

# IMPLEMENTASI DEKODER MIMO BERBASIS DETEKSI TRELLIS PADA WLAN 802.11n

Yama Aryadanangjaya<sup>\*)</sup>, Wahyul Amien Syafei<sup>\*)</sup>, and Imam Santoso<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: yama\_cp9@yahoo.com, wasyafei@gmail.com, Imanstso@undip.ac.id.com

## Abstrak

Wireless Local Area Network(WLAN) adalah teknologi nirkabel yang digunakan secara luas untuk komunikasi data dan suara. Kebutuhan laju data yang lebih tinggi mengharuskan penggunaan teknologi terbaru pada WLAN. Dimulai dengan throughput maksimal 2 Mcps pada 1997, dewasa ini WLAN diharapkan dapat mencapai throughput Gbps. Kombinasi OFDM dan MIMO menjanjikan peningkatan throughput yang besar tanpa tambahan *bandwidth*. Pada makalah ini kami melakukan penelitian dalam teknik *decoding* MIMO pada IEEE WLAN 802.11n. Metode Trellis akan diterapkan pada simulator IEEE WLAN 802.11n untuk meningkatkan kinerja sistem sebelumnya yang menggunakan teknik ZF dan MMSE. Simulasi ini dilakukan pada model kanal TGn channel B pada konfigurasi MIMO 2 x 2. Teknik *Maximum Likelihood* akan diterapkan sebagai teknik dengan kinerja paling baik. Dari hasil simulasi didapatkan kesimpulan bahwa detektor Trellis memiliki kinerja mendekati optimal, hanya menurun 1 hingga 3 dB dibandingkan MLD. Kompleksitas MLD berbanding Trellis akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah antenna pemancar dan skema modulasi.

*Kata kunci : IEEE WLAN 802.11n, MIMO decoding, metode Trellis.*

## Abstract

WLAN 802.11n is a system with maximum throughput 600 Mbps, which is ten times faster compared to the preceding standard. The main features in the 802.11n standard are OFDM and MIMO techniques, those techniques promise dramatically increase of throughput without additional bandwidth. The demand of higher data rate forces improvement on the performance of WLAN 802.11n by implementing new techniques in the system. One of the concern is the use of new MIMO decoding techniques on Spatial Division Multiplexing (SDM) MIMO. This research conduct research in MIMO decoding technique in IEEE WLAN 802.11n. The Trellis method will be implemented in IEEE WLAN 802.11n to improve performance of preceding MIMO decoding method i.e ZF, MMSE. The simulation is done under 64QAM scheme TGn channel B in 2x2 MIMO configuration. The Maximum Likelihood method will be set as reference for its optimal performance compared to the other methods. The result shows that Trellis detector gives near-optimal performance, and only degrade 1 to 3 dB compared to the MLD method. The trellis to MLD complexity ratio will decrease as the number of Transmit antenna.

*Keywords : IEEE WLAN 802.11n, MIMO decoding, Trellis method.*

## 1. Pendahuluan

Wireless LAN merupakan teknologi jaringan nirkabel yang dapat digunakan untuk komunikasi suara maupun data. Pada sistem komunikasi nirkabel pita lebar di masa mendatang ada dua tantangan yang harus dihadapi yaitu menghilangkan *multipath fading channels* dan memperbesar efisiensi spektrum. Untuk mengatasi hal tersebut, ada dua teknik yang digunakan dalam perkembangan WLAN. Teknik yang pertama yaitu

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). OFDM merupakan suatu teknik transmisi *multi carrier*, dimana tiap frekuensi adalah orthogonal satu sama lain, sehingga terjadinya *overlapping* tidak akan menyebabkan interferensi. Penerapan teknik ini mengakibatkan kondisi *multipath fading channel* menjadi *flat fading channel*. Di sisi lain, untuk memperbesar efisiensi spektrum digunakan teknik MIMO (*Multi Input Multi Output*). MIMO merupakan penerapan antenna jamak pada sisi pengirim dan penerima. Dengan demikian teknik ini dapat

memperbesar kapasitas kanal tanpa memerlukan *bandwidth* tambahan.

Teknik OFDM telah diterapkan pada 802.11a dengan sistem SISO (*Single-Input Single Output*/antena tunggal) pada frekuensi 5GHz[1]. Pengembangan sistem selanjutnya adalah dengan penerapan MIMO-OFDM pada 802.11n[2]. Kombinasi sistem MIMO-OFDM, mempunyai kemampuan dalam menawarkan akses komunikasi yang cepat, handal dan efisien dalam penggunaan *bandwidth*. WLAN 802.11n menggunakan MIMO dengan jumlah maksimal antenna pemancar empat buah. Penerapan MIMO-OFDM pada WLAN 802.11n dapat menjanjikan kenaikan data rate mencapai 600 Mbps, jauh dibandingkan para pendahulunya[3].

