



TUGAS AKHIR - TE 141599

**METODE *INTERFERENCE CANCELLATION* YANG
EFISIEN PADA JARINGAN NIRKABEL AREA TUBUH**

Putrissa Damayanti
NRP 2212100166

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**EFFICIENT INTERFERENCE CANCELLATION
METHOD FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK**

Putrissa Damayanti
NRP 2212100166

Supervisors
Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Ir. Titiek Suryani, MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Metode *Interference Cancellation* yang Efisien pada Jaringan Nirkabel Area Tubuh**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku..

Surabaya, Januari 2017

Putrissa Damayanti
NRP. 2212100166

**METODE INTERFERENCE CANCELLATION YANG
EFISIEN PADA JARINGAN NIRKABEL AREA
TUBUH**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Wirawan, DEA.
NIP. 196311091989031011

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.
NIP. 196411301989032001



METODE *INTERFERENCE CANCELLATION* YANG EFISIEN PADA JARINGAN NIRKABEL AREA TUBUH

Putrissa Damayanti
2212 100 166

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

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 tugas akhir 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: WBAN, MIMO, ZF, SIC.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

EFFICIENT INTERFERENCE CANCELLATION METHOD FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK

Putrissa Damayanti
2212 100 166

Supervisor I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Supervisor II : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

ABSTRACT

Wireless Body Area Network (Wireless Body Area Network) is a sensor located on the human body that can directly communicate to the receiving device wirelessly. Applications that use of WBAN is to help facilitate in the field of health for the patient so that the measurement data in the body can be directly received by the doctor to be checked immediately.

In WBAN canal, very susceptible to interference, which is interference in the form of Intersymbol Interference (ISI) and Multiple Access Interference (MAI). Errors in the delivery of patient data would be very dangerous. Noise reduction methods are needed to resolve the issue. Successive Interference Cancellation widely applied to overcome the problem of disruption of the MIMO system.

In this final project obtained the most efficient scheme for reducing errors due to interference on a WBAN channel by using MIMO Alamouti communication system and add Zero Forcing Equalizer with Successive Interference Cancellation and generate value of BER 0.0001 for $E_b/N_0=14$.

Keyword: WBAN, MIMO, ZF, SIC.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat yang telah diberikanNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

“METODE *INTERFERENCE CANCELLATION* YANG EFISIEN PADA JARINGAN NIRKABEL AREA TUBUH”

Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata I pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung serta membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Drs. Sarwono dan Ibu (Alm.) Ermina Bainah, dan seluruh keluarga penulis yang telah sabar mendidik, mendoakan, dan memberi dukungan tiada henti kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Wirawan dan Ibu Dr. Ir Titiek Suryani, selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Teknik Elektro ITS khususnya Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia atas pengajaran, bimbingan, serta perhatian yang diberikan selama ini.
4. Sahabat terdekat penulis, teman teman angkatan e52, senior dan junior yang selalu selalu menyemangati penulis menyelesaikan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan- kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Pembahasan	4
1.7 Manfaat	4
BAB 2	5
2.1 Jaringan Nirkabel Area Tubuh	5
2.1.1 Arsitektur Jaringan Nirkabel Area Tubuh	6
2.1.2 Karakteristik Kanal Jaringan Sensor Area Tubuh	9
2.2 Kanal Nirkabel Sistem WBAN	10
2.2.1 Kanal WBAN	11
2.2.2 Rayleigh Fading	12
2.2.3 Additive White Gaussian Noise (AWGN)	13
2.3 Sistem Komunikasi untuk WBAN	15
2.3.1 Interferensi	15
2.3.2 PseudoNoise (PN) Code	15
2.3.2.1 M-Sequence	16
2.3.2.2 Kode Gold	18
2.3.3 Modulasi BPSK (Binary Phase Shift Keying)	21
2.3.4 Sistem Komunikasi SISO dan MIMO	22
2.3.4.1 Sistem Komunikasi SISO	22
2.3.4.2 Sistem Komunikasi MIMO	23
2.3.5 Alamouti Code	27
2.3.6 Equalizer/ Demodulasi Linier	29
2.3.6.1 Zero Forcing	29

2.3.6.2	Minimum Mean Square Error	30
2.3.7	Successive Interference Cancellation (SIC)	30
BAB 3	.....	33
3.1	Pendahuluan	33
3.2	Desain Sistem Komunikasi WBAN	34
3.3	Desain Sistem Pemancar	36
3.3.1	Model Sensor Tubuh.....	36
3.3.2	Pembangkitan Bit informasi	37
3.3.3	Modulasi BPSK	38
3.3.4	Pembangkitan PN Code Menggunakan Gold Code	38
3.3.5	Proses Spreading.....	39
3.3.6	Sistem SISO dan MIMO	40
3.4	Desain Model Kanal.....	41
3.4.1	Kanal WBAN.....	41
3.4.2	Kanal Rayleigh	43
3.5	Desain Sistem Penerima.....	43
3.5.1	Zero Forcing	44
3.5.2	Successive Interference Cancellation.....	45
BAB 4	.....	47
4.1	Pendahuluan	47
4.2	Analisa kode Gold.....	47
4.3	Analisa Sistem pada Kanal Rayleigh	49
4.3.1	Sistem Pengiriman SISO Rayleigh	49
4.3.2	Sistem Pengiriman MIMO Rayleigh.....	50
4.4	Analisa Sistem pada Kanal WBAN.....	54
4.4.1	Sistem Pengiriman SISO WBAN	54
4.4.2	Sistem Pengiriman MIMO WBAN.....	55
BAB 5	.....	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	.....	63
LAMPIRAN A	.....	65
LAMPIRAN B	.....	67
BIOGRAFI PENULIS	.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan	3
Gambar 2.1 Sistem U-Health	5
Gambar 2.2 Sistem komunikasi pada sensor BAN	7
Gambar 2.3 Topologi jaringan WBAN	7
Gambar 2.4 Arsitektur teknologi komunikasi WBAN	8
Gambar 2.5 Jalur komunikasi WBAN	10
Gambar 2.6 Kanal Rayleigh Fading	12
Gambar 2.7 PDF Rayleigh Fading	13
Gambar 2.8 PDF AWGN	14
Gambar 2.9 Pemodelan kanal AWGN	14
Gambar 2.10 Proses Perkalian dengan PN code	16
Gambar 2.11 Proses Perkalian dengan PN code	17
Gambar 2.12 Block diagram kode Gold 31 bit	18
Gambar 2.13 Diagram konstelasi BPSK	21
Gambar 2.14 Blok diagram sistem telekomunikasi	22
Gambar 2.15 Sistem SISO	23
Gambar 2.16 Sistem MIMO	24
Gambar 2.17 Teknik MIMO Spatial Multiplexing	25
Gambar 2.18 Teknik MIMO Spatial Diversity	26
Gambar 2.19 Matriks Alamouti Code	27
Gambar 2.20 Skema MIMO Alamouti 2 x 2	28
Gambar 2.21 Blok SIC detektor	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem	33
Gambar 3.2 Block Diagram Sistem Komunikasi	34
Gambar 3.3 Penyebaran sensor WBAN	37
Gambar 3.4 Bit yang dibangkitkan	37
Gambar 3.5 Sinyal hasil modulasi BPSK	38
Gambar 3.6 Ilustrasi generator gold code 31	38
Gambar 3.7 Ilustrasi generator gold code 31	39
Gambar 3.8 Hasil proses spreading	40
Gambar 3.9 Arah perangkat pada tubuh pada CM4	42
Gambar 3.10 Distribusi Kanal Rayleigh	43
Gambar 3.11 Proses SIC	45
Gambar 4.1 Korelasi silang Kode Gold	48
Gambar 4.2 Kinerja sistem pada pengiriman SISO Rayleigh	50

Gambar 4.3 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO Rayleigh	51
Gambar 4.4 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF Rayleigh.....	52
Gambar 4.5 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF SIC Rayleigh	54
Gambar 4.6 Kinerja sistem pada pengiriman SISO WBAN	55
Gambar 4.7 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO WBAN	56
Gambar 4.8 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF WBAN.....	57
Gambar 4.9 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF SIC WBAN...	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skenario dan deskripsi komunikasi BAN	9
Tabel 2.2 Parameter kanal WBAN CM 4 untuk arah yang berbeda pada tubuh	11
Tabel 2.3 Feedback m-sequence	17
Tabel 2.4 Preferred pairs untuk pembangkitan kode gold.....	19
Tabel 2.5 Tabel kebenaran BPSK	21
Tabel 3.1 Parameter Simulasi	36
Tabel 3.2 Parameter sensor tubuh	36
Tabel 3.3 Pemetaan bit ke dalam simbol BPSK.....	38
Tabel 4.1 Korelasi silang kode gold.....	49
Tabel 4.2 BER SISO dan MIMO Rayleigh.....	51
Tabel 4.3 BER MIMO ZF dan MIMO ZF SIC Rayleigh.....	53
Tabel 4.4 BER SISO dan MIMO WBAN	56
Tabel 4.5 BER MIMO ZF dan MIMO ZF SIC WBAN	58

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 fisiologis yang vital dengan daya yang rendah. Data yang didapatkan dari sensor tersebut dikirim ke node remote melalui jaringan nirkabel lalu data tersebut diteruskan ke layer yang lebih tinggi untuk dapat dianalisa. 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.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Apakah pengaruh interferensi dari sensor WBAN pada kinerja sistem tersebut?
2. Bagaimana perbandingan model kanal nirkabel dan kanal WBAN?
3. Bagaimana skema *Interference Cancellation* yang paling efisien pada sistem WBAN?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Perancangan sistem pada kanal Wireless Body Area Network dengan sistem MIMO 2 X 2
2. Pengujian akan dilakukan dengan skema *Zero Forcing Successive Interference Cancellation* dengan *Optimal Ordering*
3. Parameter yang digunakan untuk pengujian sistem adalah BER dan EbNo.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

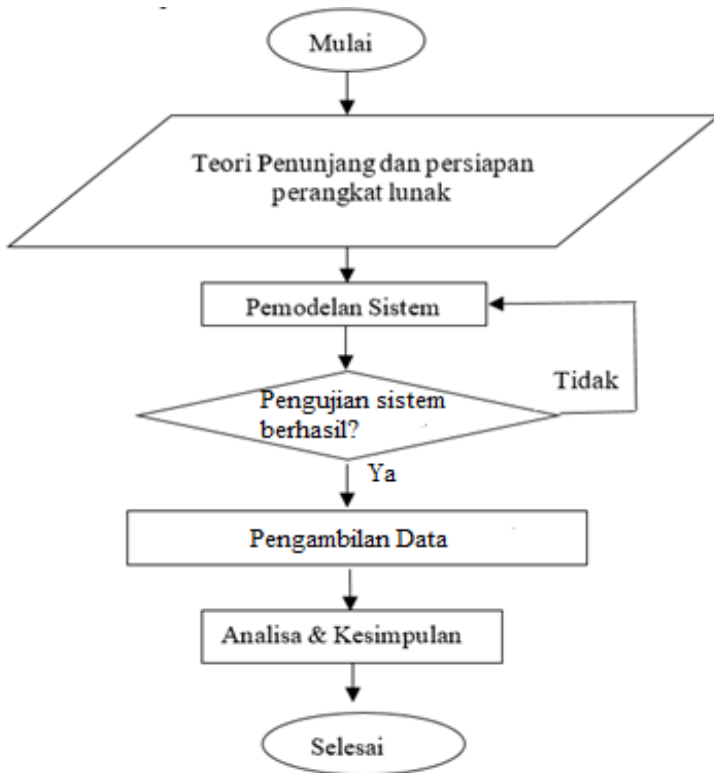
1. Merancang sistem komunikasi WBAN
2. Menaikan dan memaksimalkan kinerja sistem komunikasi WBAN akibat adanya interferensi
3. Membandingkan beberapa metode dan menemukan skema *Interference Cancellation* yang paling efisien untuk diterapkan pada sistem komunikasi WBAN

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan untuk Tugas Akhir ini bisa dilihat pada bagan. Proses ini merupakan langkah yang harus dilakukan secara sistematis demi kelancaran penelitian:

1. Teori Penunjang dan Persiapan Perangkat Lunak: Studi yang dilakukan untuk mencari referensi-referensi teori mengenai desain sistem sesuai topik dan permasalahan disertai juga diskusi untuk menemukan referensi yang tepat dalam tugas akhir ini.
2. Pemodelan Sistem: Sistem dimodelkan dengan menggunakan MATLAB dan berdasarkan studi literatur yang telah dipelajari sebelumnya dan rancangan telah ditentukan.

3. Simulasi Sistem: Simulasi ini akan menggunakan MATLAB yaitu menjalankan pemodelan sistem yang telah dibuat sebelumnya.
4. Pengujian dan Pengambilan: Pengambilan data yang dihasilkan dari sistem yang telah disimulasikan dan parameter diidentifikasi apakah sesuai dengan yang diinginkan
5. Analisa dan Kesimpulan: Analisa data yang diperoleh dilakukan untuk identifikasi hasil dari sistem serta untuk mendapatkan kesimpulan.



Gambar 1.1 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan

1.6 Sistematika Pembahasan

Proses penelitian yang disusun dalam laporan tugas akhir dapat dijabarkan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan topik Tugas Akhir ini. Serta berisi tentang batasan masalah serta manfaat dari Tugas Akhir.

Bab II Dasar Teori

Berisi tentang dasar teori penunjang untuk pengerjaan Tugas Akhir ini. Diantaranya adalah WBAN, MIMO, modulasi, dan SIC. Teori ini bertujuan untuk membantu pemahaman dan pengaplikasian.

Bab III Perancangan Sistem

Pada bab ini dijelaskan mengenai tahap-tahap desain sistem yang dibuat untuk Tugas Akhir ini. Desain sistem dijelaskan mulai dari pemancar dan penerimanya serta blok diagram.

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Berisi tentang hasil yang diperoleh dari pengukuran system yang telah dirancang. Setelah hasil diperoleh, maka dilakukan analisa data berdasarkan parameter yang telah ditetapkan untuk mengetahui kesimpulannya.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dalam tugas akhir ini.

1.7 Manfaat

Hasil yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini sebagai berikut:

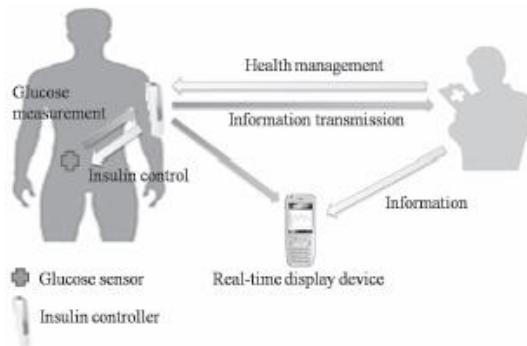
1. Memahami kendala, proses dan cara kerja sistem komunikasi pada kanal WBAN
2. Membantu perkembangan teknologi WBAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Nirkabel Area Tubuh

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).



Gambar 2.1 Sistem U-Health [2]

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.

