

# Deteksi Automatis Skema Modulasi Sinyal OFDM menggunakan Ciri Statistik dan Klasifikasi PSO

AFIEF DIAS PAMBUDI <sup>1</sup>, SUHARTONO TJONDRONEGORO <sup>2</sup>, HEROE WIJANTO<sup>1</sup>

1. Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom
2. Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung

Email: afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id

## ABSTRAK

*Pengenalan format modulasi dari sinyal yang dideteksi merupakan salah satu bahasan penting pada sistem intelligent receiver yang digunakan untuk aplikasi di bidang militer maupun komersial. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan klasifikasi skema modulasi pada sinyal OFDM yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Sinyal OFDM tersebut disimulasikan melewati kanal frequency selective fading dan additive white gaussian noise. Sistem klasifikasi yang dibuat menggunakan ekstraksi ciri statistik dan pengklasifikasi berupa diagram keputusan dengan threshold yang dioptimasi menggunakan algoritma particle swarm optimization (PSO). Pada proses klasifikasi ditambahkan sistem voting dengan skenario penggunaan jumlah simbol OFDM sebanyak 1, 5, 10, 15 dan 20. Hasil akurasi klasifikasi yang optimum didapatkan pada penggunaan lima simbol OFDM yaitu 100 %, 99 %, 96 % untuk klasifikasi QPSK, 16-QAM, 64-QAM pada minimum SNR receiver standar WiMAX IEEE 802.16e.*

**Kata kunci:** klasifikasi skema modulasi OFDM, ciri statistik, PSO.

## ABSTRACT

*Modulation recognition of the detected signal is one of important topics on intelligent receiver system used for military and commercial applications. (Therefore) This research explored the classifications of the OFDM signal modulation scheme namely QPSK, 16-QAM and 64-QAM. The OFDM signal was simulated to pass through frequency selective fading channel and additive white gaussian noise. The classification system was developed using statistical feature extraction with a decision diagrams (tree diagram) as a classifier optimized by PSO algorithm. The increasing number of OFDM symbols in the classification process that applied a voting system improved the accuracy of the classification of each modulation scheme. The optimum accuracy of the classification had been obtained when five OFDM symbols were applied in the classification scenario. The accuracy was 100% for QPSK classification, 99 % for 16-QAM classification and 96 % for 64-QAM classification on the minimum SNR accepted by the receiver of a system that applied a standard WiMax IEEE 802.16e.*

**Keywords:** classification modulation schemes OFDM, statistical characteristics, PSO.

## 1. PENDAHULUAN

*Automatic Modulation Classification* (AMC) adalah tahapan antara proses deteksi sinyal dan demodulasi, merupakan salah satu bahasan penting pada sistem komunikasi yang digunakan di bidang militer maupun komersial. Implementasi layanan dan sistem informasi yang handal untuk aplikasi bidang militer pada spektrum frekuensi yang sangat padat, merupakan salah satu tantangan tersendiri. Sinyal yang dikirimkan dan diterima harus dijamin keamanannya, sebaliknya sinyal yang dimiliki musuh diharapkan harus mampu dideteksi, diidentifikasi, dan diganggu. Spektrum dari sinyal tersebut bisa dari frekuensi tinggi sampai dengan rendah dan format modulasinya bisa bervariasi dari skema *simple narrowband* sampai dengan *wideband*. Selain itu, deteksi format modulasi juga merupakan topik yang sangat penting di bidang komersial khususnya pada *software defined radio* (SDR) yang mampu mencakup berbagai jenis sistem komunikasi. Biasanya informasi pendukung dikirimkan untuk digunakan pada proses rekonfigurasi dari sistem SDR. Sedangkan, teknik deteksi dimana *transmitter* tidak memberikan informasi pendukung berkaitan dengan parameter sinyal yang dikirimkan, dapat dilakukan dengan *intelligent receiver* sehingga mampu meningkatkan efisiensi transmisi dengan mengurangi *overhead*. Desain sistem klasifikasi modulasi secara efektif terdiri dari dua tahapan yaitu *preprocessing* dan pemilihan algoritma klasifikasi yang tepat. *Preprocessing* biasanya meliputi reduksi *noise*, estimasi frekuensi *carrier*, periode simbol, daya sinyal, equalisasi, dll. Perbedaan akurasi dari sistem *preprocessing* menentukan pemilihan algoritma dari sistem klasifikasi yang akan digunakan. Ada metode klasifikasi yang memerlukan estimasi *preprocessing* dengan akurasi tinggi, sebaliknya ada beberapa metode yang tidak sensitif terhadap parameter-parameter yang tidak diketahui (**Dobre, 2012**).