Banyak teknik telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja WLAN 802.11n, antara lain penggunaan *Low Density Parity Check* (LDPC) sebagai *channel coding* pengganti *Binary Convolutional Coding*(BCC), serta desain *Register Transfer Level*(RTL)[4] dan desain *Application Specific Integrated Circuit* (ASIC) [5] [6]. Teknik tersebut menghasilkan peningkatan kinerja sebesar 6 dB dibandingkan metode sebelumnya. Teknik lain yang dilakukan adalah pengaturan *antenna spacing* pada nilai  $2\lambda$  menghasilkan perbaikan sebesar 5 dB dibandingkan dengan *antenna spacing* sebesar  $1/2\lambda$  [7].

Pengiriman beberapa data independen pada sistem MIMO disebut teknik *spatial multiplexing*. Dengan penggunaan kanal yang sama untuk mengirim beberapa data independen, dibutuhkan teknik khusus untuk mendapatkan kembali informasi yang dikirim. Dua teknik linier yang digunakan pada IEEE 802.11n adalah *Zero Forcing*(ZF) dan *Minimum Mean Square Error* (MMSE). Keduanya memiliki kompleksitas yang rendah, namun kinerjanya rendah. Teknik yang dikenal memiliki kinerja optimal adalah *Maximum Likelihood Detection* (MLD), dimana teknik ini akan menghitung jarak sinyal diterima terhadap seluruh kemungkinan kombinasi simbol. Teknik ini memiliki kinerja paling baik namun tingkat kompleksitasnya akan bertambah seiring dengan bertambahnya orde modulasi dan jumlah antenna pemancar. Oleh sebab itu sekarang banyak dikembangkan metode sub-optimal kompleksitas lebih rendah daripada MLD.

Pada makalah ini akan ditampilkan hasil penelitian terhadap peningkatan kinerja pada WLAN IEEE 802.11n dengan menerapkan algoritma deteksi Trellis sebagai detektor MIMO. Teknik MIMO yang digunakan adalah *Spatial Division Multiplexing* pada konfigurasi MIMO 2 x 2 64QAM. Simulasi dilakukan pada model kanal B IEEE 802.11Tgn yang mewakili cakupan area suatu kantor kecil.

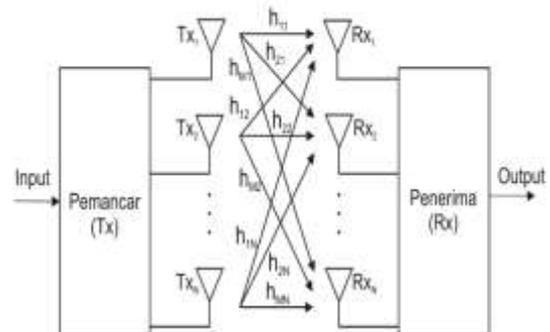
## 2. Dasar Teori

### 2.1 MIMO

Nomenklatur: Huruf yang dicetak tebal menyatakan suatu matriks, sedangkan huruf yang dicetak biasa menyatakan suatu nilai skalar;  $(\cdot)^H$  menyatakan matriks Hermitian (*transpose conjugate matrix*);  $(\cdot)^{-1}$  menyatakan matriks invers;  $\|\cdot\|$  menyatakan Euclidean Norm.

MIMO merupakan salah satu teknik diversitas yang berguna untuk mengurangi *fading* dan interferensi dari user lain dan meningkatkan *data rate* tanpa mengorbankan *bandwidth* maupun daya pancarnya. Teknik MIMO ini menggunakan beberapa antenna di pemancar dan penerima untuk meningkatkan performansi komunikasi. Skema MIMO yang biasa digunakan dibedakan menjadi dua jenis. Skema MIMO tersebut adalah *Space Time Block Code* (STBC) dan *Spatial Division Multiplexing* (SDM).

Prinsip SDM adalah deretan simbol yang akan dikirim dipecah menjadi beberapa paralel deretan simbol yang kemudian ditransmisikan secara simultan dengan *bandwidth* yang sama pada



Gambar 1 konfigurasi MIMO  $N_t \times M_r$

beberapa antenna, sehingga teknik ini memberikan peningkatan laju data sesuai jumlah antenna pengirim. Pada sistem SDM, jumlah antenna penerima paling sedikit sama dengan jumlah pengirim. Konfigurasi MIMO N pengirim dan M penerima ditunjukkan pada gambar 1.  $Tx_1$  sampai dengan  $Tx_N$  merupakan antenna pemancar sejumlah N, sedangkan  $Rx_1$  sampai dengan  $Rx_M$  merupakan antenna penerima sejumlah M.  $H_{MN}$  merupakan kanal propagasi sinyal dari antenna N ke antenna M.