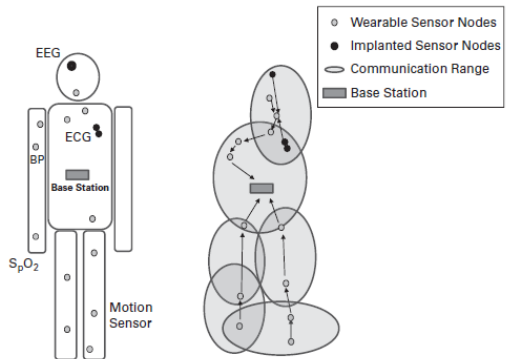
Sebuah WBAN dapat digunakan untuk banyak aplikasi seperti, pemantauan sinyal fisiologis pada lingkungan kesehatan, aplikasi hiburan personal, dan aplikasi komunikasi industri untuk pemantauan pekerja pada lingkungan kritis keselamatan. Oleh karena itu WBAN harus mampu mendukung berbagai kecepatan data dari beberapa bps ke beberapa Mbps. Dengan kemajuan terbaru dalam teknologi data penginderaan, jumlah data yang dikumpulkan oleh sensor telah meningkat drastis. WBAN harus mampu mendukung komunikasi dengan data rate tinggi. Daya operasi yang efisien merupakan aspek penting dari perangkat yang terlibat dalam komunikasi WBAN. Selanjutnya, node sensor ini baik yang di implan di dalam tubuh maupun yang digunakan di luar tubuh harus memiliki bentuk yang kecil. Karena node sensor WBAN beroperasi dekat dengan tubuh manusia, maka harus dioperasikan dalam berbagai peraturan yang diterapkan untuk *Specific Absorption Rate* (SAR). Oleh karena itu, kontrol daya pengirim sangat penting dalam teknologi nirkabel yang digunakan untuk aplikasi WBAN. Persyaratan dasar dari WBAN, yaitu[3]:

1. Mendukung *data rate* yang terukur
2. Konsumsi daya rendah
3. Daya pancar yang terkontrol
4. Mempunyai kemampuan untuk memprioritaskan transmisi data dari sinyal yang lebih penting
5. Transmisi data aman
6. Dapat berdampingan dengan teknologi nirkabel yang lain
7. Mempunyai kemampuan untuk beroperasi di lingkungan dengan banyak user

2.1.1 Arsitektur Jaringan Nirkabel Area Tubuh

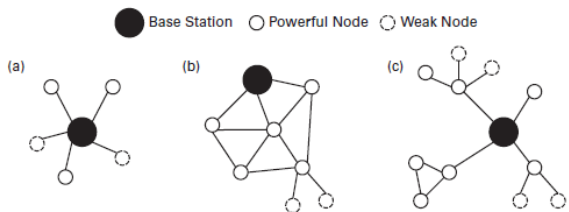
Sebuah node pada WBAN memiliki kemampuan yang bervariasi, namun dapat secara luas diklasifikasikan menjadi dua kategori. Yang pertama adalah node sensor berupa perangkat medis yang ditanamkan atau dipakai atau hanya berupa platform komputasi nirkabel berkapasitas kecil yang dihubungkan dengan sensor atau aktuator. Lalu yang kedua adalah node base station yaitu mempunyai kemampuan komunikasi dan komputasi yang lebih tinggi. Base station akan mengontrol keseluruhan WBAN dan dapat menjangkau setiap node pada

sebuah hop. IEEE task group 6 (TG6) telah mendefinisikan arsitektur standar dari WBAN. Dalam WBAN sebuah unit komputasi akan berkomunikasi satu sama lain melalui saluran nirkabel. Komunikasi dari sensor diasumsikan sudah handal, dan waktu masing masing sensor telah disinkronisasikan. Setiap node pada BAN memiliki satu set node tetangga yang membuat node dapat berkomunikasi melalui jalur nirkabel *single-hop*, seperti yang terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini [1].



Gambar 2.2 Sistem komunikasi pada sensor BAN [1]

Pada gambar tersebut terlihat pengelompokan range komunikasi, dimana pada setiap range terdapat beberapa node yang bisa saling berkomunikasi melalui jalur *single-hop*. Lalu dari masing masing hop juga bisa berkomunikasi dengan hop yang lain. Ada tiga topologi jaringan

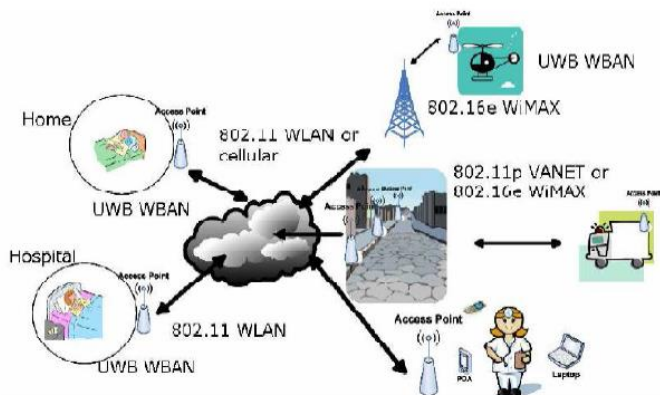


Gambar 2.3 Topologi jaringan WBAN: (a) topologi bintang (b) topologi mesh (c) topologi hybrid [1]

yang telah direkomendasikan oleh IEEE TG6, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

Gambar 2.3(a) menunjukkan topologi bintang, dimana setiap node mempunyai satu hop jalur nirkabel ke base station. Lalu rute multi-hop dari node menuju base station juga direkomendasikan pada topologi mesh seperti yang terlihat pada gambar 2.3(b). Pada gambar 2.3(c) menunjukkan topologi hybrid, dimana merupakan kombinasi antara single-hop dan multi-hop.

Saat ini ada beberapa teknologi nirkabel yang digunakan untuk komunikasi data dalam aplikasi WBAN, seperti yang terlihat pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.4 Arsitektur teknologi komunikasi WBAN

Pada sistem komunikasi WBAN terdiri dari protokol radio yang berbeda. Terdapat 3 tingkatan dalam arsitektur komunikasi WBAN. Pada tingkatan pertama adalah komunikasi sensor WBAN yang ada pada tubuh manusia. Lalu tingkatan kedua adalah komunikasi sensor pada tubuh dengan server pribadi seperti telepon genggam. Pada tingkatan ini akan digunakan standar komunikasi dengan jarak yang dekat seperti UWB, Zigbee, atau WLAN. Selanjutnya pada tingkatan ketiga yaitu komunikasi antara server pribadi dengan server medis. Pada tingkatan ini menghubungkan antara jaringan yang terbatas kepada jaringan *backbone*, jaringan medis dan database. Koneksi jarak jauh ini diimplementasikan

menggunakan jaringan telepon selular yang ada, WiMAX, atau satelit radio [4].

2.1.2 Karakteristik Kanal Jaringan Sensor Area Tubuh

Sebuah langkah penting dalam pengembangan jaringan nirkabel area tubuh adalah karakter propagasi gelombang elektromagnetik dari perangkat yang berada di dekat tubuh maupun tertanam di dalam tubuh manusia. Kompleksitas struktur jaringan manusia bentuk tubuh membuat semakin sulit dalam membuat model *path loss* yang sederhana untuk BAN. Model kanal dari sistem WBAN perlu memperhitungkan pengaruh dari tubuh kepada propagasi radio [5].

Tabel 2.1 Skenario dan deskripsi komunikasi BAN

Skenario	Deskripsi	Rentang Frekuensi	Model Kanal
S1	Implan ke implan	402 – 405 MHz	CM1
S2	Implan ke permukaan tubuh	402 – 405 MHz	CM2
S3	Implan ke eksternal	402 – 405 MHz	CM2
S4	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (LOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM3
S5	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (NLOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM3
S6	Permukaan tubuh ke eksternal (LOS)	900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM4
S7	Permukaan tubuh ke eksternal (NLOS)	900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM4

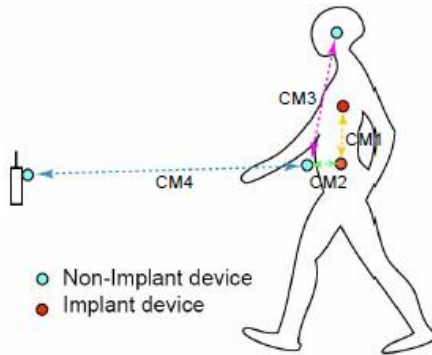
Menurut lokasi dari node sensor pada kanal WBAN diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu:

1. Node implan yaitu sebuah node yang ditempatkan didalam tubuh manusia. Node ini dapat ditempatkan persis dibawah kulit ataupun jauh lebih ke dalam jaringan tubuh
2. Node permukaan tubuh yaitu sebuah node yang ditempatkan pada permukaan kulit manusia atau paling jauh dua sentimeter diatas kulit.

3. Node eksternal yaitu sebuah node yang tidak bersentuhan dengan kulit manusia. Node ini bisa berjarak antara beberapa sentimeter sampai dengan maksimal lima meter dari tubuh manusia.

Terdapat beberapa skenario komunikasi yang dapat diidentifikasi berdasarkan lokasi node sensor. Skenario dikelompokkan ke dalam kelas yang dapat diwakili oleh model kanal (Model Channel/ CM) yang sama. Skenario beserta deskripsi dan frekuensinya terdapat dalam tabel 2.1.

Jarak dari perangkat eksternal dianggap maksimal 5 meter. Jalur komunikasi yang memungkinkan berdasarkan tabel diatas dapat ditampilkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Jalur komunikasi WBAN [5]

Dalam WBAN, propagasi radio dari perangkat yang sangat dekat maupun yang tertanam di dalam tubuh manusia sangat kompleks dan istimewa. Dibandingkan dengan lingkungan lainnya tubuh manusia memiliki bentuk kompleks yang terdiri dari jaringan yang berbeda dengan permitivitas dan konduktivitas lingkungan lain.

2.2 Kanal Nirkabel Sistem WBAN

Kanal merupakan suatu saluran yang diperlukan oleh suatu sinyal supaya dapat ditransmisikan oleh *transmitter* menuju ke *receiver*. Dan diantara *transmitter* dengan *receiver* harus match supaya tidak terjadi

interferensi yang menyebabkan kesalahan penerima sinyal yang dikirimkan.

2.2.1 Kanal WBAN

Pada kanal WBAN CM4, respon impuls kanal kompleks $h^i(t)$ untuk sejumlah i perangkat diberikan sebagai berikut [5]:

$$h^i(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l^i \delta(t - \tau_l^i) \quad (2.1)$$

$$|\alpha_l^i|^2 = \Omega_0 \exp\left(-\frac{\tau_l^i}{\Gamma} - F_k [1 - \delta(l)]\right) \beta \quad (2.2)$$

$$F_k = \frac{\Delta k \ln 10}{10} \quad (2.3)$$

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^i : Amplitudo dari setiap jalur
- τ_l^i : Waktu jalur kedatangan, dimodelkan sebagai proses acak Poisson, dengan laju kedatangan $\lambda = 1/0.50125$ ns
- Ω_0 : Path loss, dapat diasumsikan pada ruang bebas
- Γ : 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 2.2 Parameter kanal WBAN CM 4 untuk arah yang berbeda pada tubuh

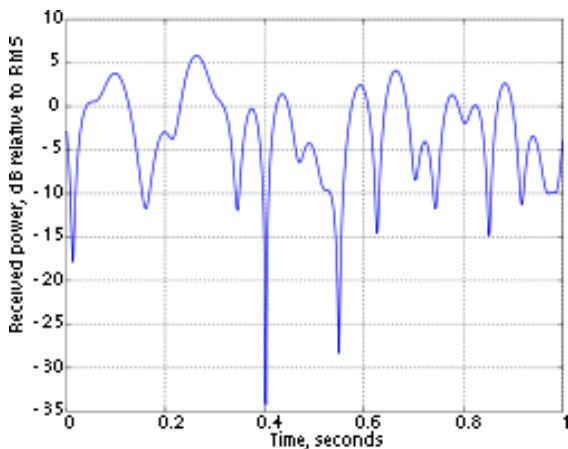
Arah di tubuh (dalam derajat)	Faktor peluruhan eksponensial: Γ (dalam ns)	Faktor – K: F_k pada NLOS	Varians: σ (dalam dB)
0	44.6346	5.111	7.3
90	54.2868	4.348	7.08
180	53.4186	3.638	7.03
270	83.9635	3.983	7.19

Pada tabel 2.2 menunjukkan nilai dari Γ , F_k , untuk orientasi yang berbeda beda pada tubuh manusia.

2.2.2 *Rayleigh Fading*

Pada kenyataannya, tidak ada kanal yang benar-benar ideal. Kanal yang sebenarnya pasti memiliki keterbatasan *bandwith* dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Kanal yang demikian pada sistem komunikasi *wireless* disebut kanal *fading*. Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal *fading* datar (*flat fading*) yang diterima, atau selubung dari satu komponen *multipath*.

Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau Gaussian membentuk distribusi *Rayleigh*, yang juga diturunkan dari distribusi Gaussian. Nilai fungsi tidak akan negatif. Hal ini berarti *fading* tidak akan merubah polaritas dari sinyal tersebut. Gambar kanal *Rayleigh fading* ditunjukkan seperti gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kanal *Rayleigh Fading*

Gambar 2.6 menunjukkan sebuah sinyal selubung yang terdistribusi secara *Rayleigh* sebagai fungsi waktu. Distribusi *Rayleigh*

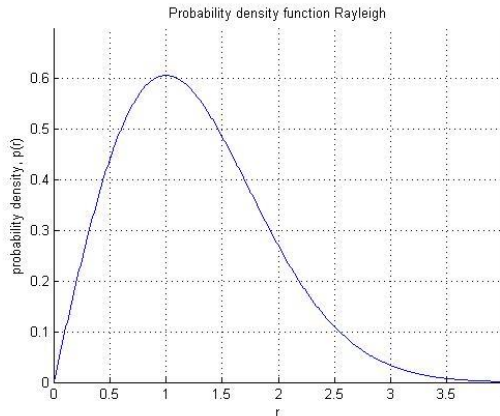
mempunyai fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function – pdf*) diberikan oleh:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \quad 0 < r < \infty \quad (2.4)$$

Dimana:

r adalah *magnitude*, σ adalah nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum detektor (standar deviasi), dan σ^2 adalah daya waktu rata-rata (varian) dari sinyal yang diterima sebelum detektor. Digambarkan dalam PDF dengan fungsi kerapatan Distribusi *Rayleigh* dan amplitude acak seperti gambar 2.7.

Dalam kanal *Rayleigh fading* tersebut terdapat sinyal-sinyal pantulan dalam jumlah besar (*multiple reflective path in large number*) dan dalam kanal tersebut tidak ada komponen sinyal LOS, semua komponen sinyal dalam kanal berada pada kondisi nonLOS.



Gambar 2.7 PDF *Rayleigh Fading*

2.2.3 Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Kanal AWGN merupakan kanal ideal yang hanya memiliki noise AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) didalamnya. Kanal ini tidak menyebabkan distorsi terhadap sinyal yang dikirim.

Noise AWGN adalah noise yang pasti terjadi dalam jaringan nirkabel manapun, memiliki sifat sifat additive, white, dan gaussian. Sifat additive artinya noise ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat white artinya

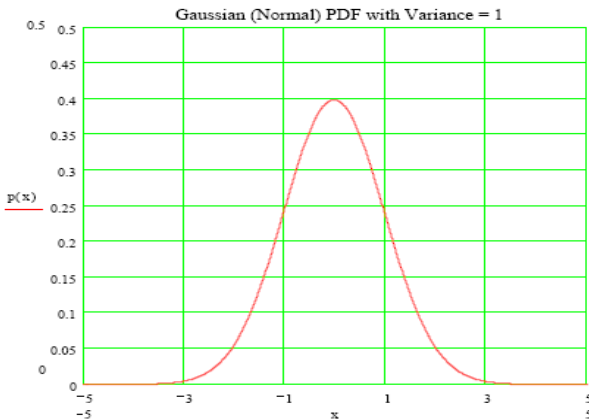
noise tidak tergantung dari frekuensi operasi sistem dan tegangan noise memiliki rapat peluang terdistribusi gaussian. Model ini tidak memperhitungkan *fading*, *frequency selectivity*, *Interference nonlinearity* atau dispersion.

Distribusi AWGN dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - m)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2.5)$$

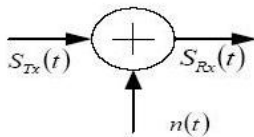
Dimana:

- $p(x)$ = probabilitas kemunculan noise
- σ = standart deviasi
- m = adalah rata-rata(mean)
- x = variable (tegangan/ daya sinyal).



Gambar 2.8 PDF AWGN

Model kanal sederhana dan umum dari AWGN dalam suatu sistem komunikasi dapat digambarkan seperti gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pemodelan kanal AWGN

Jika sinyal yang dikirim $S_{TX}(t)$ pada kanal akan dipengaruhi oleh derau $n(t)$ maka sinyal yang diterima akan menjadi:

$$R_x(t) = S_{TX}(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.6)$$

2.3 Sistem Komunikasi untuk WBAN

2.3.1 Interferensi

Pada sistem komunikasi nirkabel, sangat rentan terhadap gangguan atau interferensi. Gangguan paling dominan pada komunikasi nirkabel adalah *Multiple Access Interference* (MAI), dan *Intersymbol Interference* (ISI), dan efek *fading*. Dengan adanya interferensi maka akan muncul distorsi dan akan menyebabkan tingkat kesalahan/ eror besar. Hal ini menyebabkan data yang diterima menjadi tidak valid. MAI adalah fenomena gangguan akibat tumpang tindih sinyal dari pengirim yang berbeda dalam waktu dan frekuensi yang sama. MAI dapat dihilangkan dengan menggunakan detektor *Multi User Detector* (MUD). ISI adalah suatu bentuk dari distorsi pada sebuah sinyal dimana satu simbol mengganggu simbol berikutnya. Simbol sebelum dan sesudahnya akan mempunyai efek seperti noise. ISI dapat dikurangi dengan cara pembuatan filter digital pada sisi penerima.

