada Jaringan Nirkabel Area Tubuh

Putrissa Damayanti, Wirawan, dan Titiek Suryani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: putrissa.damayanti12@mhs.ee.its.ac.id, wirawan@ee.its.ac.id, titiks@ee.its.ac.id

Abstrak—Jaringan Nirkabel Area Tubuh (*Wireless Body Area Network*) adalah sensor yang berada pada tubuh manusia yang bisa langsung berkomunikasi kepada perangkat penerima secara nirkabel. Aplikasi yang digunakan dari WBAN ini adalah untuk membantu memudahkan dalam bidang kesehatan untuk pasien agar data pengukuran di tubuh bisa langsung diterima oleh dokter agar segera diperiksa. Pada kanal WBAN sangat rentan terhadap gangguan, yaitu gangguan berupa *Intersymbol Interference* (ISI) maupun *Multiple Access Interference* (MAI). Kesalahan dalam pengiriman data pasien akan sangat membahayakan. Diperlukan metode pengurangan gangguan untuk mengatasi masalah tersebut. *Successive Interference Cancellation* banyak diterapkan untuk mengatasi masalah gangguan yang terjadi pada sistem MIMO. Pada studi ini didapatkan skema yang paling efisien untuk mengurangi eror akibat interferensi pada kanal WBAN yaitu dengan menggunakan sistem komunikasi MIMO Alamouti dan menambahkan *equalizer Zero Forcing* dan *Successive Interference Cancellation* menghasilkan nilai BER 0,0001 pada $E_b/N_0=14$.

Kata Kunci— kode Gold, MIMO Alamouti, *Successive Interference Cancellation*, *Wireless Body Area Network*, *Zero Forcing*.

I. PENDAHULUAN

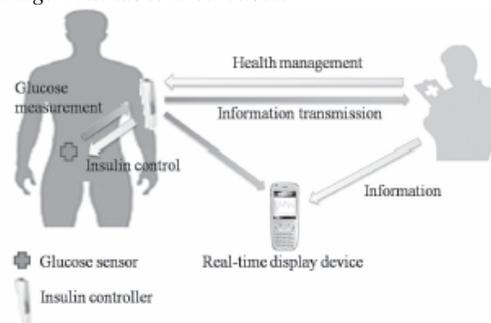
DI ERA sekarang teknologi di berbagai bidang berkembang sangat pesat salah satunya di bidang komunikasi nirkabel. Pertumbuhan yang cepat dari komunikasi nirkabel, sensor, dan sirkuit berdaya rendah menghasilkan perkembangan dari sebuah generasi baru dari jaringan sensor nirkabel. Jaringan sensor digunakan di produk perkebunan, volume kepadatan pada suatu jalanan, dan pemantauan kesehatan. Perkembangan dari perangkat sensor memungkinkan untuk membangun suatu jaringan sensor nirkabel yang murah, mudah digunakan dan dapat dipakai di tubuh yaitu disebut jaringan nirkabel area tubuh (*Wireless Body Area Network*/ WBAN). Perkembangan teknologi WBAN dimulai sekitar tahun 1995 dengan mempertimbangkan jaringan wilayah pribadi nirkabel (WPAN) teknologi untuk komunikasi pada, di dekat dan di sekitar tubuh manusia. Kemudian sekitar tahun 2001, aplikasi ini WPAN dinobatkan sebagai jaringan tubuh daerah (BAN) untuk mewakili komunikasi di dalam dan dekat tubuh saja.

Wireless Body Area Network (WBAN) adalah sebuah konsep jaringan baru yang memfasilitasi komunikasi data menggunakan node sensor yang dapat dipakai atau di implant di tubuh manusia. WBAN dapat memonitor sinyal sinyal fisiologis yang vital dengan daya yang rendah. Data yang didapatkan dari sensor sensor tersebut akan dikirim ke node remote melalui jaringan nirkabel lalu data tersebut diteruskan ke layer yang lebih tinggi untuk dapat dianalisis. Alat ini menggunakan energi yang kecil sesuai dengan

bentuknya yang kecil, murah dan mudah di implementasi, dan memiliki kecepatan data dengan range Kbps ke Mbps. WBAN terdiri dari beberapa peralatan mobile dan node sensor nirkabel yang saling berkomunikasi yang dapat dipakai atau diimplan di tubuh manusia. Pada komunikasi WBAN penurunan kinerja dapat terjadi sebagai akibat dari *Intersymbol Interference* (ISI), *Multiple Access Interference* (MAI), dan *Multipath Fading*. Ketika ada beberapa perangkat komunikasi nirkabel pada tubuh manusia, *Multiple Access Interference* biasanya akan muncul. Maka dari itu diperlukan suatu skema *Interference Cancellation* yang efisien dapat mengurangi efek MAI dan mendapat keuntungan tambahan pada sebuah sistem WBAN dengan meminimalkan terjadinya eror.