### 2.2 MIMO Decoding

Setiap antenna penerima akan mendapatkan seluruh sinyal dari semua antenna pemancar, sehingga sinyal yang diterima pada antenna 1 adalah  $y_1 = \sum_{i=1}^N h_{1i} x_i$  dan seterusnya hingga  $y_M$ . Karena semua informasi tercampur pada setiap antenna penerima, maka dibutuhkan suatu teknik MIMO *decoding* untuk mendapatkan sinyal

informasi asli. Metode MIMO *decoding* terbagi atas beberapa jenis, yaitu metode linier dan non linier

### Metode Linier

Metode linier yang umum digunakan untuk deteksi ada 2 yaitu Zero Forcing (ZF) dan Minimum Mean Square Error (MMSE).

#### Zero Forcing(ZF)

Dari Persamaan umum transmisi sinyal

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{N}_0 \tag{1}$$

Dengan  $\mathbf{y}$  adalah simbol yang diterima,  $\mathbf{H}$  adalah respons impuls kanal,  $\mathbf{x}$  adalah simbol yang ditransmisikan dan  $\mathbf{N}_0$  adalah *noise*.

Untuk mendapatkan nilai  $\mathbf{x}$  dalam metode ZF adalah dengan menentukan matriks bobot  $\mathbf{W}$  yang memenuhi  $\mathbf{W}\mathbf{H} = \mathbf{1}$ . Sehingga dapat dituliskan

$$\mathbf{W} = (\mathbf{H}^H\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^H \tag{2}$$

Maka nilai estimasi  $\mathbf{x}$  adalah

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}} &= \mathbf{W}\mathbf{y} \\ \hat{\mathbf{x}} &= \mathbf{W}(\mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{N}_0) \\ \hat{\mathbf{x}} &= \mathbf{x} + \mathbf{W}\mathbf{N}_0 \end{aligned} \tag{3}$$

### Minimum Mean Square Error (MMSE)

Dari persamaan (1), metode *Minimum Mean Square Error* (MMSE) adalah dengan mencari koefisien  $\mathbf{W}$  yang mengurangi nilai *noise additive*, sehingga:

$$\mathbf{W} = [\mathbf{H}^H\mathbf{H} + \mathbf{N}_0\mathbf{I}]^{-1}\mathbf{H}^H \tag{4}$$

Dengan  $\mathbf{I}$  adalah matriks identitas. Ketika faktor noise adalah nol, MMSE akan sama dengan persamaan ZF.

Kategori kedua adalah metode non linier. Metode non linier terdiri atas metode *Maximum likelihood Detection*(MLD) dan turunannya. MLD merupakan metode dengan kinerja optimal sebagai detektor MIMO. Sedangkan metode turunannya merupakan metode pendekatan MLD dengan kompleksitas yang lebih rendah

Pada metode deteksi *Maximum Likelihood*, untuk menentukan estimasi matriks  $\mathbf{x}$  yang dikirimkan, dilakukan perhitungan jarak Euclidean antara matriks  $\mathbf{y}$  dengan seluruh simbol yang mungkin  $\mathbf{s}$  dikalikan matriks estimasi kanal  $\mathbf{H}$ . Kandidat simbol dengan jarak Euclidean terkecil merupakan  $\hat{\mathbf{x}}$ . Metode ini dirumuskan sebagai berikut

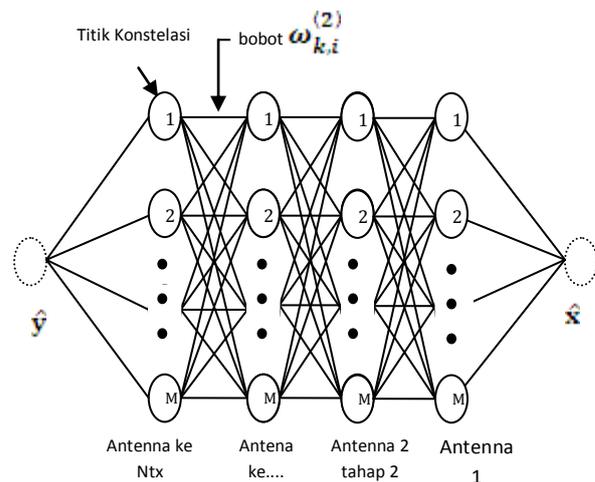
$$\hat{\mathbf{x}} = \underset{\mathbf{s}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{s}\|^2 \tag{5}$$

Dari persamaan diatas, dapat diambil contoh bila menggunakan modulasi BPSK dengan antenna Tx dan Rx masing-masing dua buah. Maka persamaan matriksnya akan diberikan sebagai berikut :

$$\hat{\mathbf{x}} = \underset{\mathbf{s}}{\operatorname{argmin}} \left\| \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} \right\|^2 \tag{6}$$