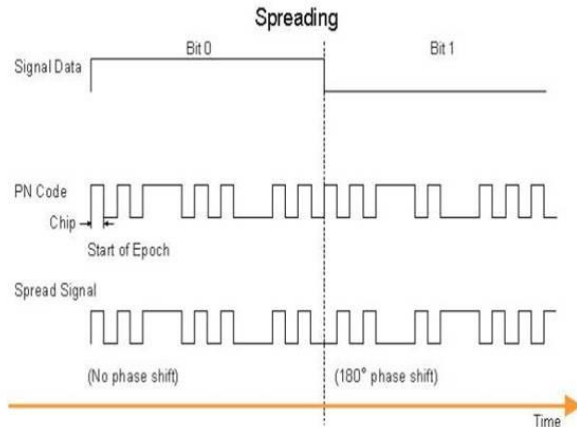
2.3.2 PseudoNoise (PN) Code

Kode-kode yang digunakan pada sistem spread spectrum memiliki sifat acak tetapi periodik sehingga disebut sinyal acak semu (pseudo random). Pada sistem komunikasi digital, sinyal di-*spreading* dengan cara mengalikan dengan *Pseudo-Noise code* (PN code). Kode-kode tersebut bersifat seperti noise tapi bersifat deterministik sehingga disebut juga noise semu (pseudo noise). Pembangkit sinyal kode ini disebut pseudo random generator (PRG) atau pseudo noise generator (PNG). Kode-kode yang dibangkitkan dari PRG inilah yang digunakan untuk melebarkan dan sekaligus mengacak sinyal data yang akan dikirimkan. Kode PN merupakan rangkaian bit dengan kecepatan tinggi yang bernilai polar dari 1 ke -1 atau non polar 1 ke 0. Kode PN yang mempunyai satuan chip, merupakan sinyal penyebar sinyal informasi dan digunakan untuk membedakan antara kanal/ pengguna satu dengan yang lain. Pemilihan kode PN harus dilakukan dengan hati-hati dengan memperharikan beberapa kriteria sebagai berikut [7]:

1. Harus berbeda antara satu dengan yang lain, tetapi yang digunakan pada sisi pengirim dan pada sisi penerima harus sama

2. Haarus acak, tetapi memiliki pola tertentu
3. Mempunyai autokorelasi yang baik
4. Harga korelasi silang yang rendah. Dengan semakin rendah harga korelasi silang maka jumlah kanal dalam satu pita frekuensi semakin tinggi

Pemakaian sejumlah chip kode ini dimaksudkan untuk mendapat sinyal-sinyal dalam bit-bit kecil dalam kode PN dari sinyal asli. Hal ini dengan mengalikan sinyal asli termodulasi dengan kode PN berkecepatan tinggi yang akan membagi sinyal menjadi bit-bit kecil, oleh karena itu lebar band menjadi bertambah. Pelebaran bandwidth yang terjadi akibat proses *spreading* berbanding lurus dengan jumlah chip yang digunakan.

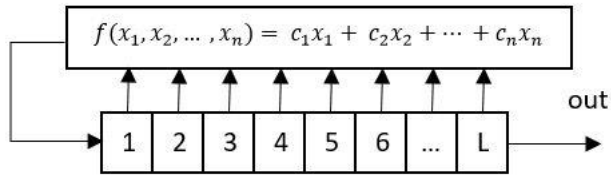


Gambar 2.10 Proses Perkalian dengan PN *code*

Pada gambar 2.10, sinyal paling atas adalah bit data. Bit data tersebut dikalikan dengan kode PN yaitu yang ditengah dan akan menghasilkan sinyal *spreading* di bagian bawah. Bila bit data bernilai 1 maka sinyal keluaran memiliki bentuk sama dengan kode PN. Bila bit data bernilai 0 maka sinyal keluaran memiliki bentuk berlawanan dengan kode PN.

2.3.2.1 M-Sequence

Pada metode *M-Sequence* digunakan beberapa shift register yang tersusun dan umpan balik menurut pola tertentu.



Gambar 2.11 Proses Perkalian dengan PN *code* [7]

Susunan *Shift register* dimana beberapa keluaran shift register tersebut diumpanbalikkan ke masukan shift register pertama melalui sebuah parity generator (berupa gerbang XOR) sedemikian rupa sehingga keluaran shift register terakhir menghasilkan deretan kode dengan panjang periode deretan maksimal dan bersifat random (pseudo random). Hubungan umpan balik yang berbeda menghasilkan keluaran kode yang berbeda pula.

Deretan output dapat dibedakan sebagai panjang maksimal (maximal length) dan panjang tak maksimal (nonmaximal length). Panjang maksimal adalah deretan terpanjang yang dapat dibangkitkan oleh sebuah susunan shift register tertentu dengan panjang yang tertentu pula.

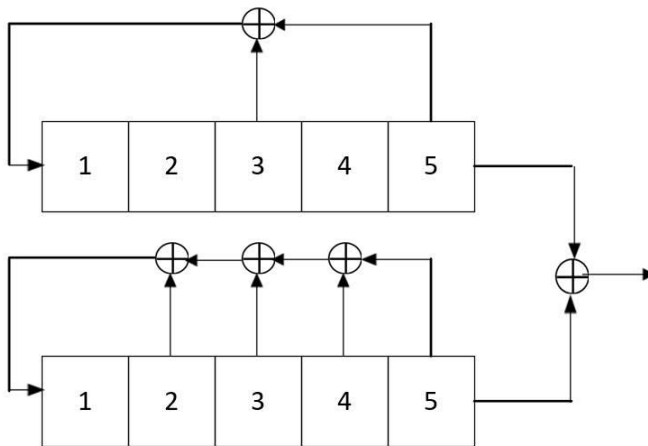
Tabel 2.3 Feedback m-sequence

m	$N = 2^m - 1$	Preffered Pairs
2	3	[2,1]
3	7	[3,1]
4	15	[4,1]
5	31	[5,3] [5,4,3,2] [5,4,2,1]
6	63	[6,1] [6,5,2,1] [6,5,3,2]
7	127	[7,1] [7,3] [7,3,2,1] [7,4,3,2] [7,6,4,2] [7,6,3,1] [7,6,5,2]
8	255	[8,4,3,2] [8,6,5,3] [8,6,5,2] [8,5,3,1] [8,6,5,1] [8,7,6,1] [8,7,6,5,2,1] [8,6,4,3,2,1]
Dan seterusnya		

Untuk sebuah pembangkit PN *code*, panjang maksimalnya sebanyak $2^n - 1$ dengan n menyatakan jumlah tahap shift register. Deretan dengan panjang maksimal memiliki sifat, bahwa untuk sebuah susunan shift register pembangkit PN *code* dengan n tahap maka periode (siklus) pengulangan atau pergeseran oleh pulsa-pulsa clock terjadi sebanyak $T_0 = 2^n - 1$ pulsa. Feedback dari m-sequence dapat dilihat pada tabel 2.3.

2.3.2.2 Kode Gold

Salah satu metode yang umum digunakan untuk membangkitkan PN *code* adalah *gold codes*. Kode *gold* adalah salah satu sinyal PN yang bersifat *non-orthogonal* yang merupakan turunan dari M-sequence. 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



Gambar 2.12 Block diagram kode *Gold* 31 bit [7]

clock yang sinkron, dimana kedua M-sequence mempunyai panjang yang sama dengan periode sinyal PN. Bentuk blok diagram dari kode *gold* ditunjukkan pada gambar 2.12.

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. *Preferred pairs* yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Preferred pairs untuk pembangkitan kode *gold*

m	$N = 2^m - 1$	Preferred Pairs
5	31	[5,3][5,4,3,2]
6	63	[6,1][6,5,2,1]
7	127	[7,3][7,3,2,1] [7,3,2,1][7,5,4,3,2,1]
8	255	[8,7,6,5,2,1][8,7,6,1]
9	511	[9,4][9,6,4,3] [9,6,4,3][9,8,4,1]
10	1023	[10,9,8,7,6,5,4,3][[10,9,7,6,4,1] [10,8,7,6,5,4,3,1][10,9,7,6,4,1] [10,8,5,1][10,7,6,4,2,1]
11	2047	[11,2][11,8,5,2] [11,8,5,2][11,10,3,2]

Kode *Gold* memiliki nilai fungsi korelasi yang sama dengan M-sequence yaitu $\{-1/N, -t(m)/N, (t(m)-2)/N\}$, dimana:

$$t(m) = \begin{cases} 2^{(m+1)/2} + 1 & (m \text{ ganjil}) \\ 2^{(m+2)/2} + 1 & (m \text{ genap}) \end{cases} \quad (2.7)$$

Dalam pembangkitan kode *Gold*, selain memperhatikan preferred pairs, isi dari register juga harus diperhatikan. Isi dari register atau bisa juga disebut dengan initial state memiliki persyaratan yang harus dipenuhi. Parameter initial state adalah sebagai berikut:

1. Semua element dari *initial state* harus bilangan biner 1 dan 0
2. Panjang *initial state* sama dengan banyak m (jumlah register) yang digunakan
3. *Initial state* tidak boleh diisi dengan bilangan biner 0 semua, minimal harus ada satu bilangan biner 1.

Dari persyaratan yang telah disebutkan diatas, kita dapat merancang generator kode *gold*. Pertama tentukan jumlah register yang diinginkan dan secara bersamaan kita juga menentukan *preferred pairs* yang digunakan. Untuk jumlah register diatas 6, dapat memilih preferred pairs yang digunakan karena terdapat lebih dari dua preferred pairs. Hasil dari *preferred pairs* ini adalah dua buah M-sequence yang selanjutnya

akan digunakan untuk membangkitkan kode *Gold*. Untuk dua buah M-sequence kita misalkan himpunan $a = a_1, a_2, a_3, \dots, a_N$ dan himpunan $b = b_1, b_2, b_3, \dots, b_N$. Proses pembangkitan kode *Gold* dilakukan dengan melakukan XOR antara himpunan a dan himpunan b yang mana himpunan b setiap periodenya, bit pertama dari himpunan b mengalami pergeseran ke kiri (berpindah kebelakang) sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$G(a, b) = \{a \oplus b, a \oplus Tb, a \oplus T^2b, a \oplus T^3b, \dots, a \oplus T^{N-1}b\} \quad (2.8)$$

Dimana:

T = Operasi pergeseran ke kiri setiap bit himpunan b

\oplus = XOR atau penambahan modulo 2

G(a,b) = Himpunan yang dihasilkan dari proses XOR himpunan a dan b

Setiap satu kali proses XOR akan menghasilkan satu kode *Gold* dengan periode sesuai dengan persamaan $N = 2^m - 1$. Proses pergeseran dan XOR akan terus dilakukan terus sampai N-1 atau jumlah deretan kode yang dihasilkan memenuhi persamaan berikut ini:

$$n = 2^m - 1 \quad (2.9)$$

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:

$$Gn = 2^m - 1 + 2 \quad (2.10)$$

Dimana Gn= banyak kode *Gold* yang dibangkitkan. Angka +2 adalah dua himpunan untuk membangkitkan kode *Gold*. Proses pembangkitan kode *Gold* dapat dituliskan seperti persamaan berikut ini:

$$Gn(a, b) = \{a, b, a \oplus b, a \oplus Tb, a \oplus T^2b, a \oplus T^3b, \dots, a \oplus T^{N-1}b\} \quad (2.11)$$

Sebagai contoh, kode *Gold* dibangkitkan dengan menggunakan M-sequence dengan banyak register $m = 5$. Dari $m = 5$ kita dapat menentukan preferred pairs yang digunakan yaitu [5 2] dan [5 4 3 2]. Setelah mendapatkan keluaran dari masing masing preferred pairs, langkah selanjutnya yaitu membangkitkan kode *Gold* sesuai dengan persamaan 2.11. Maka dari $m = 5$ kita dapat membangkitkan sebanyak 31 macam deretan kode *Gold* [8].

2.3.3 Modulasi BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)

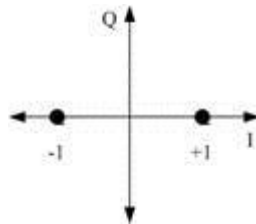
BPSK yaitu *Binary Phase Shift Keying* merupakan teknik modulasi dimana fase dari sinyal carrier diubah ubah diantara 2 nilai yang sesuai dengan 2 sinyal yang mewakili biner 1 dan 0 dengan beda fase keduanya sebesar 180° .

Untuk mengetahui perubahan fase yang terjadi pada sistem modulasi digital dapat dilihat menggunakan diagram konstelasi serta tabel kebenaran seperti berikut:

Tabel 2.5 Tabel kebenaran BPSK

Input Biner	Fase Output
0	180°
1	0° .

Dan diagram konstelasinya adalah:



Gambar 2.13 Diagram konstelasi BPSK

Dari cara kerja modulasi BPSK maka akan dihasilkan sinyal termodulasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{BPSK}(t) \begin{cases} A_c \cos 2\pi f_c t + \theta & \text{binary 1} \\ -A_c \cos 2\pi f_c t + \theta & \text{binary 0} \end{cases} \quad (2.12)$$

Untuk menghitung bit tingkat kesalahan atau *Bit Error Rate* (BER) dan yang terjadi dalam teknik modulasi BPSK, dapat menggunakan rumus [10]:

$$P_e = Q \frac{\sqrt{2E_b}}{\sqrt{N_0}} \quad (2.13)$$

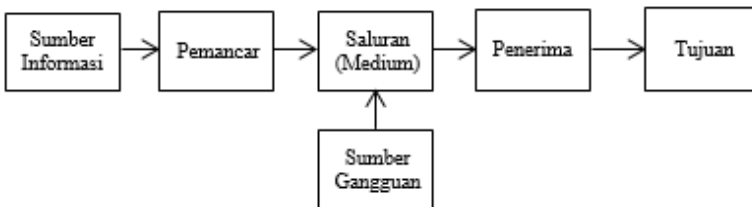
Dimana:

- Pe = Nilai *Bit Error Rate*
- Q = Function Gaussian sinyal informasi
- Eb = Energi bit dari pengiriman data
- No = Noise

2.3.4 Sistem Komunikasi SISO dan MIMO

2.3.4.1 Sistem Komunikasi SISO

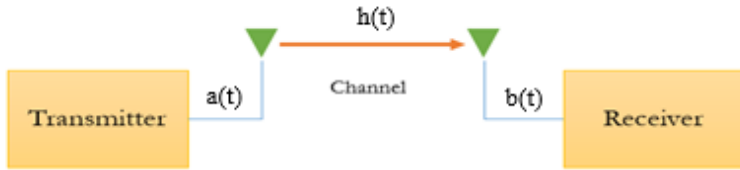
Sistem SISO (sistem komunikasi *input* tunggal dan *output* tunggal) adalah bentuk paling sederhana dari sistem komunikasi dimana ada antenna pemancar tunggal pada sumber dan antenna penerima tunggal di tempat tujuan. Sistem ini tidak memerlukan pengolahan dalam hal berbagai bentuk keragaman yang dapat digunakan dan salurannya terbatas dalam kinerjanya. Bentuk blok diagram dari sistem komunikasi sederhana ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Blok diagram sistem telekomunikasi

Rumus dari model SISO dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$b(t) = a(t) \times h \quad (2.14)$$



Gambar 2.15 Sistem SISO

Keuntungan dari sistem komunikasi SISO adalah biaya lebih murah karena hanya menggunakan satu pemancar sehingga peralatan yang digunakan sedikit. Sedangkan, kelemahan dari sistem komunikasi SISO adalah transfer data yang rendah karena hanya menggunakan satu pemancar dan rentan terhadap masalah yang disebabkan oleh efek *multipath*.

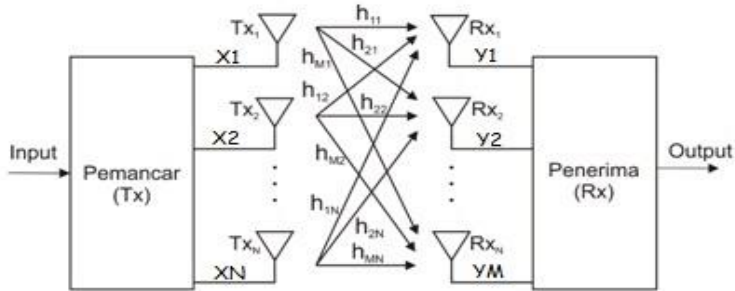
2.3.4.2 Sistem Komunikasi MIMO

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. Sistem *multiple-input multiple-output* (MIMO) adalah sistem yang menggunakan multi antena baik pada *transmitter* maupun *receiver* untuk mengatasi kelemahan pada sistem komunikasi nirkabel konvensional diantaranya adalah *large scale fading*, *small scale fading* termasuk didalamnya *multipath fading* serta interferensi dari sinyal lain. Suatu sistem MIMO $M \times N$ dapat dijelaskan dengan gambar 2.16 [9].

Gambar 2.16 menunjukkan blok diagram sistem komunikasi MIMO dimana terdapat lebih dari satu buah antena yang digunakan, baik pada sisi pemancar maupun sisi penerima, dan setiap antena akan mengirimkan informasi yang berbeda secara independen dan simultan dalam band frekuensi yang sama.