II. TEORI PENUNJANG

A. Jaringan Nirkabel Area Tubuh

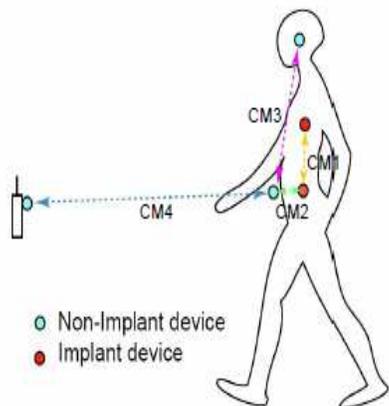


Gambar 1. Sistem U-Health [2]

Sebuah jaringan area tubuh (*Body Area Network*/ BAN) adalah jaringan yang terdiri dari satu set node heterogen yang bisa merasakan, menggerakkan, menghitung, dan berkomunikasi satu sama lain melalui saluran multihop nirkabel. Sebuah BAN dapat mengumpulkan, memproses, dan menyimpan catatan fisiologis seperti sensor aktifitas jantung atau elektrokardiogram (ECG), sensor suhu tubuh, dan tekanan darah pada setiap aktifitas yang dilakukan seperti saat sedang berjalan, berlari, ataupun saat tidur. Selain itu BAN juga dapat merekam lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kehadiran alergen, lalu parameter dari tubuh manusia dan lingkungan sekitarnya. Bahkan BAN bisa melakukan pemberian pengobatan atas dasar data yang dikumpulkan. BAN dapat sangat berguna dalam membantu para profesional medis untuk membuat keputusan tentang pengobatan pasien dengan menyediakan mereka informasi secara terus menerus tentang kondisi pasien[1]. Sistem ini disebut juga dengan *ubiquitous healthcare* (u-health) yang dapat dilihat pada gambar 1. Jika BAN ini terpasang secara nirkabel, maka dinamakan dengan Jaringan Nirkabel Area Tubuh (*Wireless Body Area Network*/ WBAN). WBAN adalah sebuah konsep jaringan

yang telah berkembang dengan tujuan memonitor sinyal fisiologis penting dari sensor berdaya rendah pada tubuh manusia. Data yang dikumpulkan dari sensor akan di kirim ke node lain melalui media nirkabel, dimana data tersebut diteruskan ke layer aplikasi yang lebih tinggi untuk diartikan.

A. Karakteristik Kanal WBAN



Gambar 2. Jalur Komunikasi WBAN [3]

Terdapat beberapa skenario komunikasi yang dapat diidentifikasi berdasarkan lokasi node sensor. Skenario dikelompokkan dalam kelas yang dapat diwakili oleh model kanal (Model Channel/CM). Jarak dari perangkat eksternal dianggap maksimal 5 meter. Jalaur komunikasi yang memungkinkan pada WBAN dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.

WBAN CM4, respon impuls kanal kompleks $h^i(t)$ untuk sejumlah i perangkat diberikan sebagai berikut [3]:

$$h^i(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_l \delta(t - \tau_l) \tag{1}$$

$$|\alpha_l|^2 = \Omega_0 \exp\left(-\frac{\tau_l}{T} - F_K [1 - \delta(t)]\right) \tag{2}$$

$$F_K = \frac{\Delta k \ln 10}{10} \tag{3}$$

Dimana:

- $h^i(t)$: Respon impuls kompleks kanal
- L : Jumlah total jalur kedatangan, dan dimodelkan sebagai variabel acak Poisson dengan rata rata $\bar{L} = 400$
- α_l : Amplitudo dari setiap jalur
- τ_l : Waktu jalur kedatangan, dimodelkan sebagai proses acak Poisson, dengan laju kedatangan $\lambda = 1/0.30123$ ns
- Ω_0 : Path loss, dapat diasumsikan pada ruang bebas
- T : Peluruhan eksponensial
- β : Variabel acak log normal dengan rata rata 0
- F_K : Efek dari faktor-K pada lingkungan non-line-of-sight
- Δk : Perbedaan antara besaran dari respon impuls pertama dan rata-rata dari respon impuls