Jika memakai modulasi BPSK, nilai dari  $s_1$  yaitu +1 atau -1. Nilai dari  $s_2$  pun adalah sama yaitu +1 atau -1. Untuk mencari solusi dari Maimum Likelihood, dicari nilai minimal dari semua empat kombinasi  $s_1$  dan  $s_2$ , yaitu untuk  $s_1$  dan  $s_2$  bernilai (-1,-1),(-1,1),(1,-1) dan (1,1).Estimasi dari simbol yang dikirimkan dipilih berdasarkan nilai minimum dari keempat nilai tersebut. Maka jumlah kombinasi yang harus dicari pada konfigurasi ini adalah  $2^2 = 4$  kombinasi. Sesuai dengan persamaan :

$$\mathbf{K} = M^{N_t} \tag{7}$$



Gambar 2 Grafik deteksi pada *Maximum Likelihood*

Dengan  $M$  mewakili jumlah titik konstelasi. Jadi kompleksitasnya bertambah seiring dengan jumlah  $N_t$ . [8]

### Trellis Decoder<sup>[9]</sup>

*Trellis decoder* merupakan metode sub optimal dari metode *Maximum Likelihood*, dimana metode ini bertujuan untuk mendapatkan kinerja mendekati optimal dengan kompleksitas yang lebih sedikit.

### Model Sistem

Pada sistem dengan konfigurasi  $N \times N$  antenna, dengan menggunakan metode deteksi Trellis, matriks kanal diubah dalam bentuk lain dengan operasi *QR decomposition*, dimana suatu matriks  $\mathbf{H}$  diubah ke dalam

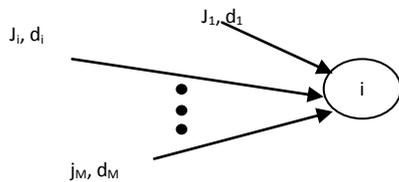
bentuk matriks  $\mathbf{Q}$  dan  $\mathbf{R}$ . Dengan  $\mathbf{R}$  merupakan matriks berukuran  $N \times N$  dimana anggota matriks di bawah diagonal bernilai 0. Matriks  $\mathbf{Q}$  memiliki sifat  $\mathbf{Q}\mathbf{Q}^H = \mathbf{I}$ , sehingga simbol yang diterima dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{Q}\mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{N}_0 \\ \mathbf{Q}^H\mathbf{y} &= \mathbf{Q}^H(\mathbf{Q}\mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{N}_0) \\ \mathbf{Q}^H\mathbf{y} &= \mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{Q}^H\mathbf{N}_0 \end{aligned} \quad (8)$$

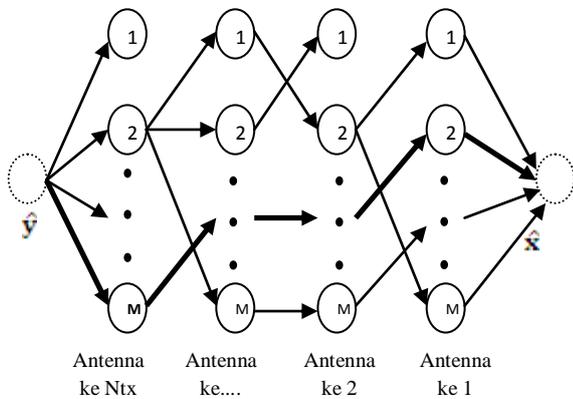
Pada metode trellis, deteksi MIMO dapat digambarkan dalam suatu grafik trellis.

### Konstruksi Grafik pada Metode *Maximum Likelihood*

Pada suatu sistem MIMO  $N \times N$ , Untuk mendapatkan matriks vektor yang dikirim dengan jarak Euclidean terkecil, harus dilakukan



Gambar 3 Aliran data pada satu simpul titik konstelasi  $i$ .



Gambar 4 proses pencarian dengan pengurangan tepi.

perhitungan jarak euclidean ( $\Lambda$ ) pada setiap matriks vektor terkirim. Dengan  $\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{Q}^H\mathbf{y}$ , perhitungan  $\Lambda$  dapat ditulis:

$$\Lambda = \|\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{R}\mathbf{s}\|^2 \quad (9)$$

$$\Lambda = \left\| \begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \dots \\ \hat{y}_N \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1N} \\ 0 & R_{22} & \dots & R_{2N} \\ 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & R_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_N \end{bmatrix} \right\|^2 \quad (10)$$

Perhitungan  $\Lambda$  dapat dipecah menjadi

$$\Lambda = \omega^{(1)} + \omega^{(2)} + \omega^{(\dots)} + \omega^{(N)} \quad (11)$$