Rumus model sistem MIMO adalah sebagai berikut [9]:

$$y = Hx + n \quad (2.15)$$



Gambar 2.16 Sistem MIMO

Dimana terdapat simbol bervariasi yaitu:

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

Keterangan:

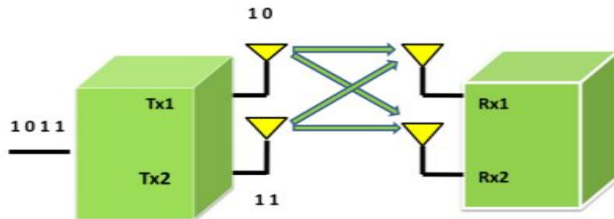
- y = vektor penerima
- x = vektor pengirim
- H = matriks transmisi kanal/saluran
- n = vektor derau (*noise*)

Dengan teknologi MIMO, sebuah *receiver* atau *transmitter* menggunakan lebih dari satu antena. Tujuannya adalah untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga tidak saling menggagalkan. Kelemahan utama dari *space diversity* adalah bahwa sinyal berbeda perlu diberikan pada *fading* yang independent. Hal ini berarti antena harus ditempatkan pada jarak tertentu sehingga sinyal yang diterima atau ditransmisikan melalui kanal yang tidak berkorelasi. Jika antena ditempatkan tanpa pengaturan jarak yang sesuai maka semua antena akan melalui jalur yang hampir sama. Sehingga salinan sinyal yang diterima akan berkorelasi hasilnya keuntungan diversitas tidak dapat diperoleh.

Didalam MIMO terdapat dua macam teknik yang dilakukan dalam sistem komunikasi nirkabel bergerak yaitu:

1. *Spatial Multiplexing*

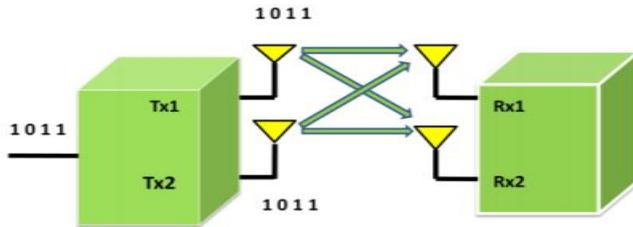
Teknik pertama yang digunakan dalam sistem MIMO ialah multipleks spasial (*spatial multiplexing*). Pada teknik ini aliran data yang berlaju dengan tinggi dipecah-pecah menjadi sejumlah aliran sesuai dengan jumlah antenna pemancar masing-masing dengan laju yang lebih rendah dari aliran aslinya. Sebelum aliran data ditransmisikan oleh antenna, aliran-aliran data ini dilewatkan pada matriks khusus yang berfungsi menggabungkan sinyal dari semua aliran dengan kombinasi tertentu untuk dipancarkan. Ini merupakan suatu proses multipleks yang berlangsung pada dimensi spasial karena setiap kombinasi data paralel ditunjukkan ke salah satu antenna *transmitter*. Dengan sistem ini teknik *spatial multiplexing* memungkinkan mencapai kapasitas kanal yang besar dan juga dapat menambah efisiensi spectrum sehingga menambah kecepatan transmisi data. Teknik *spatial multiplexing* dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Teknik MIMO *Spatial Multiplexing*

2. *Spatial Diversity*

Pada sistem ini setiap antenna pengirim pada sistem MIMO mengirimkan data yang sama secara paralel dengan menggunakan coding yang berbeda pada setiap sinyal yang dikirimkan. Tujuannya ialah untuk mendapatkan kualitas sinyal setinggi mungkin dengan memanfaatkan teknik *diversity* pada *transmitter* dan *receiver*. Teknik *spatial diversity* dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Teknik MIMO *Spatial Diversity*

Beberapa keuntungan dari penggunaan sistem komunikasi MIMO, antara lain [11]:

1. *Array Gain*

Array gain merupakan peningkatan SNR pada penerima yang dihasilkan dari efek *coherent combining* dari sinyal wireless pada penerima yang diwujudkan melalui *spatial processing* pada antenna array di sisi penerima dan/atau *spatial preprocessing* pada antenna array di sisi pemancar.

2. *Spatial diversity gain*

Level sinyal pada sisi penerima di sistem wireless berfluktuasi dan menghilang secara bertahap. *Spatial diversity gain* memitigasi *fading* dan diwujudkan dengan menyediakan penerima dengan beberapa *copy* sinyal yang ditransmisikan pada ruang, frekuensi atau waktu, dengan meningkatkan jumlah *copy* probabilitas independen bahwa setidaknya ada salah satu *copy* tidak mengalami peningkatan *deep fade* sehingga meningkatkan kualitas dan keandalan penerimaan.

3. *Spatial multiplexing gain*

Sistem komunikasi MIMO telah menawarkan peningkatan linier di data *rate* melalui *spatial multiplexing*, yaitu transmisi ganda, data *stream* independen dalam *bandwidth* yang dioperasikan. Dalam kondisi saluran yang sesuai, sisi penerima dapat memisahkan *stream* data seperti banyaknya scattering di lingkungan. Pada sistem MIMO, masing-masing aliran data memiliki kualitas yang sama seperti SISO sehingga efektif untuk meningkatkan kapasitas dengan faktor perkalian sama dengan *stream*. Secara umum, jumlah stream data yang dapat diandalkan oleh kanal sistem MIMO sama dengan minimum dari jumlah antenna pemancar dan jumlah antenna penerima. *Spatial*

multiplexing gain dapat meningkatkan kapasitas jaringan nirkabel.

4. *Interference reduction*

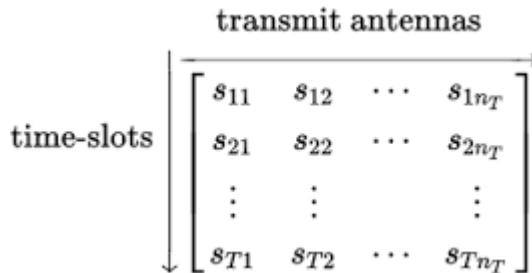
Interferensi pada jaringan nirkabel dihasilkan dari beberapa *user* pada frekuensi dan waktu yang bersamaan. Interferensi akan berkurang pada sistem komunikasi MIMO dengan memanfaatkan dimensi spasial untuk meningkatkan pemisahan antar *user*.

Kelemahan MIMO yang lain yaitu adanya waktu interval yang menyebabkan adanya sedikit delay pada antenna akan mengirimkan sinyal, meskipun pengiriman sinyalnya sendiri lebih cepat. Waktu interval ini terjadi karena adanya proses dimana sistem harus membagi sinyal mengikuti jumlah antenna yang dimiliki oleh perangkat MIMO yang jumlahnya lebih dari satu.

2.3.5 Alamouti Code

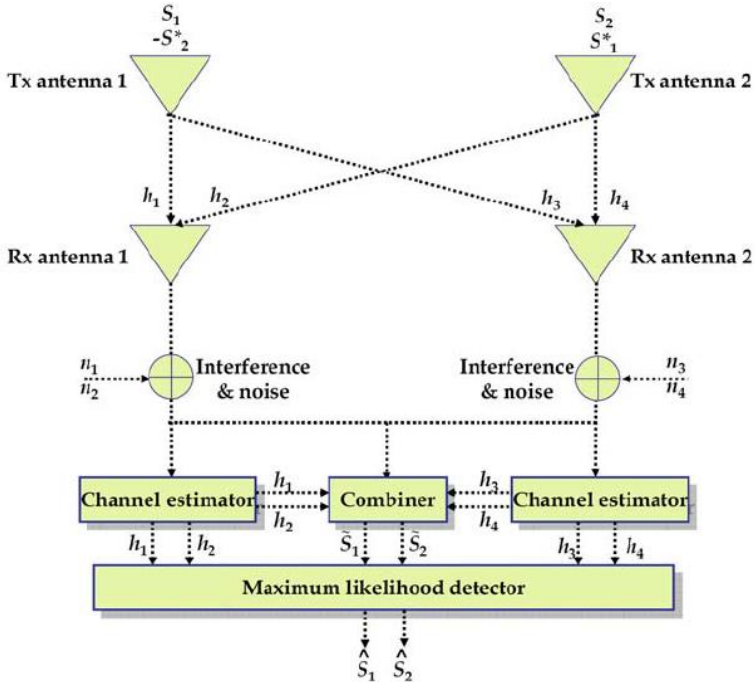
Alamouti *code* merupakan teknik transmit *diversity* sederhana yang mampu meningkatkan kualitas sinyal dengan menggunakan dua antenna pemancar atau sembarang jumlah antenna. Metode ini mampu meningkatkan performansi BER, data rate atau kapasitas dari sistem komunikasi tanpa kabel dengan tidak membutuhkan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

Sebuah Alamouti *code* biasanya diwakili oleh sebuah matrik. Setiap baris mewakili sebuah time slot dan setiap kolom merupakan salah satu antenna transmisi dari waktu ke waktu.



Gambar 2.19 Matriks Alamouti Code

Pada saat t , T_{x0} memancarkan sinyal S_0 dan T_{x1} memancarkan sinyal S_1 , kemudian saat $t+1$, T_{x0} memancarkan sinyal $-S_1^*$ dan T_{x1} memancarkan sinyal S_0^* . Tanda $*$ merupakan operasi konjuget [12]. Pada proses *encoding* sinyal yang dipancarkan dipengaruhi *fading*. Kemudian diterima oleh antenna penerima dimana sinyal yang diterima tersebut juga dipengaruhi oleh *noise*. Sinyal yang diterima oleh antenna penerima kemudian masuk kedalam *combiner* dimana di dalamnya terdapat kanal *estimate* yang fungsinya adalah untuk mengestimasi sinyal yang diterima. Setelah mengalami estimasi kemudian sinyal tersebut masuk ke dalam blok *Maximum Likelihood Detector* untuk melakukan proses pengambilan keputusan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Skema MIMO Alamouti 2 x 2

2.3.6 Equalizer

Equalizer merupakan sistem yang digunakan untuk memperbaiki data yang rusak akibat distorsi kanal. *Equalizer* merupakan filter digital yang dipasang pada sisi penerima yang bertujuan agar sinyal yang masuk dalam sisi penerima tidak lagi berupa sinyal yang mengalami interferensi. Ada beberapa macam jenis *equalizer* diantaranya adalah *Maximum Likelihood (ML)*, *Linear Equalization*, dan *Non-Linear equalization*. Yang sangat mudah untuk diimplementasikan dan sangat efektif untuk mengurangi efek ISI adalah dengan menggunakan *Linear equalization*. Ada 2 jenis dari *linear equalization*, yaitu *Zero Forcing (ZF)* dan *Minimum Mean Square Error (MMSE)*.

2.3.6.1 Zero Forcing

Zero Forcing merupakan salah satu jenis ekualiser yang mengacu pada bentuk algoritmapemerataan 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. Sebagai contoh, ini dipelajari secara mendalam untuk IEEE 802.11n (MIMO) dimana mengenal kanal yang memungkinkan untuk mengembalikan dua atau lebih aliran yang akan diterima atas satu sama lain pada setiap antena. 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]:

$$W_{ZF}H = I \quad (2.16)$$

dimana bentuk dari demodulator linier ZF adalah sebagai berikut:

$$W_{ZF} = (H^H H)^{-1} H^H \quad (2.17)$$

Dengan:

H = Matriks kanal

I = Matriks identitas

(.)^H = Transpose Hermitian

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

$$\hat{X} = W_{ZF}Y \quad (2.18)$$

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

2.3.6.2 *Minimum Mean Square Error*

Fitur utama dari ekualizer MMSE adalah tidak menghilangkan ISI seluruhnya, tapi meminimalkan total daya noise dan komponen ISI pada output MMSE berusaha mencari koefisien W yang meminimalkan kriteria sebagai berikut [2]:

$$E\{[W_{y-x}][W_{y-x}]^H\} \quad (2.19)$$

Untuk menyelesaikan x , harus dicari matrik W untuk menyelesaikan $W_{MMSE}H = I$. Detektor MMSE untuk menemukan konstrain tersebut adalah sebagai berikut

$$W_{MMSE} = (H^H H + N_0 I)^{-1} H^H \quad (2.20)$$

Dengan:

N_0 = Daya noise

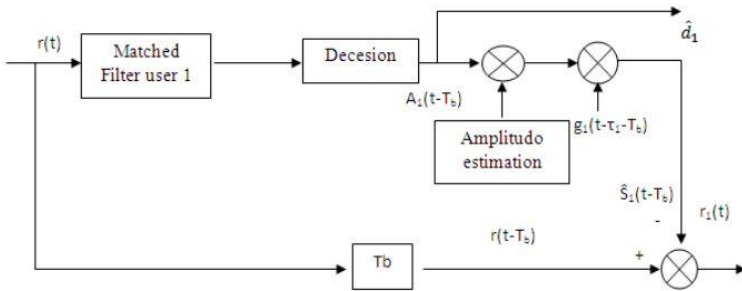
I = Matrik identitas

Matrik ini dikenal dengan nama pseudo-inverse untuk matrik $m \times n$. Ketika dibandingkan dengan *Zero Forcing* berdasarkan bentuk persamaan detektornya, saat daya noise adalah nol, ekualizer MMSE akan menjadi *Zero Forcing*.

2.3.7 *Successive Interference Cancellation (SIC)*

Kita dapat mendapatkan keuntungan tambahan dengan menggunakan teknik pembatalan gangguan atau yang sering disebut *Interference Cancellation* setelah melakukan ekualisasi linier. SIC adalah sebuah detektor yang mendeteksi user secara bersamaan. SIC beroperasi secara sederhana mengurangi pertambahan dari MAI dengan pengurangan kekuatan sinyal dari pengguna. Misalnya pengguna 1 ingin menghubungi A maka diusahakan pengguna 1 dapat dengan langsung

berhubungan dengan A dengan kata lain pengguna 1 dan A saja yang berkomunikasi. Tetapi seringkali ada sinyal lain yang mengganggu atau



Gambar 2.21 Blok SIC detektor

interferensi yang disebabkan oleh pengguna lain. SIC menganggap pengguna lain sebagai noise. Bila di kanal ada banyak pengguna, ada pengguna 1, pengguna 2, pengguna 3, sampai pengguna k. Maka pengguna 2,3 sampai pengguna k ini disebut MAI. 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.

Secara umum langkah-langkah yang dijalankan dalam skema SIC adalah sebagai berikut [2]:

1. Mengenali sinyal terkuat
2. Men-*decode* sinyal terkuat
3. Memperkirakan amplitudo sinyal yang did*decode* dari keluaran korelator
4. Regenerasi sinyal terkuat menggunakan urutan chip dan perkiraan dari amplitudonya.
5. Membatalkan sinyal terkuat
6. Ulangi, sampai semua sinyal ter*decode* atau jumlah pembatalan yang digunakan tercapai.

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

$$Px_1 = |h_{1,1}|^2 + |h_{2,1}|^2 \quad (2.21)$$

$$Px_2 = |h_{1,2}|^2 + |h_{2,2}|^2 \quad (2.22)$$

Jika $Px_1 > Px_2$, maka penerima memutuskan untuk menghilangkan efek \hat{x}_1 dari sinyal vektor Y . Kemudian \hat{x}_2 diperkirakan kembali sebagai:

$$r_2 = hx_2 + n \quad (2.23)$$

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

$$\hat{x}_{2,final} = \frac{h^H r_2}{h^H h} \quad (2.24)$$

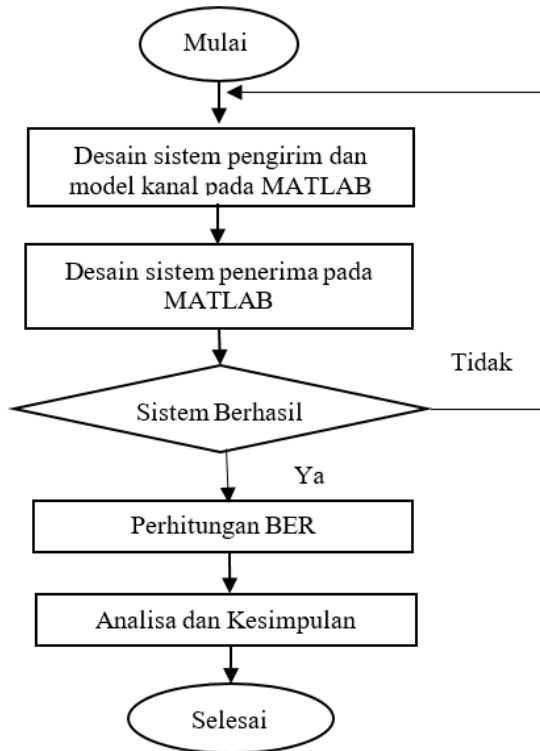
Dengan cara yang sama, jika $Px_1 < Px_2$ maka penerima memutuskan untuk menghilangkan efek \hat{x}_2 dari sinyal vektor Y . Kemudian \hat{x}_1 dapat diperkirakan kembali seperti langkah diatas.