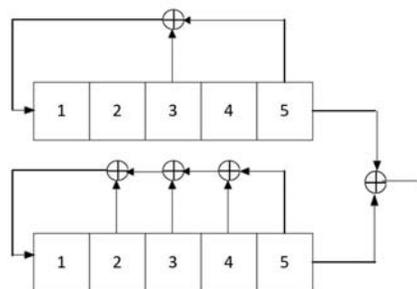
Tabel 1. Parameter kanal WBAN CM 4 untuk arah yang berbeda pada tubuh [3]

Arah di tubuh (dalam derajat)	Faktor peluruhan eksponensial: T (dalam ns)	Faktor – K: F_K pada NLOS	Varians: σ (dalam dB)
0	44,6346	5,111	7,3
90	54,2868	4,348	7,08
180	53,4186	3,638	7,03
270	83,9635	3,983	7,19

Pada tabel 1 menunjukan nilai dari T, F_K , untuk orientasi yang berbeda beda pada tubuh manusia.

B. Kode Gold

Salah satu metode yang umum digunakan untuk membangkitkan PN code adalah gold codes. Kode Gold disusun dari dua buah M-sequence dengan memperhatikan preferred pair setiap M-sequence. Masing masing output dari M-sequence ditambahkan secara XOR menggunakan pulsa-pulsa clock yang sinkron, dimana kedua M-sequence mempunyai panjang yang sama dengan periode sinyal PN.



Gambar 3. Diagram blok kode Gold 31 bit [4]

Setiap pembangkitan masing-masing M-sequence pada kode Gold harus memperhatikan preferred pairs. Karena preferred pairs mengatur proses penambahan modulo 2 pada masing-masing shift register. Kode Gold memiliki nilai fungsi korelasi yang sama dengan M-sequence yaitu $\{-1/N, -t(m)/N, (t(m)-2)/N\}$, dimana:

$$t(m) = \begin{cases} 2^{(m+1)/2} + 1 & (m \text{ ganjil}) \\ 2^{(m+2)/2} + 1 & (m \text{ genap}) \end{cases} \tag{4}$$

Proses pergeseran dan XOR akan terus dilakukan terus sampai N-1 atau jumlah deretan kode yang dihasilkan memenuhi persamaan berikut ini:

$$n = 2^m - 1 \tag{5}$$

Dimana n = jumlah kode yang dihasilkan dari proses pergeseran dan XOR antara himpunan b dan himpunan a, m adalah panjang register. Dari persamaan diatas dan kemudia dijumlahkan dengan dua himpunan pembentuk kode Gold didapatkan satu himpunan besar kode Gold yang dapat digunakan. Persamaan menentukan banyaknya kode Gold yang dibangkitkan adalah:

$$G_n = 2^m - 1 + 2 \tag{6}$$

Dimana G_n = banyak kode Gold yang dibangkitkan. Angka +2 adalah dua himpunan untuk membangkitkan kode

Gold. Proses pembangkitan kode Gold dapat dituliskan seperti persamaan berikut ini [5]:

$$G_N(a,b) = \{a, b, a \oplus b, a \oplus Tb, a \oplus T^2b, \dots, a \oplus T^{N-1}b\} \tag{7}$$

C. MIMO Alamouti

Sistem komunikasi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) terdiri dari beberapa antena pemancar dan beberapa antena penerima. MIMO merupakan suatu teknologi yang muncul menggunakan prinsip *diversity* dengan tujuan meningkatkan data rate dalam range yang lebih besar tanpa membutuhkan bandwidth atau daya transmisi yang besar. Performansi MIMO sendiri dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antena pada pengirim dan penerima dan juga metode/algorithm deteksi MIMO-nya [6]. Sistem *multiple-input multiple-output* (MIMO) adalah sistem yang menggunakan multi antena baik pada *transmitter* maupun *receiver* untuk mengatasi kelemahan pada sistem komunikasi wireless konvensional diantaranya adalah *large scale fading*, *small scale fading* termasuk didalamnya *multipath fading* serta interferensi dari sinyal lain. Rumus model sistem MIMO adalah sebagai berikut [7]:

$$y = Hx + n \tag{8}$$

Dimana terdapat simbol bervariasi yaitu:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_M \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \dots & h_{NM} \end{bmatrix} \quad n = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_M \end{bmatrix}$$

Keterangan:

- y = vektor penerima
- x = vektor pengirim
- H = matriks transmisi kanal/saluran
- n = vektor derau (*noise*)

Alamouti *code* merupakan teknik transmit *diversity* sederhana yang mampu meningkatkan kualitas sinyal dengan menggunakan dua antena pemancar atau sembarang jumlah antena. Metode ini mampu meningkatkan performansi BER, data rate atau kapasitas dari sistem komunikasi tanpa kabel dengan tidak membutuhkan bandwidth tambahan. Metode ini efektif dalam aplikasi yang kapasitas sistemnya dibatasi oleh *multipath fading*.