Dengan  $\omega^{(t)}$  adalah jarak Euclidean 1-D untuk antenna ke- $t$  dan dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned} \omega^{(1)} &= \|\hat{y}_N - R_{NN}s_N\|^2, \\ \omega^{(2)} &= \|\hat{y}_{N-1} - (R_{N-1,N-1}s_{N-1} + R_{N-1,N}s_N)\|^2, \\ \omega^{(3)} &= \|\hat{y}_{N-2} - (R_{N-2,N-2}s_{N-2} + \dots + R_{N-2,N}s_N)\|^2, \\ \omega^{(4)} &= \|\hat{y}_1 - (R_{11}s_1 + R_{12}s_2 + \dots + R_{1N}s_N)\|^2 \end{aligned} \quad (12)$$

Daerah pencarian pada seluruh matriks vektor terkirim ditunjukkan pada gambar 2, dimana setiap matriks vektor terkirim adalah suatu jalur pada grafik trellis. Terdapat  $N_{tx}$  tahap trellis, satu tahap tiap antenna. Setiap tahap mempunyai sejumlah simpul sesuai titik konstelasi. Suatu jalur melalui trellis dari pangkal ke ujung adalah matriks vektor terkirim. Tepi di antara simpul pada tahap  $t-1$ ,  $v(t-1, k)$ , dan simpul ke  $i$  pada tahap  $t$ ,  $v(t, i)$ , memiliki bobot  $\omega_{k,i}^{(t)}$ . Fungsi bobot tidak bergantung pada tahap selanjutnya, namun hanya bergantung tahap sekarang dan tahap sebelumnya. Sebagai contoh,  $\omega_{k,i}^{(2)}$  hanya bergantung pada simpul pada tahap 2 dan 1, seperti ditunjukkan pada gambar 2.

### Algoritma jalur terpendek

Pengurangan tepi akan memperkecil jumlah jalur dengan cara memotong jalur yang datang. Langkah pertama adalah menghubungkan  $M$  jalur yang ada,  $j_1, \dots, j_M$ , ke titik konstelasi  $i$ . Jumlahan bobot yang baru untuk jalur  $k$  (jalur pada tahap  $t-1$ ) dengan bobot kumulatif baru  $d_k$ , dibuat dengan menambahkan bobot jalur  $k$  ke titik konstelasi  $i$ ,  $\omega_{k,i}^{(t)}$  ke jumlahan bobot yang lama untuk jalur  $k$ ,  $d_k'$

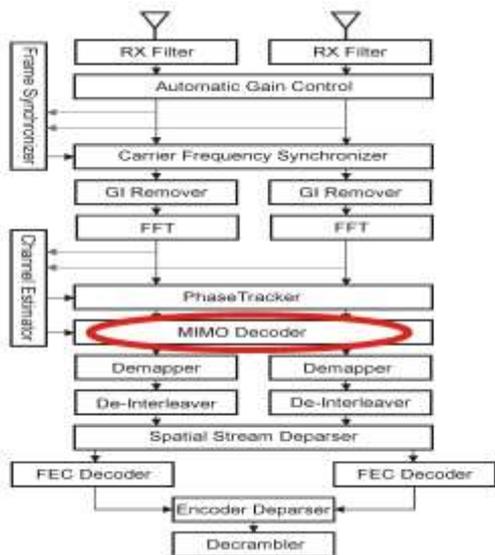
$$d_k = d_k' + \omega_{k,i}^{(t)} \quad (13)$$

Gambar 3 menunjukkan bahwa setiap titik konstelasi  $i$  pada tahap  $t$  memiliki  $M$  subjalur  $j_1, \dots, j_M$  dan jarak parsial yang diperbaharui,  $d_k$ , yang merupakan jumlahan bobot pada subjalur  $j_k$  dari akar ke puncak  $i$ . Di antara  $M$  subjalur yang akan datang, dipilih subjalur  $j_i$  dengan bobot minimum dan hapus subjalur  $M-1$  yang lain.