Skema SIC dengan optimal ordering memastikan bahwa keandalan simbol yang diterjemahkan pertama dijamin memiliki probabilitas kesalahan yang lebih rendah dari simbol lainnya. Hal ini mengakibatkan menurunnya kemungkinan dari keputusan yang salah yang mengakibatkan pembatalan gangguan yang keliru. Maka tingkat kesalahan akan mengecil.

BAB 3 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

3.1 Pendahuluan

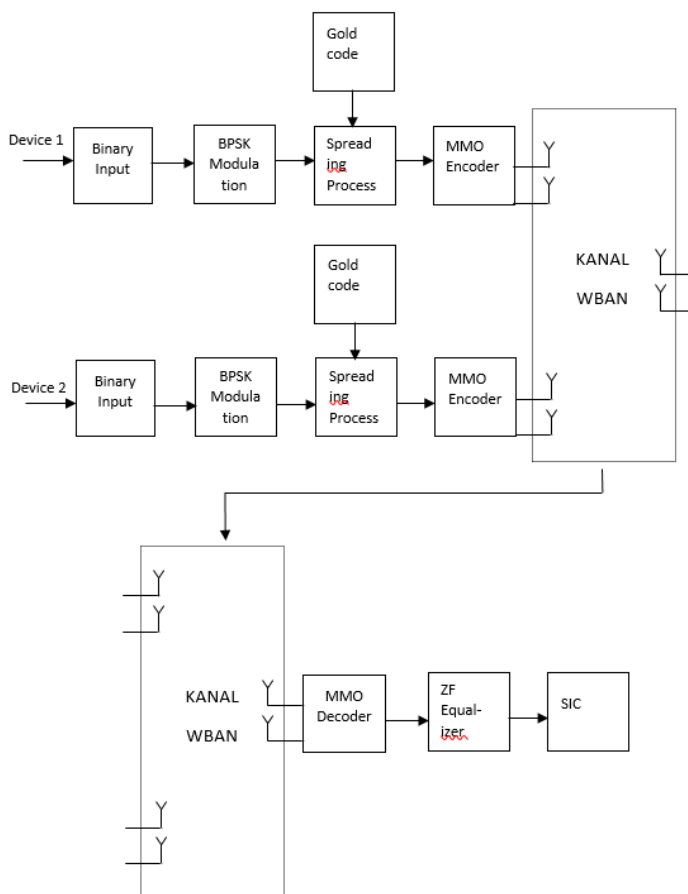
Pada bab ini akan dijelaskan perancangan sistem komunikasi jaringan nirkabel area tubuh dan skema *Interference Cancellation* yang efisien yang akan diuji dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Untuk memudahkan proses perancangan sistem tersebut diperlukan langkah langkah yang harus dilakukan pada saat pengerjaan tugas akhir, seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem

3.2 Desain Sistem Komunikasi WBAN

Pada bab ini dijelaskan tentang pemodelan sistem komunikasi pengirim dan penerima yang akan digunakan. Pemodelan sistem tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2. Pada bagian ini adalah bagian awal dari perancangan suatu sistem. Untuk membangun sebuah sistem diperlukan parameter simulasi yang ingin digunakan. Untuk parameter simulasi yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.



Gambar 3.2 Block Diagram Sistem Komunikasi

Pada gambar 3.2 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. Pembangkitan 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 mengirimkan 2 simbol (s_0 dan s_1) yang berbeda dalam satu waktu. Pada waktu pertama (t) antenna ke-1 mengirimkan sinyal berupa simbol s_0 dan antenna ke-2 mengirimkan sinyal berupa simbol s_1 . Kemudian pada waktu kedua ($t+T$) simbol dari masing masing antenna pemancar tersebut dikonjuget sehingga menjadi simbol $-s_1^*$ pada antenna ke-1 dan simbol s_0^* pada antenna ke-2.
6. Simbol dipancarkan oleh antenna pemancar melalui kanal yang terdapat gangguan noise dan *multipath fading* sehingga simbol yang dipancarkan akan mengalami gangguan.
7. Simbol data tersebut akan diterima oleh antenna 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.

Tabel 3.1 Parameter Simulasi

	Parameter
Jumlah data	20.000
Modulasi	BPSK
Skema MIMO	STBC Alamouti 2 X 2
<i>Spreading Code</i>	<i>Gold Code</i>
Panjang kode	31 bit
Model kanal	<i>Rayleigh</i> , WBAN CM4
Letak sensor	0°
<i>Equalizer</i>	ZF
Skema <i>Interference Cancellation</i>	SIC

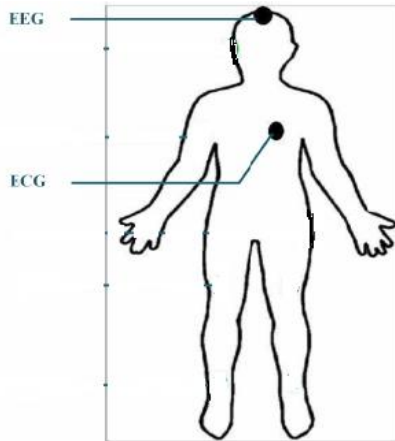
3.3 Desain Sistem Pemancar

3.3.1 Model Sensor Tubuh

Pada sistem WBAN terdapat beberapa sensor untuk monitoring kesehatan yang diletakan pada tubuh manusia. Pada simulasi ini sensor yang digunakan adalah EEG dan ECG. EEG (Electroencephalogram) adalah sensor yang digunakan untuk mengukur aktivitas listrik otak atau biasa disebut sebagai tes gelombang otak untuk mendeteksi adanya kelainan dari otak. ECG (Electrocardiogram) adalah sensor yang digunakan untuk mengukur aktivitas listrik dari jantung. ECG digunakan untuk mengevaluasi fungsi jantung.

Tabel 3.2 Parameter sensor tubuh

Sensor	Sampling Rate (sample/s)	Bits per sample	Datarate
ECG	300	12	3,6 kbps
EEG	300	12	2,4 kbps

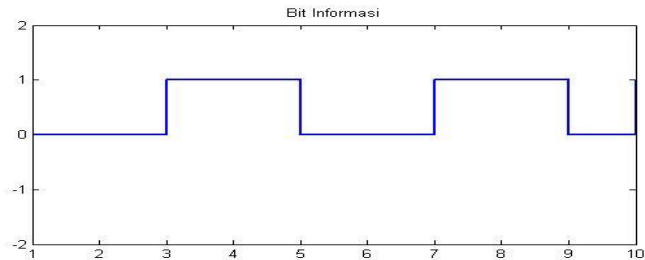


Gambar 3.3 Penyebaran sensor WBAN

3.3.2 Pembangkitan Bit informasi

Pada sistem ini, proses pembangkitan bit informasi dibangkitkan secara acak atau random dalam bentuk biner sebagai pemodelan data yang di hasilkan oleh sensor tubuh. Bit informasi dibangkitkan dengan menggunakan perintah 'radn' pada matlab. Setiap bit informasi yang dibangkitkan saling bebas satu sama lain serta memungkinkan tidak terjadinya pengulangan atau mendapatkan nilai bit yang sama.

Dalam sistem ini dibangkitkan bit informasi sebanyak 20.000 bit secara acak, bit yang dibangkitkan mempunyai nilai '0' dan '1' yang merupakan representasi dari sinyal digital. Bit yang dihasilkan berupa deretan bit secara acak tersebut misalnya (0 0 1 1 0 0 1 1 0 1).



Gambar 3.4 Bit yang dibangkitkan

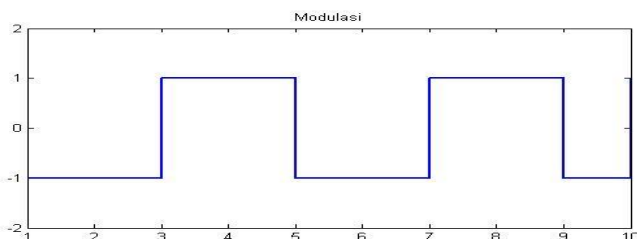
3.3.3 Modulasi BPSK

Dalam simulasi sistem, proses modulasi diwakili dengan mapping BPSK. Bit '0' dan '1' hasil pembangkitan data akan dikodekan menjadi '-1' dan '+1' pada modulasi BPSK. Proses mapping dilakukan dengan memberikn bit '0' pada level '-1' dan bit '1' pada level '+1'. Beda fase keduanya sebesar 180°. Tabel menunjukkan pemetaan bit informasi ke dalam simbol BPSK.

Tabel 3.3 Pemetaan bit ke dalam simbol BPSK

Bit	Level	Output Phase
0	-1	180°
1	1	0°

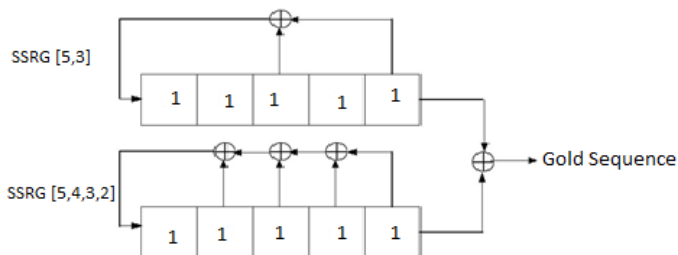
Deretan simbol hasil modulasi dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 3.5 Sinyal hasil modulasi BPSK

3.3.4 Pembangkitan PN Code Menggunakan Gold Code

Ilustrasi dari generator *gold code* dapat diperlihatkan dengan gambar sebagai berikut.

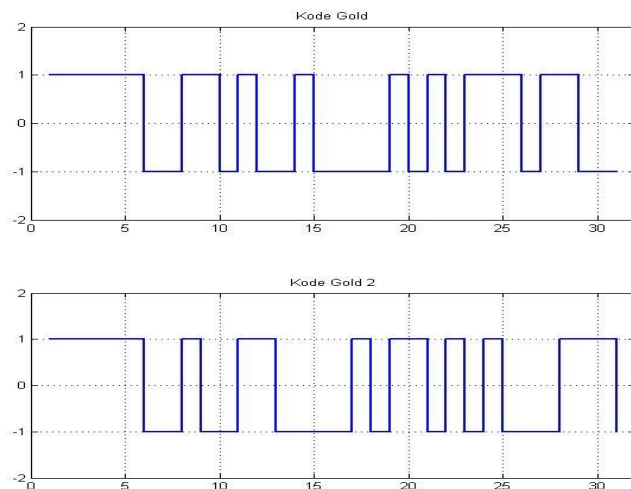


Gambar 3.6 Ilustrasi generator *gold code* 31

Pembangkitan PN *code* ini dilakukan untuk proses *spreading*. Pada sistem ini digunakan jenis PN *code* yaitu *gold code*, dengan panjang m-sequence sebanyak 5. Sehingga panjang chip maksimal yang dihasilkan untuk tiap pengguna adalah sebanyak 31. Sehingga untuk setiap pengguna didapatkan matriks [1][31]. Berikut adalah contoh pembangkitan *goldcode* dari 2 sequence yang mempunyai deret kode generator sebanyak 5 stage.

Contoh: Sequence 1 [5,3] = [1 1 1 1 1]
 Sequence 2 [5,4,3,2] = [1 1 1 1 1]

Gold 1 = [1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0]
Gold 2 = [1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0]

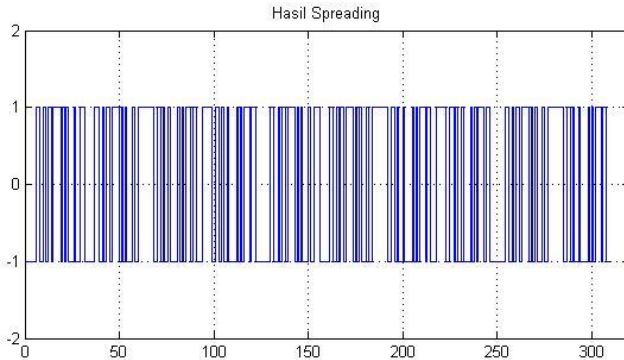


Gambar 3.7 Ilustrasi generator *gold code* 31

3.3.5 Proses *Spreading*

Proses *spreading* adalah suatu proses penebaran spectrum frekuensi bit informasi yang akan dikirimkan. Jadi hasil dari proses modulasi akan dilakukan proses *spreading*, dimana tiap bit output modulator tersebut dikalikan (XOR) dengan PN *code* yang telah dibangkitkan sebelumnya. Sehingga pada proses ini, 1 bit output

modulator akan di XOR kan dengan 31 chip, sehingga jika output modulator adalah 10 bit, maka akan menghasilkan 310 chip per kanal untuk 31 chip. Sebelum dilakukan proses *spreading*, data harus dibuat bernilai 1 dan -1. Bentuk sinyal hasil *spreading* dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Hasil proses *spreading*

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

$$x_n(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sqrt{E_s} d_n(i) p(t - iT_s) \quad (3.1)$$

$$d_n(i) = b_n(i)c_n \quad (3.2)$$

Dimana

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

3.3.6 Sistem SISO dan MIMO

Pada sistem SISO terdapat satu antenna pemancar dan satu antenna penerima (tanpa *diversity*). Sinyal S_0 yang dibangkitkan pada antenna

pemancar dilewatkan kanal h_0 yang mengalami *fading* kemudian sinyal tersebut terkena noise n_0 , sehingga sinyal yang diterima menjadi [13]:

$$r_0 = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \quad (3.3)$$

Sinyal yang diterima tersebut kemudian diolah dan didapatkan sinyal pada *decoder* sebagai berikut:

$$\bar{s}_0 = h_0 \cdot r_0 \quad (3.4)$$

Pada sistem MIMO terdapat dua antenna pemancar dan dua antenna penerima dan dengan *diversity*. Pada antenna pemancar dimodelkan dengan antenna r_{x0} dan r_{x1} . Persamaan sinyal yang diterima dari antenna r_{x0} adalah sebagai berikut:

$$r_0 = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \quad (3.5)$$

$$r_1 = -h_0 s_1 + h_1 s_0 + n_1 \quad (3.6)$$

Sedangkan pada antenna r_{x1} adalah:

$$r_2 = h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \quad (3.7)$$

$$r_3 = -h_2 s_1 + h_3 s_0 + n_3 \quad (3.8)$$

Maka dua sinyal yang akan dikirimkan ke *decoder* adalah sebagai berikut:

$$\bar{s}_0 = h_0^* r_0 + h_1^* r_1 + h_2^* r_2 + h_3^* r_3 \quad (3.9)$$

$$\bar{s}_1 = h_1^* r_0 - h_0^* r_1 + h_3^* r_2 - h_2^* r_3 \quad (3.10)$$

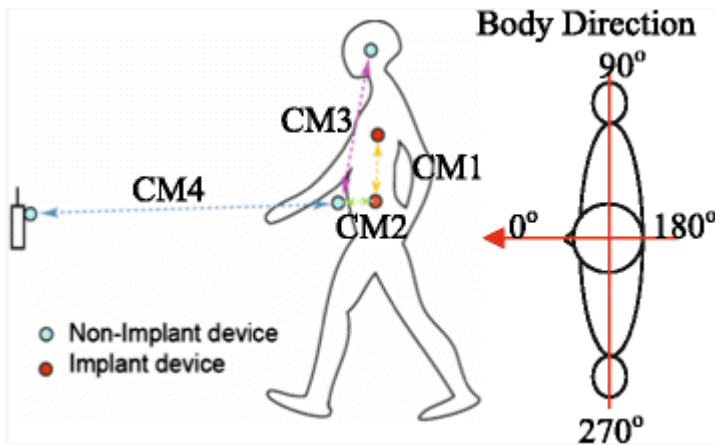
3.4 Desain Model Kanal

3.4.1 Kanal WBAN

Pada simulasi Tugas Akhir ini, model kanal yang digunakan adalah kanal area tubuh atau WBAN. Dari beberapa skenario model kanal WBAN yang ada, yang akan digunakan dalam simulasi ini adalah Skenario 7 model kanal CM4 yaitu dari sensor yang menempel di tubuh ke peralatan diluar.