Proses dari MIMO Alamouti dapat dilihat pada gambar 4. Dua sinyal hasil dari MIMO Alamouti yang akan dikirimkan ke decoder adalah sebagai berikut [8]:

$$r_1 = h_1^* s_1 + h_2^* s_2 + h_3^* s_1 + h_4^* s_2 \tag{9}$$

$$r_2 = h_1^* s_2 - h_2^* s_1 + h_3^* s_2 - h_4^* s_1 \tag{10}$$

B. Zero Forcing

Zero Forcing merupakan salah satu jenis ekualiser yang mengacu pada bentuk algoritma pemerataan linier yang digunakan dalam sistem komunikasi dimana berfungsi untuk membalikkan respon frekuensi pada saluran. Equalizer ini penerapannya pada invers (kebalikan) pada kanal ke sinyal yang diterima, untuk mengembalikan sinyal semua sebelum masuk ke dalam kanal. Dinamakan *Zero Forcing* adalah untuk menurunkan Intersymbol *Interference* (ISI) menjadi

nol dalam permasalahan bebas noise. ZF akan membalikkan efek kanal dengan cara mengalikan vektor sinyal yang diterima dengan pseudo-inverse dari matrik kanal. Untuk menghilangkan interferensi, detektor linier ZF harus memenuhi kondisi berikut [2]:

$$W_{ZF}H = I \tag{11}$$

dimana bentuk dari demodulator linier ZF adalah sebagai berikut:

$$W_{ZF} = (H^H H)^{-1} H^H \tag{12}$$

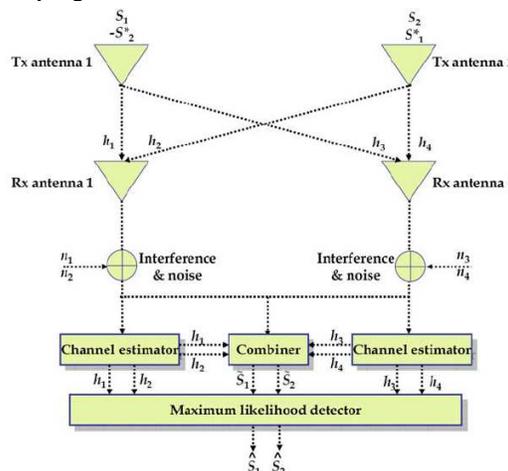
Dengan:

- H = Matriks kanal
- I = Matriks identitas
- (.)^H = Transpose Hermitian

Matriks ini dikenal dengan nama pseudo-inverse untuk matriks m x n. Penerima dapat memperoleh perkiraan sinyal dengan ZF *equalization*, seperti berikut:

$$\hat{x} = W_{ZF} Y \tag{13}$$

dimana \hat{x} adalah matriks perkiraan dari sinyal transmisi yang diterima oleh penerima dan Y adalah simbol dari antena pengirim.



Gambar 4. Skema MIMO Alamouti 2 x 2

C. Successive Interference Cancellation

Kita dapat mendapatkan keuntungan tambahan dengan menggunakan teknik pembatalan gangguan atau yang sering disebut *Interference Cancellation* setelah melakukan ekualisasi linier [2]. SIC adalah sebuah detektor yang mendeteksi user secara bersamaan. SIC beroperasi secara sederhana mengurangi pertambahan dari MAI dengan pengurangan kekuatan sinyal dari pengguna. Cara kerja dari SIC yaitu membatalkan sinyal terkuat terlebih dahulu atau yang paling dianggap mengganggu lalu diikuti oleh sinyal terkuat selanjutnya sampai semua sinyal hilang. SIC awalnya memberi peringkat dahulu terhadap kekuatan dari sinyal tersebut sebelum dibatalkan, yang diperoleh dengan estimasi kanal terpisah atau langsung dari detektor konvensional.