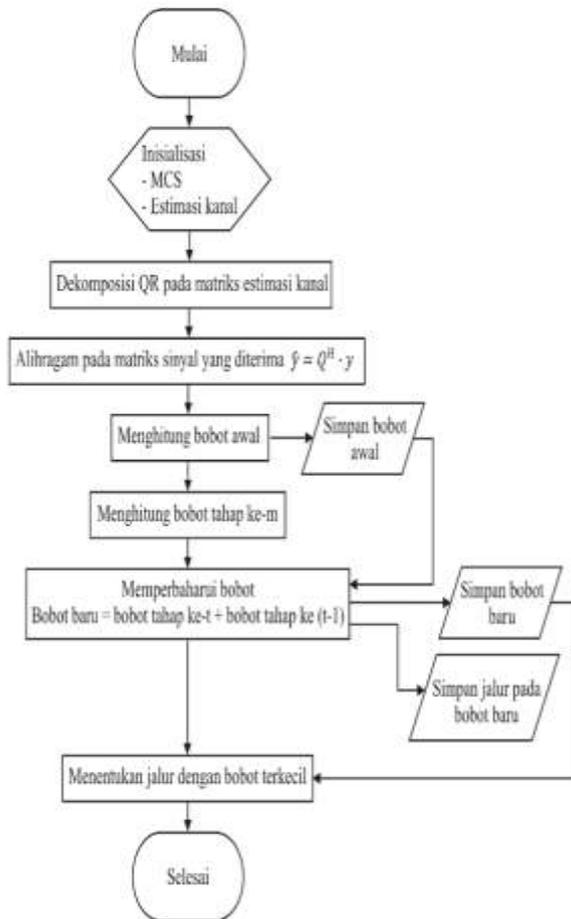
Tujuan mencari bobot minimum adalah untuk menemukan jalur terpendek melalui trellis. Proses pencarian dapat dinyatakan sebagai runtun pengurangan tepi. Pengurangan tepi terus dilakukan sampai akhirnya melintangi trellis. Gambar 4 menunjukkan contoh grafik hasil setelah melakukan pengurangan tepi di setiap puncak. Pada tahap terakhir, terdapat  $M$  jalur, satu jalur pada setiap titik konstelasi pada tahap  $t=N_{tx}$ . Jalur terbaik dipilih di antara empat jalur yang tersisa di ujungnya. Contoh pemilihan jalur pada grafik trellis ditunjukkan pada gambar 4. Setiap anak panah yang menuju titik konstelasi merupakan jalur dengan bobot sementara terkecil dari tahap sebelumnya. Anak panah bergaris tebal

merupakan jalur dengan bobot akhir terkecil. Proses pemilihan bobot minimum adalah sebagai berikut

$$d_{\min} = \arg \min_{i \in \{0, \dots, M\}} d_i, \quad (14)$$



Gambar 5 MIMO Decoder pada sisi penerima WLAN 802.11n.



Gambar 6 Diagram alir Algoritma Trellis

Tabel 1. Parameter Simulator WLAN 802.11n

Parameter	Nilai
Konfigurasi antena	2x2
Modulasi Subcarrier	64 QAM
Tipe MIMO	SDM
Jumlah data per paket	1000 octet
Model kanal	TGn Channel B
Channel Code	Convolutional coding
Laju pengkodean	2/3,3/4,5/6
MIMO decoder	ZF,MMSE,MLD,Trellis
Throughput(Mbps)	216,243,270

### 3. Perancangan Sistem

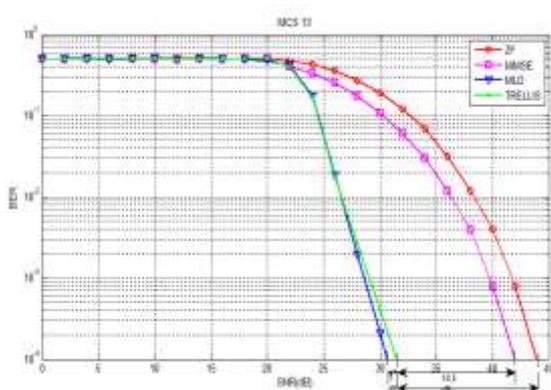
Pada bab ini akan dipaparkan perancangan sistem dan parameter simulasi. Diagram blok sisi penerima pada WLAN 802.11n dapat dilihat pada gambar 5, bagian MIMO decoder berada setelah tahap phase tracker. Pada simulasi ini akan diteliti kinerja MIMO decoder pada konfigurasi antena 2 x 2 dengan orde modulasi 64QAM. Pada standar IEEE 802.11n, konfigurasi ini termasuk dalam Modulation and Coding Scheme(MCS) 13,14 dan 15. Yang membedakan ketiga MCS tersebut adalah laju pengkodean dimana masing- masing bernilai 2/3,3/4 dan 5/6. Parameter sistem yang lain ditampilkan pada tabel 1. Diagram alir algoritma Trellis ditunjukkan pada gambar 6. Nilai inialisasi MCS didapat dari signalling field (SIG), nilai estimasi kanal didapatkan dari Long Training Field (LTF). Langkah awal dalam metode ini adalah melakukan dekomposisi QR pada matriks estimasi kanal lalu  $Q^H$  digunakan sebagai pengali  $y$ . Langkah berikutnya adalah menghitung bobot awal dari tahap pertama. Bobot awal akan disimpan untuk update bobot. Penghitungan bobot terus diulangi sampai tahap terakhir dan update bobot dilakukan pada setiap tahap. Pemilihan jalur trellis dilakukan pada tahap akhir dengan memilih jalur dengan bobot minimum.