Dimana parameter yang digunakan adalah:
 Arah di tubuh (dalam derajat): 0°
 Faktor peluruhan eksponensial Γ : 44,6346
 Faktor – $K F_k$: 5,111
 Varians σ : 7,3

Pada gambar 3.9 menunjukkan arah pada tubuh dalam satuan derajat



Gambar 3.9 Arah perangkat pada tubuh pada CM4

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

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha(l) \delta(t - lT_p) \quad (3.11)$$

Dimana:

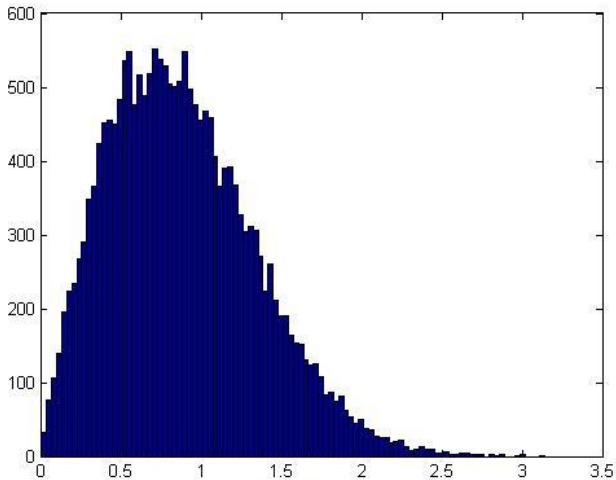
- $\alpha(l)$: Koefisien *fading* dari jalur, dimana besarnya mengikuti distribusi log normal
- $\delta(t)$: Fungsi delta Dirac
- T_p : Resolusi minimum *multipath*

3.4.2 Kanal Rayleigh

Pada simulasi ini juga digunakan model kanal nirkabel dengan menggunakan kanal Rayleigh. Kanal Rayleigh adalah kanal yang mengikuti distribusi Rayleigh. Kanal ini didapatkan dari bilangan acak kompleks Gaussian.

$$h = h_{re} + jh_{im}$$

dimana bilangan real dan imajiner adalah memiliki mean nol dan bersifat independent identically distributed (iid). Variabel acak Gaussian memiliki nilai mean 0 dan varians $\sigma^2 \frac{1}{2}$. Distribusi Rayleigh yang dibangkitkan dapat dilihat pada gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3.10 Distribusi Kanal Rayleigh

3.5 Desain Sistem Penerima

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

$$y_m(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{l=0}^{L-1} h_{m,n}(l)x_n(t - lT_p) + n_m(t) \quad (3.12)$$

Dimana:

$h_{m,n}(l)$: Koefisien *Fading* dari jalur untuk sinyal dari antenna *transmitter* ke antenna *receiver*

$n_m(t)$: *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

3.5.1 Zero Forcing

Desain sistem demodulasi menggunakan *Zero Forcing* pada MIMO Alamouti STBC 2 X 2 dapat diekspresikan sebagai berikut. Pada Slot waktu pertama, sinyal yang diterima oleh antenna penerima pada waktu pertama (t) adalah:

$$r_0 = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 = h_0 h_1 \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix} + n_0 \quad (3.13)$$

$$r_2 = h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 = h_2 h_3 \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix} + n_2 \quad (3.14)$$

Sinyal yang diterima oleh antenna penerima pada waktu kedua (t+T) adalah:

$$r_1^* = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 = h_1^* - h_0^* \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix} + n_1^* \quad (3.15)$$

$$r_3^* = -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 = h_3^* - h_2^* \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix} + n_3^* \quad (3.16)$$

Dimana:

r_0 & r_2 : Simbol yang diterima pada waktu (t)

r_1^* & r_3^* : Simbol yang diterima pada waktu (t+T)

s_0 & s_1 : Simbol yang di transmisikan

n_x : Noise pada antenna penerima

Persamaan diatas dapat digabungkan dan direpresentasikan dalam notasi matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} r_0 \\ r_2 \\ r_1^* \\ r_3^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 \\ h_2 & h_3 \\ h_1^* & -h_0^* \\ h_3^* & -h_2^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_2 \\ n_1^* \\ n_3^* \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Dan ekuivalen dengan persamaan berikut:

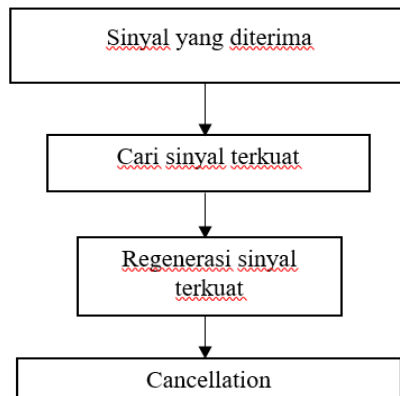
$$y = Hx + n \quad (3.18)$$

Berdasarkan teori dan ketentuan dari *Zero Forcing*, maka penerima dapat memperoleh perkiraan dua simbol baru yang ditransmisikan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} = (H^H H)^{-1} H^H \begin{bmatrix} r_0 \\ r_2 \\ r_1^* \\ r_3^* \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

3.5.2 *Successive Interference Cancellation*

Setelah dilakukan ekualisasi maka dilakukan *Interference Cancellation* dengan metode SIC. Tahapan dari SIC dapat digambarkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Proses SIC

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

PENGUJIAN KINERJA DAN ANALISIS SISTEM

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini dilakukan analisa sistem berdasarkan data data yang diperoleh dalam simulasi yang telah dilakukan yaitu mengenai *Interference Cancellation* pada sistem komunikasi jaringan sensor area tubuh. Setelah dilakukan perancangan sistem maka sistem itu dijalankan dan diuji untuk mendapatkan data data yang diinginkan. Sistem ini adalah dengan menggunakan MIMO STBC Alamouti 2×2 pada kanal *Rayleigh* dan kanal WBAN CM4. Simulasi dilakukan dengan parameter yang telah dijelaskan pada tabel 3.1. Dari simulasi yang telah dilakukan akan membandingkan kinerja sistem pada kanal nirkabel dan WBAN juga beberapa skema yang paling efisien dilihat dengan parameter BER. Pembahasan dari hasil simulasi dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

- a. Analisa dari pemodelan sistem pada kanal *Rayleigh*
Pada sub bab ini berisi tentang hasil simulasi dari pemodelan sistem yang diujikan pada kanal nirkabel biasa yang dimodelkan dengan *Rayleigh fading*. Pada sistem ini akan disimulasikan menggunakan SISO dan MIMO. MIMO yang digunakan adalah dengan STBC Alamouti 2×2 dengan ekualisasi *Zero Forcing* dan metode *Successive Interference Cancellation*. Parameter yang dilihat dari hasil simulasi ini adalah dengan nilai BER terhadap E_b/N_0 .
- b. Analisa dari pemodelan sistem pada kanal WBAN
Pada sub bab ini berisi tentang hasil simulasi dari pemodelan sistem yang diujikan pada kanal nirkabel area tubuh atau WBAN. Pada sistem ini akan disimulasikan menggunakan SISO dan MIMO. MIMO yang digunakan adalah dengan STBC Alamouti 2×2 dengan ekualisasi *Zero Forcing* dan metode *Successive Interference Cancellation*. Parameter yang dilihat dari hasil simulasi ini adalah dengan nilai BER terhadap E_b/N_0 .

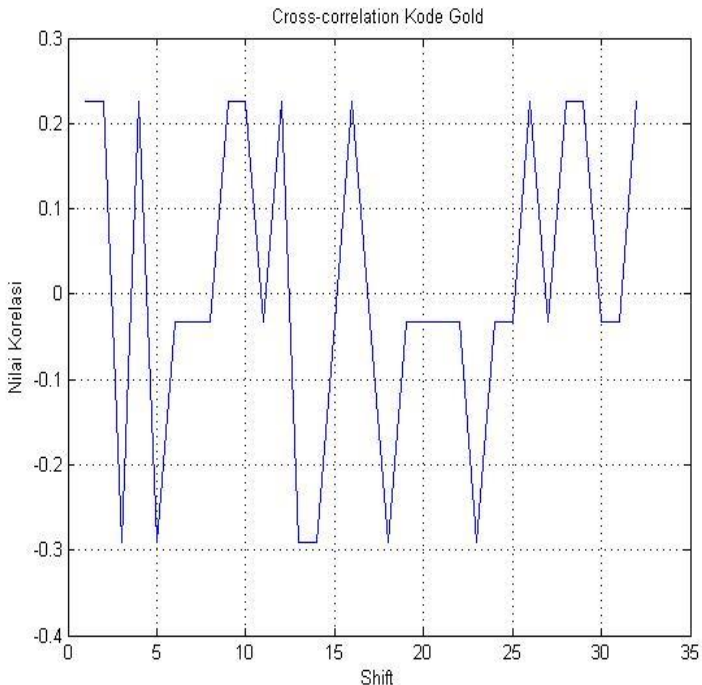
4.2 Analisa kode Gold

Analisa yang dilakukan terhadap hasil simulasi pembangkitan kode-kode acak dengan membandingkan sifat-sifat dari kode-kode tersebut secara teoritis terhadap hasil simulasi yang telah direncanakan.

Parameter- parameter yang digunakan pada simulasi untuk pembangkitan kode *gold* adalah:

- a. Jumlah register yang digunakan adalah 5.
- b. Kondisi initial awal untuk polinomial 1 adalah [1 1 1 1 1]
- c. Kondisi initial awal untuk polinomial 2 adalah [1 1 1 1 1]
- d. Konfigurasi tap untuk polinomial 1 adalah [5 3] dan untuk polinomial 2 adalah [5 4 3 2]
- e. Banyak kode *gold* yang dihasilkan yaitu sebanyak 33 kode dengan masing masing kode memiliki periode 31.

Hasil nilai korelasi silang kode *gold* menghasilkan 3 nilai yaitu 0,2258 ; -0,03226 ; dan -0,2903. Nilai ini sesuai dengan teori yang ada. Grafik hasil korelasi silang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Korelasi silang Kode *Gold*

Tabel 4.1 Korelasi silang kode *gold*

Pergeseran	Korelasi Silang	Pergeseran	Korelasi silang
1	0,2258	17	-0,03226
2	0,2258	18	-0,2903
3	-0,2903	19	-0,03226
4	0,2258	20	-0,03226
5	-0,2903	21	-0,03226
6	-0,03226	22	-0,03226
7	-0,03226	23	-0,2903
8	-0,03226	24	-0,03226
9	0,2258	25	-0,03226
10	0,2258	26	0,2258
11	-0,03226	27	-0,03226
12	0,2258	28	0,2258
13	-0,2903	29	0,2258
14	-0,2903	30	-0,03226
15	-0,03226	31	-0,03226
16	0,2258	32	0,2258

Fungsi korelasi silang ini sangat penting didalam pemilihan deretan kode karena dapat memperkecil kesalahan pada penerima. Kode PN yang bagus memiliki nilai korelasi silang yang rendah atau mendekati nol. Dalam membandingkan parameter ini maka tiap tiap kode akan dibandingkan dan harus memiliki parameter yang sama.

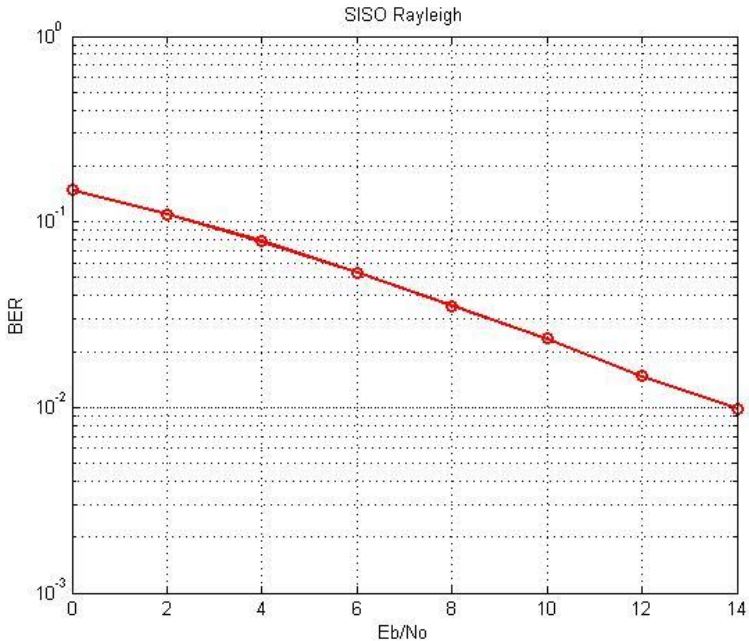
4.3 Analisa Sistem pada Kanal *Rayleigh*

Analisa terlebih dahulu menggunakan Simulasi dengan kanal AWGN dan *Rayleigh* untuk melihat performansi sistem yang dibuat. Parameter yang dilihat pada simulasi ini adalah nilai BER terhadap Eb/No.

4.3.1 Sistem Pengiriman SISO *Rayleigh*

Pada simulasi yang pertama ini dilakukan pengamatan kinerja sistem saat menggunakan satu input dan satu output (SISO). Pada sistem ini didapatkan nilai BER yang cukup besar. Pada saat nilai EbNo sebesar 0 dB didapatkan BER sebesar 0,1479. Lalu pada saat nilai EbNo sebesar

14dB didapatkan BER sebesar 0,009813. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada kurva SISO yang terdapat pada gambar 4.2 dibawah.



Gambar 4.2 Kinerja sistem pada pengiriman SISO *Rayleigh*

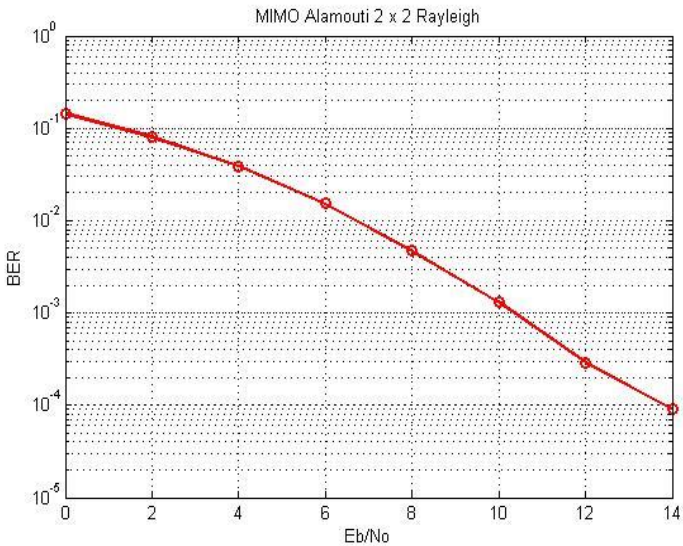
4.3.2 Sistem Pengiriman MIMO *Rayleigh*

Pada simulasi ini dilakukan pengamatan kinerja sistem saat menggunakan dua antena input dan dua antena output atau yang disebut MIMO 2 x 2. 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. Hal itu dapat dibuktikan dengan data hasil simulasi jika dibandingkan dengan sistem SISO pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 BER SISO dan MIMO *Rayleigh*

EbNo (dB)	Bit Error Rate	
	SISO	MIMO
0	0,1479	0,1427
2	0,1094	0,08046
4	0,07828	0,03866
6	0,05315	0,01542
8	0,03526	0,00467
10	0,02356	0,00131
12	0,01475	0,00029
14	0,009813	9×10^{-5}

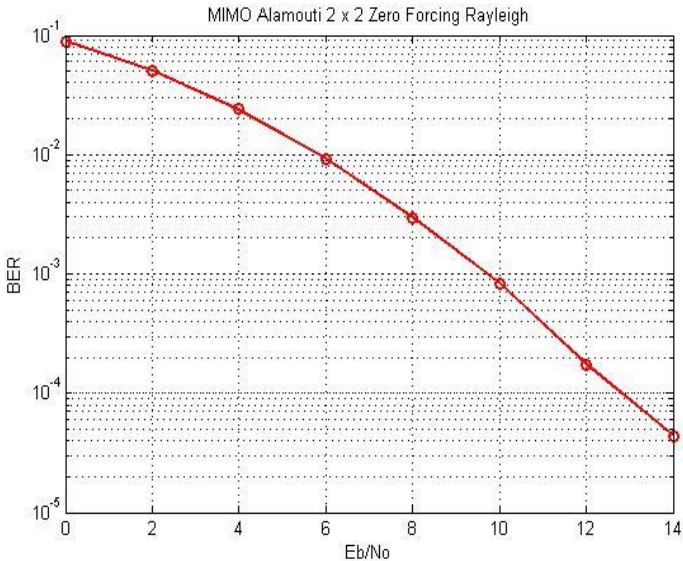


Gambar 4.3 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO *Rayleigh*

Pada tabel 4.2 tersebut merupakan tabel data BER sistem MIMO jika dibandingkan dengan sistem SISO. Pada saat nilai EbNo= 0 dB nilai

BER dari kedua sistem tersebut tidak berbeda jauh yaitu 0,1479 untuk SISO dan 0,1427 pada MIMO. Nilai BER pada sistem MIMO 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 0,009813 pada SISO dan 9×10^{-5} pada MIMO. Maka didapatkan hasil BER pada MIMO turun sebesar 10^{-2} dibandingkan dengan pada sistem SISO. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat kurva MIMO yang terdapat pada gambar 4.3.

Selanjutnya disimulasikan sistem MIMO menggunakan *equalizer*. Teknik ekualisasi yang digunakan adalah dengan *Zero Forcing* (ZF). Berdasarkan teori ZF dapat menghilangkan 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 4.4 dibawah.