Setelah proses decoding, daya yang diterima pada penerima yang terhubung dengan sinyal transmisi x_1 dan x_2 adalah:

$$P_{x_1} = |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 \tag{14}$$

$$P_{x_2} = |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 \tag{15}$$

Jika $P_{x_1} > P_{x_2}$, maka penerima memutuskan untuk menghilangkan efek x_1 dari sinyal vektor Y. Kemudian x_2 diperkirakan kembali sebagai:

$$r = hx_2 + n \tag{16}$$

Dimana r adalah sinyal vektor yang telah diperkirakan ulang. Kita juga memperkirakan sinyal transmisi x_2 dengan menggabungkan informasi dari beberapa saluran sinyal yang diterima. Maka, hasil akhir untuk x_2 dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{x}_{2, \text{MMSE}} = \frac{H^H r}{H^H H} \tag{17}$$

Dengan cara yang sama, jika $P_{x_1} < P_{x_2}$, maka penerima memutuskan untuk menghilangkan efek x_2 dari sinyal vektor Y. Kemudian x_1 dapat diperkirakan kembali seperti langkah diatas.

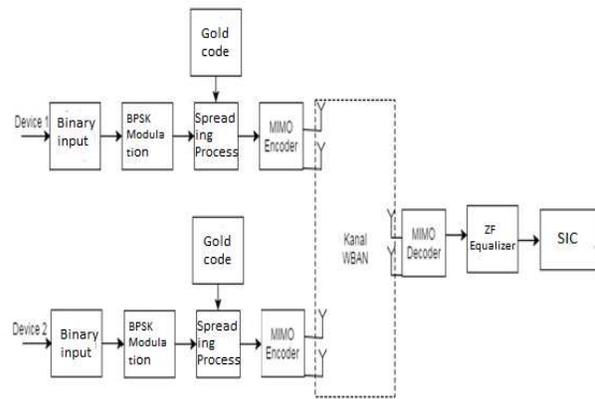
III. DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini dijelaskan tentang pemodelan sistem komunikasi pengirim dan penerima yang akan digunakan. Pemodelan sistem tersebut dapat dilihat pada gambar 5. Pada bagian ini adalah bagian awal dari perancangan suatu sistem. Untuk membangun sebuah sistem diperlukan parameter simulasi yang ingin digunakan. Untuk parameter simulasi yang dibunakan dapat dilihat pada tabel 2.

Pada gambar 5 dapat dijelaskan rancangan sistem kerja dari simulasi adalah sebagai berikut:

1. Penentuan jumlah dan letak sensor yang digunakan, yaitu sensor detak jantung/ elektrokardiogram (ECG) yang diletakkan di dada dan sensor aktivitas otak/ elektroensefalogram (EEG) yang diletakkan di kepala.
2. Pembangunan dari data sensor yang dimodelkan sebagai bilangan biner acak sebagai data masukan sebanyak 20000 bit data.
3. Bit informasi tersebut dimodulasi menggunakan teknik modulasi BPSK
4. Proses *spreading* menggunakan perkalian XOR antara data informasi dengan PN *code* yang digunakan yaitu memakai kode gold 31.
5. Proses pengiriman bit informasi dengan menggunakan MIMO alamouti. Bit tersebut sebelum dipancarkan, sinyal dikodekan terlebih dahulu dengan mengirinkan 2 simbol (s_0 dan s_1) yang berbeda dalam satu waktu. Pada waktu pertama (t) antena ke-1 (18) mengirimkan sinyal berupa simbol s_0 dan antena ke-2 mengirimkan sinyal berupa simbol s_1 . Kemudian pada waktu kedua (19) ($t+T$) simbol dari masing masing antena pemancar tersebut dikonjuget sehingga menjadi simbol $-s_1^*$ pada antena ke-1 dan simbol s_0^* pada antena ke-2.
6. Simbol dipancarkan oleh antena pemancar melalui kanal yang terdapat gangguan noise dan *multipath fading* sehingga simbol yang dipancarkan akan mengalami gangguan.
7. Simbol data tersebut akan diterima oleh antena penerima MIMO decoder.