### 4. Hasil dan Analisis

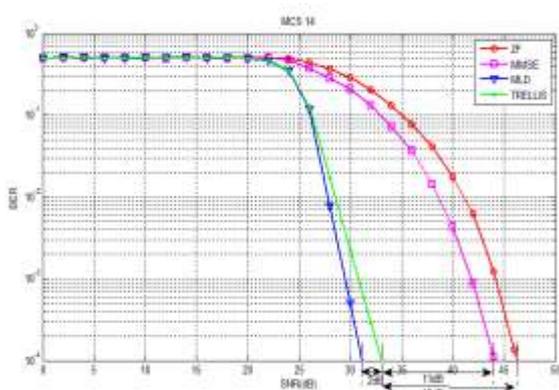
Pada bab ini akan dianalisis perbandingan kinerja dekoder Trellis dengan metode yang telah ada (ZF, MMSE). Metode MLD ditambahkan sebagai metode pembanding dengan kinerja yang optimal. Analisis dilakukan pada nilai BER  $10^{-4}$ . Simulasi dilakukan pada model kanal B dengan iterasi sebanyak 100 kali.

Tabel 2 Perbandingan kompleksitas MIMO decoder pada orde modulasi 64QAM

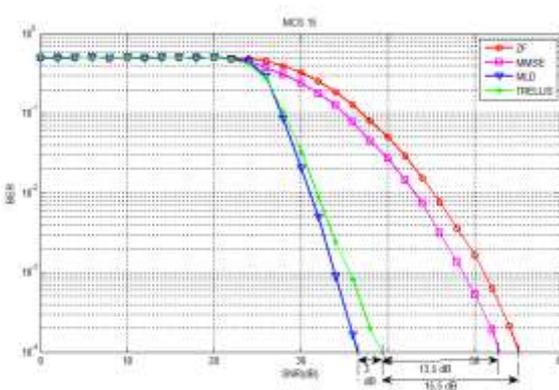
NT	Kompleksitas			Rasio Kompleksitas Trellis:MLD (%)
	linear receiver	MLD	Trellis	
1	2	$2^6$	$2^6$	100%
2	6	$2^{12}$	$2 \times 2^{12}$	200%
3	12	$2^{18}$	$3 \times 2^{12}$	4,69%
4	20	$2^{24}$	$4 \times 2^{12}$	0,10%



Gambar 7 Hasil uji detector Trellis pada MCS 13



Gambar 8 Hasil uji detector Trellis pada MCS 14



Gambar 9 Hasil uji detector Trellis pada MCS 15

#### 4.1 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada MCS 13 ditunjukkan pada gambar 7. Dengan nilai laju pengkodean 2/3, dapat dilihat bahwa kinerja dekoder Trellis lebih baik 12 dB dari ZF, dan 10,5 dB dari MMSE. Selisih kinerja metode Trellis terhadap MLD adalah 1 dB.

Hasil pengujian pada MCS 14 dapat dilihat pada gambar 8. Dengan nilai laju pengkodean 3/4, dapat dilihat bahwa kinerja dekoder Trellis lebih baik 13 dB dari ZF, dan 11

dB dari MMSE. Selisih kinerja metode Trellis terhadap MLD adalah 2 dB.

Hasil pengujian pada MCS 15 dapat dilihat pada gambar 9. Dengan nilai laju pengkodean 5/6, dapat dilihat bahwa kinerja dekoder Trellis lebih baik 15,5 dB dari ZF, dan 13,5 dB dari MMSE. Selisih kinerja metode Trellis terhadap MLD adalah 3dB.

Dari ketiga hasil di atas dapat disimpulkan bahwa kinerja detektor Trellis lebih baik dibanding ZF dan MMSE. Detektor Trellis memiliki kinerja yang sedikit menurun dibandingkan MLD.

#### 4.2 Analisis Kompleksitas

Pada metode linear receiver(ZF, MMSE), sinyal yang diterima akan dikalikan dengan invers matriks kanal, maka kompleksitasnya adalah  $K=N_{Tx}^2+N_{Tx}$ [10].