Gambar 4.4 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF *Rayleigh*

Berdasarkan kurva hasil simulasi didapatkan nilai BER MIMO ZF lebih kecil dibandingkan MIMO tanpa ekualisasi. Pada $E_b/N_0 = 0$ dB didapatkan nilai BER sebesar 0,8973. Nilai ini turun sebesar 0,05207 dibandingkan dengan MIMO tanpa ekualisasi. Lalu pada $E_b/N_0 = 14$ dB didapatkan nilai BER sebesar $4,375 \times 10^{-5}$. Nilai ini lebih kecil $4,625 \times 10^{-5}$ dibandingkan dengan MIMO tanpa ekualisasi.

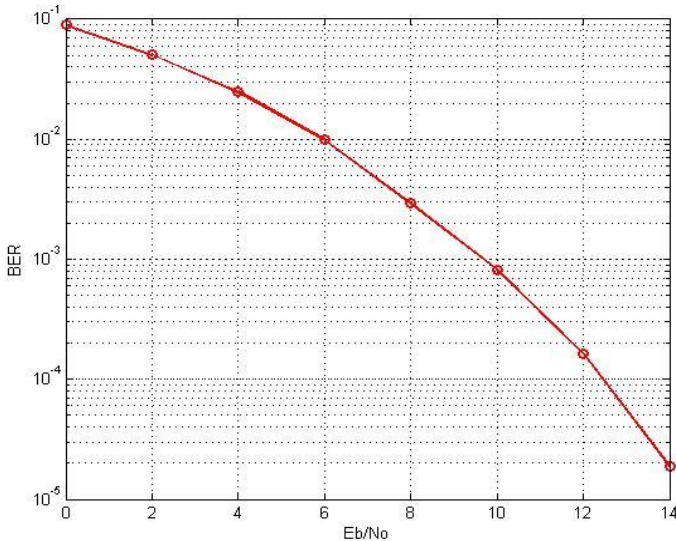
Selanjutnya disimulasikan sistem MIMO menggunakan *Zero Forcing* dan *Interference Cancellation*. Skema *Interference Cancellation* yang digunakan adalah dengan *successive Interference Cancellation*. Berdasarkan teori SIC digunakan untuk menghilangkan *multipath access Interference* (MAI), sehingga hasilnya akan didapatkan nilai BER yang lebih kecil lagi dibandingkan tanpa *Interference Cancellation*. Hal itu dapat dibuktikan dengan data hasil simulasi jika dibandingkan dengan MIMO tanpa *Interference Cancellation* yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 BER MIMO ZF dan MIMO ZF SIC *Rayleigh*

EbNo (dB)	Bit Error Rate	
	MIMO ZF	MIMO ZF SIC
0	0,08973	0,08919
2	0,05068	0,0505
4	0,02393	0,002479
6	0,009281	0,009862
8	0,00295	0,002912
10	0,0008375	0,0008188
12	0,000175	0,0001625
14	$4,375 \times 10^{-5}$	$1,87 \times 10^{-5}$

Pada tabel 4.3 terdapat nilai perbandingan MIMO ZF dan MIMO ZF SIC. Dapat dilihat penurunan BER sangat kecil. Misalnya pada saat $E_b/N_0 = 2$ dB didapatkan nilai BER sebesar 0,05068 pada MIMO ZF dan 0,0505 pada MIMO ZF SIC. Dapat dilihat pula nilai BER pada MIMO ZF SIC lebih besar dibandingkan dengan MIMO ZF yaitu pada saat $E_b/N_0 = 6$ dB. Pada saat $E_b/N_0 = 14$ dB didapatkan nilai BER yang sangat kecil untuk

MIMO ZF SIC yaitu $1,87 \times 10^{-5}$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



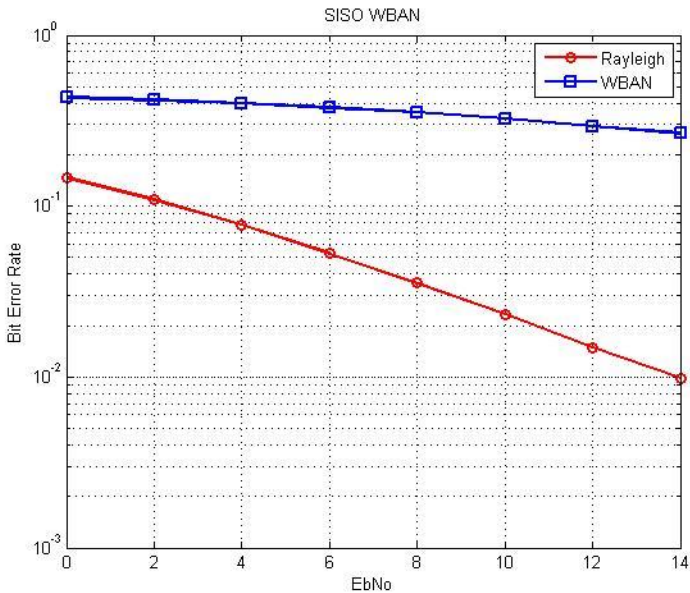
Gambar 4.5 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF SIC *Rayleigh*

4.4 Analisa Sistem pada Kanal WBAN

Analisa selanjutnya menggunakan Simulasi dengan kanal WBAN untuk melihat performansi sistem yang dibuat. Parameter yang dilihat pada simulasi ini adalah nilai BER terhadap E_b/N_0 .

4.4.1 Sistem Pengiriman SISO WBAN

Pada simulasi yang pertama ini dilakukan pengamatan kinerja sistem saat menggunakan satu input dan satu output (SISO). Pada sistem ini didapatkan nilai BER yang sangat besar. Pada saat nilai E_b/N_0 sebesar 0 dB didapatkan BER sebesar 0,4324. Lalu pada saat nilai E_b/N_0 sebesar 14dB didapatkan BER sebesar 0,2672. Nilai tersebut sangatlah besar dan tidak ada perbedaan yang signifikan pada setiap E_b/N_0 . Artinya pada pengiriman SISO pada kanal WBAN rentan terhadap gangguan sehingga eror yang didapatkan sangat besar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada kurva SISO yang terdapat pada gambar 4.6 dibawah.



Gambar 4.6 Kinerja sistem pada pengiriman SISO WBAN

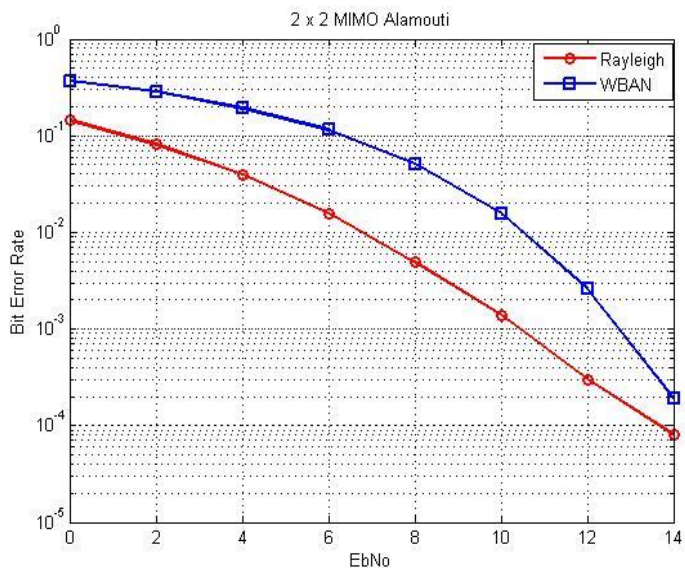
Dari kurva hasil simulasi dapat dilihat perbedaan pada kanal WBAN dan kanal *Rayleigh*. Sistem komunikasi lebih bagus pada kanal *Rayleigh* dibanding dengan kanal WBAN. Oleh karena itu perlu dilakukan skema komunikasi yang efektif untuk memperkecil eror pada kanal WBAN.

4.4.2 Sistem Pengiriman MIMO WBAN

Pada simulasi ini dilakukan pengamatan kinerja sistem saat menggunakan dua antena input dan dua antena output atau yang disebut MIMO 2×2 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. Hal itu dapat dibuktikan dengan data hasil simulasi jika dibandingkan dengan sistem SISO pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 BER SISO dan MIMO WBAN

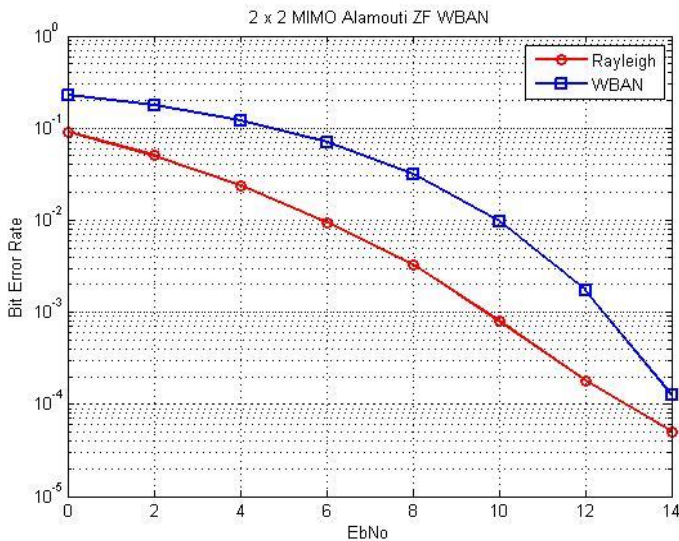
EbNo (dB)	Bit Error Rate	
	SISO	MIMO
0	0,4324	0,3120
2	0,417	0,2870
4	0,3989	0,2009
6	0,3752	0,1078
8	0,353	0,05182
10	0,3258	0,0341
12	0,2936	0,0046
14	0,2672	0,0057



Gambar 4.7 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO WBAN

Pada tabel 4.4 tersebut merupakan tabel data BER sistem MIMO jika dibandingkan dengan sistem SISO pada kanal WBAN. Pada saat nilai $E_b/N_0 = 0$ 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 E_b/N_0 maka nilai dari BER akan semakin kecil. Pada nilai $E_b/N_0 = 14$ 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. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat kurva MIMO yang terdapat pada gambar 4.7.

Selanjutnya disimulasikan sistem MIMO menggunakan *equalizer*. Teknik ekualisasi yang digunakan adalah dengan *Zero Forcing* (ZF). Berdasarkan teori ZF dapat menghilangkan 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 4.8 dibawah.



Gambar 4.8 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF WBAN

Berdasarkan kurva hasil simulasi didapatkan nilai BER MIMO ZF lebih kecil dibandingkan MIMO tanpa ekualisasi. Pada $E_bN_0 = 0$ dB didapatkan nilai BER sebesar 0,2319. Nilai ini turun sebesar 0,0701 dibandingkan dengan MIMO tanpa ekualisasi. Lalu pada $E_bN_0 = 14$ dB didapatkan nilai BER sebesar 0,0001375. Nilai ini lebih kecil 0,0004325 dibandingkan dengan MIMO tanpa ekualisasi.

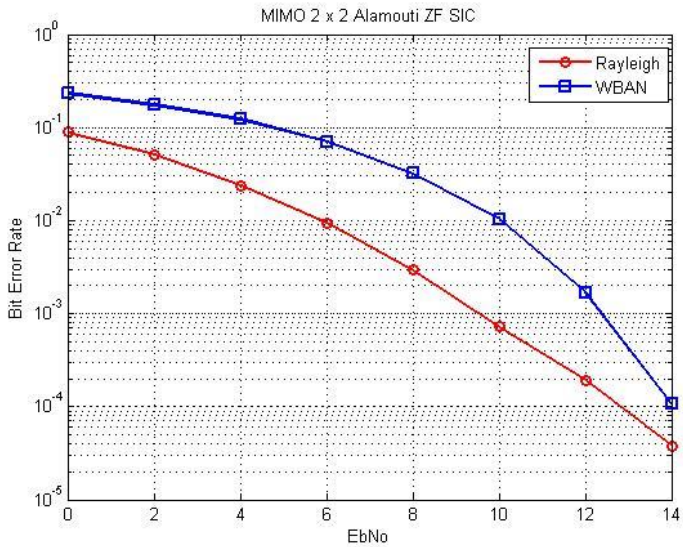
Selanjutnya disimulasikan sistem MIMO menggunakan *Zero Forcing* dan *Interference Cancellation*. Skema *Interference Cancellation* yang digunakan adalah dengan *successive Interference Cancellation*. Berdasarkan teori SIC digunakan untuk menghilangkan *multipath access Interference* (MAI), sehingga hasilnya akan didapatkan nilai BER yang lebih kecil lagi dibandingkan tanpa *Interference Cancellation*. Hal itu dapat dibuktikan dengan data hasil simulasi jika dibandingkan dengan MIMO tanpa *Interference Cancellation* yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 BER MIMO ZF dan MIMO ZF SIC WBAN

EbNo (dB)	Bit Error Rate	
	MIMO ZF	MIMO ZF SIC
0	0,2319	0,2281
2	0,1756	0,1664
4	0,122	0,1212
6	0,07186	0,0697
8	0,03212	0,03165
10	0,01039	0,009901
12	0,00165	0,001825
14	0,0001375	0,0001

Pada tabel 4.5 terdapat nilai perbandingan MIMO ZF dan MIMO ZF SIC. Dapat dilihat penurunan BER sangat kecil. Misalnya pada saat $E_bN_0 = 2$ 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 $E_bN_0 = 12$ dB. Pada saat $E_bN_0 = 14$ dB didapatkan nilai BER yang sangat kecil untuk

MIMO ZF SIC yaitu 0,0001. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9 Kinerja sistem pada pengiriman MIMO ZF SIC WBAN

[Halaman in sengaja dikosongkan]

BAB 5

PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan tentang proses, hasil pengujian dan cara pengukuran telah dibuat. Saran pada bab ini juga diperlukan demi kelancaran penelitian sistem komunikasi WBAN selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

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 $E_b/N_0=14$.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik adalah:

1. Pengimplementasian sistem secara real bukan hanya dengan simulasi.

2. Pengembangan skema *Interference Cancellation* dengan menggunakan algoritma yang berbeda.

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] Maduranga. Kasun, “*Ultrawideband Wireless Body Area Network*”, Springer, 2014, pp. 2 – 14.
- [4] Jayasheela M., “*Improved SIC for MIMO UWB Based WBAN*”, Journal of Antennas and Propagation No.781438, 2012.
- [5] “*Channel Model for Body Area Network*”, IEEE P802.15
- [6] Cao, Huasong, “*Enabling Technologies for Wireless Body Area Networks: A Survey and Outlook*”, IEEE Communication Magazine pp.84 - 87, 2009.
- [7] Meel J., “*Spread Spectrum*”, De Nayer Instituut, 2009, pp. 12 – 18.
- [8] Setiawan, Afri Dani, “*Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Gold pada CDMA Menggunakan WARP*”, Jurusan Teknik Elektro ITS, 2015.
- [9] Parveen, Nazia, “*Multipath Interference Cancellation in MIMO Mobile Cellular System*”, International Journal of Distributed and Parallel Systems vol 3 No.3, 2012.
- [10] Sklar. Bernard, “*Digital Communication Fundamental and Application*”, Prentice Hall, New Jersey, 2009, Ch. 3.
- [11] B. Ezio, C. Robert, C. Anthony, G. Andrea, P. Arogyaswami, “*MIMO Wireless Communications*”, Cambridge, 2007, Ch. 3.

- [12] 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.
- [13] K. Jaipreet, S. Maninder Lal, S. Rajdeep Singh, “*Performance of Alamouti Scheme with Convolution for MIMO System*”, Proceedings of RARCS UIET, 2015.

LAMPIRAN A PROPOSAL

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri – ITS

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Putrissa Damayanti
Nomor Pokok : 2212 100 166
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Th. 2015/2016
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Wirawan, DEA.
2. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.
Judul Tugas Akhir : **Metode Interference Cancellation yang Efisien pada Jaringan Nirkabel Area Tubuh (Efficient Interference Cancellation Method for Wireless Body Area Network)**

10 FEB 2016

Uraian Tugas Akhir :


Perkembangan dari perangkat sensor memungkinkan untuk membangun suatu jaringan sensor nirkabel yang dapat dipakai di tubuh yaitu disebut jaringan nirkabel area tubuh (WBAN). WBAN terdiri dari beberapa peralatan mobile dan node sensor nirkabel yang saling berkomunikasi yang dapat dipakai atau diimplan di tubuh manusia. Aplikasi dari sensor ini digunakan dalam bidang kesehatan untuk memonitoring tubuh pasien lalu data tersebut bisa langsung dikirim ke dokter untuk di analisa.