8. Sinyal yang diterima tersebut akan diproses dengan *despreading* dengan melakukan perkalian dengan PN *code* yang sama seperti PN *code* pada sisi pengirim. Hasil perkalian tersebut akan diperoleh urutan sinyal informasi dalam bentuk bit.
9. Bit informasi tersebut akan di demodulasi secara linier menggunakan equalizer *Zero Forcing (ZF)* dengan cara mengalikan kanal dengan pseudoinversenya.
10. Melakukan metode *Successive Interference Cancellation* untuk mengurangi MAI.
11. Proses demodulasi BPSK pada penerima dilakukan untuk memperoleh kembali bit bit informasi yang sebelumnya telah dimodulasi pada sisi pemancar.
12. Penentuan informasi bit yang diterima
13. Pendeteksian tingkat kesalahan selama proses pengiriman dengan melihat *Bit Error Rate (BER)* yang timbul.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem Komunikasi

Tabel 2. Parameter Pengujian

Parameter	Nilai
Jumlah data	20.000
Modulasi	BPSK
Skema MIMO	STBC Alamouti 2 X 2
Spreading Code	Gold Code
Jumlah Register	5
Panjang Kode	31 bit
Preferred Pairs	[5,3]=[1 1 1 1 1] [5,4,3,2]=[1 1 1 1 1]
Model Kanal	Rayleigh, WBAN CM4
Letak Sensor	0°
Equalizer	ZF
Skema Interference Cancellation	SIC

Maka hasil dari sinyal yang ditransmisikan dari antena pengirim dapat di ekspresikan sebagai berikut:

$$x_n(t) = \sum_{k=1}^M \sqrt{E_s} a_n(t) p(t - \tau_k) \tag{18}$$

$$a_n(t) = b_n(t) c_n \tag{19}$$

- Dimana
- $a_n(t)$: Simbol informasi
 - $b_n(t)$: Urutan data
 - c_n : Kode *spreading* gold
 - E_s : Energi pulsa
 - $p(t)$: Respon impuls

Untuk impuls respon kanal pada kanal WBAN dengan propagasi *Multipath* dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$h(t) = \sum_{n=1}^N \alpha_n(t) \delta(t - nT_p) \tag{20}$$

Dimana:

- $\alpha_n(t)$: Koefisien *fading* dari jalur, dimana besarnya mengikuti distribusi log normal
- $\delta(t)$: Fungsi delta Dirac
- T_p : Resolusi minimum *multipath*

Pada sisi penerima, sinyal yang diterima dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$r_{m,n}(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M h_{m,n}(t) x_n(t - nT_p) + w_{m,n}(t) \tag{21}$$

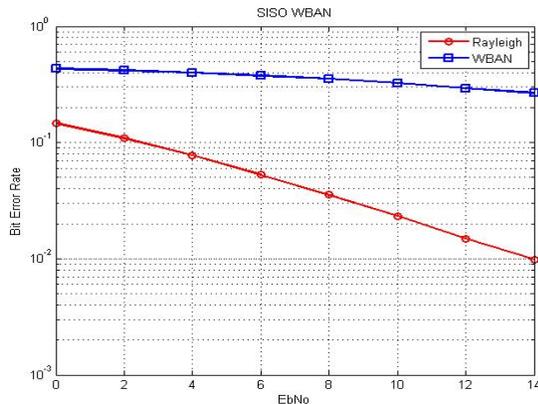
Dimana:

- $h_{m,n}(t)$: Koefisien *Fading* dari jalur untuk sinyal dari antenna *transmitter* ke antenna *receiver*
- $w_{m,n}(t)$: *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Analisis Sistem Komunikasi SISO

Pengujian pertama adalah melakukan pengamatan kinerja sistem saat menggunakan satu input dan satu output. Secara teori pada pengiriman dengan SISO akan memperbesar jumlah eror pada data. Hal ini dapat dibuktikan pada hasil simulasi yang telah dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada hasil kurva SISO yang terdapat pada gambar 6.



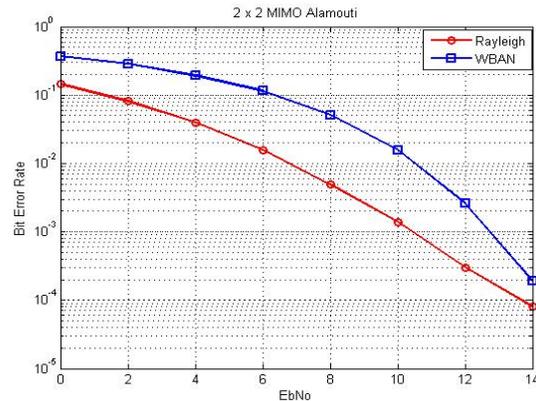
Gambar 6. Kinerja sistem pada pengiriman SISO WBAN

Pada sistem ini didapatkan nilai BER yang sangat besar. Pada saat nilai EbNo sebesar 0 dB didapatkan BER sebesar 0,4324. Lalu pada saat nilai EbNo sebesar 14 dB didapatkan BER sebesar 0,2672. Nilai tersebut sangatlah besar dan tidak ada perbedaan yang signifikan pada setiap EbNo. Artinya pada pengiriman SISO pada kanal WBAN tidak bisa dilakukan karena sangat rentan terhadap gangguan sehingga eror yang didapatkan sangat besar.