Ditinjau dari jumlah banyaknya jumlah Euclidean Distance, jumlah perhitungan *Euclidean Distance* pada MLD adalah  $K = M^{N_t}$ . Sedangkan jumlah perhitungan *Partial Euclidean Distance*(PED) pada Trellis adalah  $M^2P$  pada setiap tahapan antenna sehingga  $K=N_tM^2P$ , dengan P adalah jumlah jalur dengan nilai minimum yang dipilih pada suatu simpul [11]. Maka kompleksitas pada MCS 13,14 dan15 adalah: MLD,  $K= 64^2$ , dan Trellis(PED)  $K=2*64^2$ . Kasus khusus pada konfigurasi antenna 2 x 2, metode Trellis memiliki kombinasi yang lebih banyak daripada MLD, maka unjuk kerjanya dapat menyamai MLD (optimal). Perbandingan kompleksitas setiap MIMO decoder dapat dilihat pada tabel 2. Dari tabel tersebut terlihat bahwa rasio kompleksitas Trellis terhadap MLD semakin kecil seiring dengan bertambahnya jumlah antenna pemancar.

#### V. Penutup

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :Pada MCS 13, didapatkan kinerja detektor Trellis lebih baik terhadap ZF 12 dB dan MMSE sebesar 10,5 dB. Pada MCS 14, didapatkan kinerja detektor Trellis lebih baik terhadap ZF 13 dB dan MMSE sebesar 11 dB. Pada MCS 15, didapatkan kinerja detektor Trellis lebih baik terhadap ZF 15,5 dB dan MMSE sebesar 13,5 dB. Kompleksitas pada MCS 13, 14 dan 15 adalah: ZF dan MMSE,  $K= 2$ , MLD,  $K= 64^2$ , dan Trellis(PED)  $K=2*64^2$ . Selisih kompleksitas antara detektor Trellis dan MLD akan bertambah sesuai penambahan jumlah antenna pengirim dan orde modulasi.

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka dapat digunakan metode deteksi trellis dengan jumlah jalur lebih dari satu jalur minimum dimana akan dipilih pada suatu simpul. Saran yang lain adalah menerapkan metode deteksi trellis pada standar WLAN yang lain, misalnya WLAN 802.11ac.

## Daftar Pustaka

- [1]. "Supplement to IEEE STANDARD for information Technology – Telecommunication and information exchange between systems – Local and Metropolitan area Networks – Specific Requirements", IEEE Std 802.11a – 1999(R2003), Juni 2003
- [2]. "Draft STANDARD for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements", IEEE P802.11n./D9.0, March 2009.
- [3]. Eldad. PERAHIA and Robert STACEY, "Next Generation Wireless LANs- Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n".Cambridge University Press, 2008.
- [4]. Wahyul Amien SYAFEI, Ryuichi YOHEANA, Hiroyuki SHIMAJIRI, Takeo YOSHIDA, Masayuki KUROSAKI, and Hiroshi OCHI, "Performance Evaluation of Low Density Parity Check CODEC for IEEE 802.11n and Its RTL Design", Internasional Workshop on Smart Info-Media System in Bangkok (SISB 2008), Bangkok, Thailand, December 8,2008.
- [5]. Wahyul Amien SYAFEI, Ryuichi YOHEANA, Hiroyuki SHIMAJIRI, Takeo YOSHIDA, Masayuki KUROSAKI, and Hiroshi OCHI. "Performance Evaluation of Low Density Parity Check Codes for IEEE 802.11n and Its ASIC Design" International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2008), No. D3-AM, Don Chan Palace, Vientiane, Lao PDR, October 21-23, 2008.
- [6]. Wahyul Amien SYAFEI, Ryuichi YOHEANA, Hiroyuki SHIMAJIRI, Takeo YOSHIDA, Masayuki KUROSAKI, and Hiroshi OCHI, "Performance Evaluation and ASIC Design of LDPC Decoder for IEEE802.11n," 6th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (IEEE CCNC 2009), No. 1569141488, Las Vegas, Nevada, USA, January 10-13, 2009.
- [7]. Wahyul Amien SYAFEI and Hayu PRATISTA, "Performance Evaluation of Wireless LAN IEEE802.11n by Antenna Spacing." International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) 2011, Jogjakarta, Indonesia, July 28, 2011.
- [8]. Allert. van ZELST. "Space Division Multiplexing Algorithms".Paper for IEEE, Eindhoven University of Technologies, Eindhoven. 2000.
- [9]. Michael WU, Siddarth GUPTA, Yang SUN, Joseph R. CAVALLARO,"A GPU Implementation of a Real-Time MIMO Detector", Electrical and Computer Engineering,Rice University, 2009.
- [10]. Ernesto. ZIMMERMAN, Wolfgang. RAVE, Gerhard FETWEISS. "On the complexity of Spere Decoding" Dresden University of Technology, Vodafone Chair Mobile Coomunication Systems, D-01062 Dresden, Germany.2003.
- [11]. Yang SUN, Joseph R. CAVALLARO, "High troughput Soft-Output MIMO Detector Based on Path-Preserving Trellis- Search Algorithm", IEEE Trans. On VLSI System. Electrical and Computer Engineering,Rice University, 2011.