Sistem WBAN dioperasikan pada daya rendah agar tidak ada radiasi kepada tubuh manusia. WBAN menggunakan sistem *Ultra Wideband (UWB)* karena sistem ini mempunyai daya rendah tetapi kecepatan data tinggi. Namun pada sistem UWB, ketika ada beberapa perangkat komunikasi nirkabel pada tubuh manusia, *Multiple Access Interference (MAI)* akan muncul. Adanya interferensi dari perangkat WBAN merugikan karena membuat data kesehatan pasien yang terekam menjadi tidak akurat dan berakibat pada kesalahan diagnosis.

Dalam tugas akhir ini akan mensimulasikan metode Interference Cancellation menggunakan algoritma *Successive Interference Cancellation (SIC)* pada kanal WBAN yang menggunakan sistem UWB/MIMO, untuk mendapatkan hasil kinerja dari sistem yang maksimal dan efisien dalam mengurangi efek MAI. Parameter kinerja yang akan diteliti adalah *Bit Error Rate (BER)* dan *Signal to Noise Ratio (SNR)*.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Dr. Ir. Wirawan, DEA.
NIP. 196311091989031011


Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.
NIP. 196411301989032001

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua,

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,


Dr. Eng. Ardiono Privadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004


Dr. Ir. Endroyono, DEA.
NIP. 1965040419991021001

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN B

LISTING PROGRAM

1. Kode Gold

```
%Generate 1st m-sequence (52) of length 31
(1+x^2+x^5)
register1=[1 1 1 1 1];%initial fill
code1=zeros(1,31);
for i=1:31
    temp = mod(register1(2)+register1(5),2);
    code1(i) = 2*register1(5)-1;
    for j=5:-1:2
        register1(j)=register1(j-1);
    end
    register1(1) = temp;
end
%Generate 2nd m-sequence (5432) of length 31
(1+x^2+x^3+x^4+x^5)
register2=[1 1 1 1 1];%initial fill
code2=zeros(1,31);
for i=1:31
    temp =
mod(register2(2)+register2(3)+register2(4)+re
gister2(5),2);
    code2(i) = 2*register2(5)-1;
    for j=5:-1:2
        register2(j)=register2(j-1);
    end
    register2(1) = temp;
end

m_sequence_1=code1;%1/-1(bipolar sequence)
output
m_sequence_2=code2;%1/-1(bipolar sequence)
output
m_sequence_1=m_sequence_1';%transpose to a
column
```

```

m_sequence_2=m_sequence_2';%transpose to a
column
%Generate a set of unique Gold codes in a
matrix (31x33) which includes
%the original 1st and 2nd m-sequences plus
(2^n-1)=31 other Gold codes with n=5.
%These unique codes are with initial fills of
[1 1 1 1 1] in register1
%and register2. Other unique sets of Gold
codes can be generated with
%different initial fill values.

m_sequence_1 =m_sequence_1>0;%change 1/-1 to
1/0
m_sequence_2 =m_sequence_2>0;%change 1/-1 to
1/0

Gold_code_matrix(:,1) = m_sequence_1;
Gold_code_matrix(:,2) = m_sequence_2;

for phase_shift=0:30

shifted_code=circshift(m_sequence_2,phase_shi
ft);

Gold_code_matrix(:,3+phase_shift)=mod(m_seque
nce_1+shifted_code,2);
end

%Change matrix codes from 1/0 to 1/-1 and
show 33 codes in command window.
Gold_code_matrix=2*Gold_code_matrix-1%change
1/0 to 1/-1

%Choose 2 codes from Gold code matrix and
plot the cross-correlation
%values. If codes are from preferred pairs,
the three values would be
%(-9,-1,+7).

```



```

codeA=Gold_code_matrix(:,1);
codeB=Gold_code_matrix(:,2);

%Determine cross-correlations

for shift=0:31
    shifted_code1 = circshift(codeA,shift);
    crosscorrelation(shift+1) =
(codeB'*shifted_code1)/31;
end

subplot(1,2,1)
plot(crosscorrelation)
grid on
xlabel('shifts');ylabel('value of
correlations');
title('Cross-correlations of two 31 chip
codes')

```

2. Kanal WBAN

```

function [h, t, n_p] =
uwb_hospban_chan_CM4(num_channels,num_path,body_
direction)
% Function for getting channel realizations
for UWB Hospital BAN channel CM4.
% Igor Dotlic (dotlic@nict.go.jp) March 2009.
% Input variables
% num_channels - number of channel
realizations
% body_direction= 1: 0 deg, 2: 90 deg, 3: 180
deg, 4: 270 deg
% Output variables
% h - complex multipath amplitude responses
% t - times of multipath arrivals (ns)
% n_p - number of paths for each channel
realization
% Fixed model parameters
L_mean = 400; % mean number of arrival paths

```

```

lambda_inv= 0.50125; % mean time between
arrivals (ns)
% Model parameters that depend on body
direction
if body_direction == 1
Gamma = 44.6346; % (ns)
k_abs = 5.111739;
sigma = 7.30;
elseif body_direction == 2
Gamma = 54.2868; % (ns)
k_abs = 4.348859975;
sigma = 7.08;
elseif body_direction == 3
Gamma = 53.4186; % (ns)
k_abs = 3.638084447;
sigma = 7.03;
elseif body_direction == 4
Gamma = 83.9635; % (ns)
k_abs = 3.983472211;
sigma = 7.19;
end
% % Calculating number of paths
% n_p = poissrnd(L_mean, 1, num_channels);
% for k_chan = 1:num_channels
% n_p(k_chan) = max(n_p(k_chan), 1);
% end
% Maximum number of paths
n_p=num_path*ones(1,num_channels);
n_p_max = max(n_p);
% Allocating memory for channel realizations
h = zeros(n_p_max, num_channels);
t = zeros(n_p_max, num_channels);
% Calculating path arrival times
t_dif = exprnd(lambda_inv, num_channels,
n_p_max-1);
for k_chan = 1:num_channels
t(2:n_p(k_chan),k_chan) =
cumsum(t_dif(k_chan, 1:n_p(k_chan)-1));
end
% Calculating path levels

```

```

for k_chan = 1:num_channels
h(1,k_chan) =
exp(i*rand*2*pi)*sqrt(10^(sigma*randn/10));
% Paths 2 onwards
for k_p = 2:n_p(k_chan)
h(k_p, k_chan) = exp(i*rand*2*pi)*...
sqrt(exp(-t(k_p,k_chan)/Gamma-
k_abs)*10^(sigma*randn/10));
end
% Normalizing current PDP realization (may be
commented out)
h(:,k_chan) = h(:,k_chan)/norm(h(:,k_chan));
end

```

3. SISO

```

jb=20000;
js=jb/2;
AA=35.5;
ebnodB=[0:2:14];
ebno=10.^(ebnodB/10);
jdata=20000;
for b=1:length(ebnodB)
    for a=1:length(ebnodB)
        n=1/ebno(b);
        s0=randi([0 1],1,jdata);
        s0=s0*2-1;

        h0=randn(1,jdata)+j*randn(1,jdata);
        h0=h0/sqrt(mean(abs(h0).^2));

%[h,t,n_p]=uwb_hospban_chan_CM4(jdata,4,1);
%h0=h(1,:);

n0=(randn(1,jdata)+j*randn(1,jdata))*sqrt(n)/
sqrt(2);
r0=h0.*s0+n0;

s0a=real(r0.*conj(h0));
s0b=sign(s0a);

```

```

        errs0(a)=sum(abs(s0b-s0)/2);
        pe(a)=errs0(a)/jdata;
    end

        errs0
        pe
        pet(b)=sum(pe)/length(ebnodB)
    end
    pell=pet
    y=pet;
    x=ebnodB;
    semilogy(x,y)
    xlabel('Eb/No')
    ylabel('BER')
    grid on

```

4. MIMO

```

j_b=20000;
j_s=j_b/2;
AA=35.5;
ebnodB=[0:2:14]-AA;
ebno=10.^(ebnodB/10);
for b=1:length(ebnodB)
    for a=1:length(ebnodB)
        n=1/ebno(b);

        data=randi([0 1],1,j_b);
        data=data*2-1;

        s0=data(1:2:end);
        s1=data(2:2:end);
        gold1=[1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1
1 -1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -
1];

        h0=randn(1,j_s)+j*randn(1,j_s);
        h0=h0/sqrt(mean(abs(h0).^2));
        h1=randn(1,j_s)+j*randn(1,j_s);

```

```

h1=h1/sqrt(mean(abs(h1).^2));
h2=randn(1,js)+j*randn(1,js);
h2=h2/sqrt(mean(abs(h2).^2));
h3=randn(1,js)+j*randn(1,js);
h3=h3/sqrt(mean(abs(h3).^2));
%
[h,t,n_p]=uwb_hospban_chan_CM4(js,4,1);
%
h0=h(1,:);
%
h1=h(2,:);
%
h2=h(3,:);
%
h3=h(4,:);

n0=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
);

n1=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
);

n2=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
);

n3=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
);

r01=gold1'*(h0.*s0+h1.*s1)+ones(31,1)*n0;
r11=gold1'*(-
h0.*s1+h1.*s0)+ones(31,1)*n1;

r21=gold1'*(h2.*s0+h3.*s1)+ones(31,1)*n2;
r31=gold1'*(-
h2.*s1+h3.*s0)+ones(31,1)*n3;

r0=(gold1*r01)/31;
r1=(gold1*r11)/31;
r2=(gold1*r21)/31;
r3=(gold1*r31)/31;

```

```

s0a=real(r0.*conj(h0))+real(conj(r1).*h1)+rea
l(r2.*conj(h2))+real(conj(r3).*h3);
s1a=real(r0.*conj(h1))-
real(conj(r1).*h0)+real(r2.*conj(h3))-
real(conj(r3).*h2);

s0b=sign(s0a);
s1b=sign(s1a);

errs0=sum(abs(s0b-s0)/2);
errs1=sum(abs(s1b-s1)/2);
errt(a)=errs0+errs1;
pe(a)=errt(a)/jb;
end

errt
pe
pet(b)=sum(pe)/5
end
pe22=pet
y=pet;
x=ebnodB+AA;
semilogy(x,y,'r-o');
xlabel('Eb/No')
ylabel('BER')
grid on

```

5. MIMO ZF

```

jb=20000;
js=jb/2;
AA=35.5;
ebnodB=[0:2:14]-AA;
ebno=10.^(ebnodB/10);
for b=1:length(ebnodB)
    for a=1:length(ebnodB)
        n=1/ebno(b);

        data=randi([0 1],1,jb);

```

```

data=data*2-1;
s0=data(1:2:end);
s1=data(2:2:end);
gold1=[1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1
-1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -1];

h0=randn(1,js)+j*randn(1,js);
h0=h0/sqrt(mean(abs(h0).^2));
h1=randn(1,js)+j*randn(1,js);
h1=h1/sqrt(mean(abs(h1).^2));
h2=randn(1,js)+j*randn(1,js);
h2=h2/sqrt(mean(abs(h2).^2));
h3=randn(1,js)+j*randn(1,js);
h3=h3/sqrt(mean(abs(h3).^2));
%[h,t,n_p]=uwb_hospban_chan_CM4(js,4,1);
%h0=h(1,:);
%h1=h(2,:);
%h2=h(3,:);
%h3=h(4,:);

n0=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
n1=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
n2=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
n3=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);

r01=gold1'*(h0.*s0+h1.*s1)+ones(31,1)*n0;
r11=gold1'*(-
h0.*s1+h1.*s0)+ones(31,1)*n1;

r21=gold1'*(h2.*s0+h3.*s1)+ones(31,1)*n2;
r31=gold1'*(-
h2.*s1+h3.*s0)+ones(31,1)*n3;

r0=(gold1*r01)/31;
r1=(gold1*r11)/31;

```

```

r2=(gold1*r21)/31;
r3=(gold1*r31)/31;

    cr1=conj(r1);
    cr3=conj(r3);

    ch0=conj(h0);
    ch1=conj(h1);
    ch2=conj(h2);
    ch3=conj(h3);

    k=numel(h0);
    result=[];

    for i=1:k
        step1=[ch0(i) ch2(i) h1(i)
h3(i);ch1(i) ch3(i) -h0(i) -h2(i)];
        step2=[h0(i) h1(i);h2(i)
h3(i);ch1(i) -ch0(i);ch3(i) -ch2(i)];
        step3=step1*step2;
        step4=inv(step3);

    step5=step1*[r0(i);r2(i);cr1(i);cr3(i)];
    step6=step4*step5;
    result=[result step6];
    end

    rres=real(result);
    sb=sign(rres);

    %sE=sign(real(reshape([s0a;s1a],1,[])));

    errs0=sum(abs(sb(1,:)-s0)/2);
    errs1=sum(abs(sb(2,:)-s1)/2);
    errt(a)=errs0+errs1;
    pe(a)=errt(a)/jb;
end
errt
pe

```



```

    pet(b)=sum(pe)/length(ebnodB)
end

```

6. MIMO ZF SIC

```

jb=20000;
js=jb/2;
AA=35.5;
ebnodB=[0:2:14]-AA;
ebno=10.^(ebnodB/10);
    for b=1:length(ebnodB)
        for a=1:length(ebnodB)
            n=1/ebno(b);

            data=randi([0 1],1,jb);
            data=data*2-1;

            s0=data(1:2:end);
            s1=data(2:2:end);
            gold1=[1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 1 -1 -1 1
-1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -1];

            h0=randn(1,js)+j*randn(1,js);
            h0=h0/sqrt(mean(abs(h0).^2));
            h1=randn(1,js)+j*randn(1,js);
            h1=h1/sqrt(mean(abs(h1).^2));
            h2=randn(1,js)+j*randn(1,js);
            h2=h2/sqrt(mean(abs(h2).^2));
            h3=randn(1,js)+j*randn(1,js);
            h3=h3/sqrt(mean(abs(h3).^2));
            % [h,t,n_p]=uw_b_hospban_chan_CM4(js,4,1);
            % h0=h(1,:);
            % h1=h(2,:);
            % h2=h(3,:);
            % h3=h(4,:);

n0=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
n1=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);

```

```

n2=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);
n3=(randn(1,js)+j*randn(1,js))*sqrt(n)/sqrt(2);

r01=gold1'*(h0.*s0+h1.*s1)+ones(31,1)*n0;
    r11=gold1'*(-
h0.*s1+h1.*s0)+ones(31,1)*n1;

r21=gold1'*(h2.*s0+h3.*s1)+ones(31,1)*n2;
    r31=gold1'*(-
h2.*s1+h3.*s0)+ones(31,1)*n3;

    r0=(gold1*r01)/31;
    r1=(gold1*r11)/31;
    r2=(gold1*r21)/31;
    r3=(gold1*r31)/31;
    cr1=conj(r1);
    cr3=conj(r3);

    cr1=conj(r1);
    cr3=conj(r3);

    ch0=conj(h0);
    ch1=conj(h1);
    ch2=conj(h2);
    ch3=conj(h3);

    k=numel(h0);
    result=[];

    for i=1:k
        step1=[ch0(i) ch2(i) h1(i)
h3(i);ch1(i) ch3(i) -h0(i) -h2(i)];
        step2=[h0(i) h1(i);h2(i)
h3(i);ch1(i) -ch0(i);ch3(i) -ch2(i)];
        step3=step1*step2;
        step4=inv(step3);

```

```

        y=[r0(i);r2(i);cr1(i);cr3(i)];
        step5=step1*y;
        step6=step4*step5;
        step7=sign(real(step6));
        step8=y-step2(:,2)*step7(2);
        step9=y-step2(:,1)*step7(1);

x1=sum(conj(step2(:,1)).*y)/sum(conj(step2(:,
1)).*step2(:,1));

x2=sum(conj(step2(:,2)).*y)/sum(conj(step2(:,
2)).*step2(:,2));
        resx=[x1;x2];
        result=[result resx];
end

rres=real(result);
sb=sign(rres);

errs0=sum(abs(sb(1,:)-s0)/2);
errs1=sum(abs(sb(2,:)-s1)/2);
errt(a)=errs0+errs1;
pe(a)=errt(a)/jb;

end
errt
pe
pet(b)=sum(pe)/length(ebnodB)

end

```

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BIOGRAFI PENULIS



Putrissa Damayanti adalah anak ketiga dari tiga bersaudara yang lahir di Jakarta, 8 Februari 1994. Penulis memulai pendidikan formal di SDNP IKIP Jakarta. Lalu melanjutkan ke tingkat menengah di SMPN 109 Jakarta. Lalu yang terakhir adalah SMA Negeri 81 Jakarta hingga akhirnya sekarang berkuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknk Elektro, bidang studi Telekomunikasi Multimedia angkatan 2012. Penulis telah aktif sebagai asisten praktikum Dasar Sistem Telekomunikasi selama 2 periode terakhir dan juga praktikum Komunikasi Data selama 2 periode. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: putrissa.d@gmail.com

[Halaman ini sengaja dikosongkan]