B. Analisis Sistem MIMO

Pada simulasi ini dilakukan pengamatan kinerja sistem saat menggunakan dua antenna input dan dua antenna output atau yang disebut MIMO 2 x 2 pada kanal WBAN. Teknik MIMO yang digunakan yaitu dengan STBC Alamouti. Secara teori yang ada teknik MIMO STBC Alamouti dapat membuat tingkat eror semakin kecil karena memang fungsinya adalah untuk meningkatkan reliabilitas. Dengan

menggunakan skema MIMO Alamouti diharapkan dapat meningkatkan reliabilitas pada kanal WBAN. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada hasil kurva MIMO ZF yang terdapat pada gambar 7.

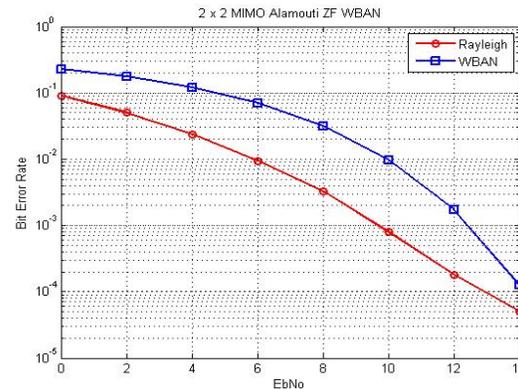


Gambar 7. Kinerja sistem pada pengiriman MIMO WBAN

Pada saat nilai EbNo= 0 dB nilai BER dari kedua sistem tersebut tidak berbeda jauh yaitu 0,4324 untuk SISO dan 0,3120 pada MIMO. Nilai BER pada sistem MIMO pada kanal WBAN jauh lebih baik dibandingkan dengan sistem SISO. Nilai BER pada kedua sistem tersebut linier. Semakin besar nilai EbNo maka nilai dari BER akan semakin kecil. Pada nilai EbNo= 14 dB didapatkan perbedaan yang cukup signifikan dari kedua sistem tersebut yaitu sebesar 0,2672 pada SISO dan 0,00057 pada MIMO. Maka didapatkan hasil BER pada MIMO turun sebesar 10⁻³ dibandingkan dengan pada sistem SISO.

C. Analisis Sistem Menggunakan Equalizer

Selanjutnya disimulasikan sistem MIMO menggunakan equalizer. Teknik ekualisasi yang digunakan adalah dengan *Zero Forcing* (ZF). Berdasarkan teori ZF dapat menghilangkan kan intersymbol *interference* (ISI) sehingga hasilnya akan didapatkan nilai BER yang lebih kecil dibandingkan dengan tanpa ekualisasi. Hal itu dapat dibuktikan data yang didapatkan dari simulasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada hasil kurva MIMO ZF yang terdapat pada gambar 8.



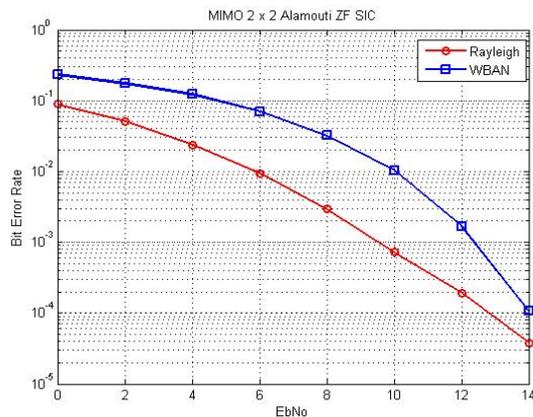
Gambar 8. Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF WBAN

Berdasarkan kurva hasil simulasi didapatkan nilai BER MIMO ZF lebih kecil dibandingkan MIMO tanpa ekualisasi. Pada EbNo= 0 dB didapatkan nilai BER sebesar 0,2319. Nilai ini turun sebesar 0,0701 dibandingkan dengan MIMO tanpa ekualisasi. Lalu pada EbNo= 14 dB didapatkan nilai BER sebesar 0,0001375. Nilai ini lebih kecil 0,0004325

dibandingkan dengan MIMO tanpa ekualisasi. Hal ini dapat membuktikan bahwa kinerja dengan menambahkan equalizer pada sistem komunikasi dapat meningkatkan kualitas sistem tersebut.

D. Analisis Sistem dengan Interference Cancellation

Selanjutnya disimulasikan sistem MIMO menggunakan *Zero Forcing* dan *Interference Cancellation*. Skema *Interference Cancellation* yang digunakan adalah dengan *Successive Interference Cancellation*. Berdasarkan teori SIC digunakan untuk menghilangkan *Multipath Access Interference* (MAI), sehingga hasilnya akan didapatkan nilai BER yang lebih kecil lagi dibandingkan tanpa menerapkan metode *Interference Cancellation*. Hal itu dapat dibuktikan dengan data hasil simulasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada hasil kurva MIMO ZF SIC yang terdapat pada gambar 9.



Gambar 9. Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF SIC WBAN

Dapat dilihat penurunan BER sangat kecil jika dibandingkan dengan tanpa metode *Interference Cancellation*. Misalnya pada saat $E_b/N_0 = 2$ dB didapatkan nilai BER sebesar 0,1756 pada MIMO ZF dan 0,1664 pada MIMO ZF SIC. Dapat dilihat pula nilai BER pada MIMO ZF SIC lebih besar dibandingkan dengan MIMO ZF yaitu pada saat $E_b/N_0 = 12$ dB. Pada saat $E_b/N_0 = 14$ dB didapatkan nilai BER yang sangat kecil untuk MIMO ZF SIC yaitu 0,0001. Namun dari penerapan semua metode didapatkan hasil yang menimbulkan eror paling kecil adalah dengan penerapan MIMO ZF dan dengan menggunakan metode SIC.

V. KESIMPULAN

1. Kinerja sistem komunikasi MIMO pada kanal WBAN lebih rendah dibandingkan dengan kanal Rayleigh dengan perbedaan BER sebesar 0,00561 pada $E_b/N_0 = 14$.
2. MIMO Alamouti dapat meningkatkan reliabilitas dari sebuah sistem komunikasi jika dibandingkan dengan sistem SISO dengan nilai BER turun sebesar 0,2615 pada $E_b/N_0 = 14$.
3. Menambahkan *equalizer* pada sistem komunikasi dapat mengurangi ISI yang ditandai dengan pengurangan nilai BER sebesar 0,00556 pada $E_b/N_0 = 14$.
4. Menggunakan *equalizer* dan penambahan skema *Successive Interference Cancellation* dapat mengurangi nilai eror jika dibandingkan dengan sistem komunikasi hanya menggunakan *equalizer* didapatkan

pengurangan nilai BER sebesar 0,0000375 pada $E_b/N_0 = 14$.

5. Skema *Interference Cancellation* yang efisien adalah dengan mengimplementasikan MIMO Alamouti dengan ekualisasi *Zero Forcing* dan *Successive Interference Cancellation* dihasilkan BER sebesar 0,0001 pada saat $E_b/N_0 = 14$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gupta, Sandeep, "Body Area Networks Safety, Security, Sustainability", Cambridge, 2013, pp. 9 – 24.
- [2] Bae J.N, Choi H.Y., Kim J.Y., "Efficient Interference Cancellation Scheme for Wireless Body Area Network", Journal of Communication and Networks vol 13 No.2, 2011.
- [3] "Channel Model for Body Area Network", IEEE P802.15
- [4] Meel J., "Spread Spectrum", De Nayer Instituut, 2009, pp. 12 – 18.
- [5] Setiawan, Afri Dani, "Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Gold pada CDMA Menggunakan WARP", Jurusan Teknik Elektro ITS, 2015.
- [6] Parveen, Nazia, "Multipath Interference Cancellation in MIMO Mobile Cellular System", International Journal of Distributed and Parallel Systems vol 3 No.3, 2012.
- [7] B. Ezio, C. Robert, C. Anthony, G. Andrea, P. Arogyaswami, "MIMO Wireless Communications", Cambridge, 2007, Ch. 3.
- [8] Mandeep, K. Deepak, "Performance Analysis of Space Time Block Code Over Rayleigh Fading Channel", International Journal of Engineering Research & Technology vol 2 No.8, 2013.