Secara umum terdapat dua algoritma yang dapat digunakan dalam AMC yaitu metode *likelihood-based* (LB) dan *feature-based* (FB) (**Dobre, 2012**). Algoritma LB didasarkan pada fungsi *likelihood* dari sinyal yang dideteksi dan proses keputusan dilakukan dengan melakukan perbandingan terhadap nilai rasio *likelihood* dan *threshold*. Solusi yang ditawarkan dari algoritma LB adalah optimal pada pendekatan bayesian artinya mampu meminimalisasi kemungkinan terjadinya salah dalam pengklasifikasian. Solusi yang optimal itu didapatkan dengan proses komputasi yang kompleks. Pada pendekatan FB, proses klasifikasi dilakukan dengan mengambil beberapa ciri dari sinyal yang dideteksi kemudian proses keputusannya didasarkan pada nilai dari ciri-ciri tersebut. Pendekatan FB ini lebih sederhana untuk diimplementasikan dan apabila metode ini dapat didesain dengan baik maka akan mampu dicapai performansi yang optimal. Jika skema modulasi dapat diidentifikasi secara tepat, maka proses lainnya seperti demodulasi sinyal dan ekstraksi informasi dapat berjalan dengan baik. Secara umum, AMC merupakan bahasan yang sangat menantang khususnya pada kondisi lingkungan transmisi yang tidak mendukung yaitu pada propagasi *multipath*, kanal yang *frequency selective* dan *time varying* dengan tidak tersedianya informasi tambahan terhadap sinyal yang akan dideteksi.

Pada beberapa tahun terakhir, bermunculan teknologi baru dalam bidang komunikasi *wireless*. Industri *wireless* menunjukkan perhatian yang penting terhadap teknologi sistem *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) karena efisiensi dari skema OFDM yang mampu mentransmisikan informasi pada kanal *frequency selective fading* tanpa memerlukan *equalizer* yang kompleks (**Andrea, 2005**). Pentransmisi informasi dengan skema OFDM juga lebih hemat *bandwidth* karena penggunaan *multi-carrier* yang saling *orthogonal*. Penemuan teknologi OFDM tersebut memberikan tantangan tersendiri terhadap perkembangan sinyal *intelligence* dan sistem SDR seperti bagaimana membedakan antara sinyal OFDM dan modulasi yang *single carrier*, identifikasi dari sinyal *multi-carrier* yang

ditransmisikan menggunakan skema modulasi dan parameter yang berbeda-beda, dan lain-lain.

Klasifikasi skema modulasi sudah banyak dilakukan dengan berbagai algoritma yang berbeda-beda. Pada **(Grimaldi, 2002)** dengan metode *amplitude normalization* mampu membedakan sinyal dengan modulasi QPSK dan 16 QAM pada kanal AWGN. Pada **(Heroe, 2011)** dilakukan klasifikasi terhadap skema modulasi QPSK, 16-QAM, 64-QAM dengan menggunakan ciri statistik orde tinggi dan *tree diagram* sebagai pengklasifikasinya pada kanal AWGN. Pada **(Desti, 2012)** dilakukan identifikasi QPSK, 16-QAM, 64-QAM pada kanal AWGN menggunakan ciri statistik orde satu sampai empat pada kanal AWGN. Pada **(Daisuke, 2010)** dilakukan klasifikasi modulasi 16-QAM dan 64-QAM dari sinyal OFDM 4096 *sub-carrier* dengan kanal AWGN menggunakan ciri statistik *amplitude moment*. Pada **(Reddy, 2003)** dilakukan klasifikasi BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM dari sinyal OFDM 64 *sub-carrier* pada kanal *multipath* tetapi dengan asumsi *receiver* memiliki pengetahuan yang tepat terhadap respon kanal dan didapatkan akurasi klasifikasi yang tinggi pada SNR lebih dari 18 dB.

Pada penelitian ini, dilakukan klasifikasi skema modulasi QPSK, 16-QAM, 64-QAM dari sinyal OFDM 2048 *subcarrier* pada kanal *multipath (frequency selective fading)*. Metode yang digunakan adalah *feature-based* dan klasifikasi *tree diagram* dengan garis batas (*threshold*) yang dioptimasi menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO). Ciri yang digunakan untuk klasifikasi akan dipilih dari beberapa ciri statistik yaitu *mean, skewness, kurtosis, orde moment* yang memiliki nilai *eucliden distance* besar dan *mean square error* terkecil pada tahap pelatihan. Metode PSO dipilih karena memiliki performansi yang bagus pada bidang optimasi **(Misbahuddin, 2011) (Budi, 2012) (Mahapatra, 2011)**, sehingga diharapkan mampu memberikan kontribusi akurasi klasifikasi yang tinggi pada penelitian ini.

## 2. MODEL SISTEM

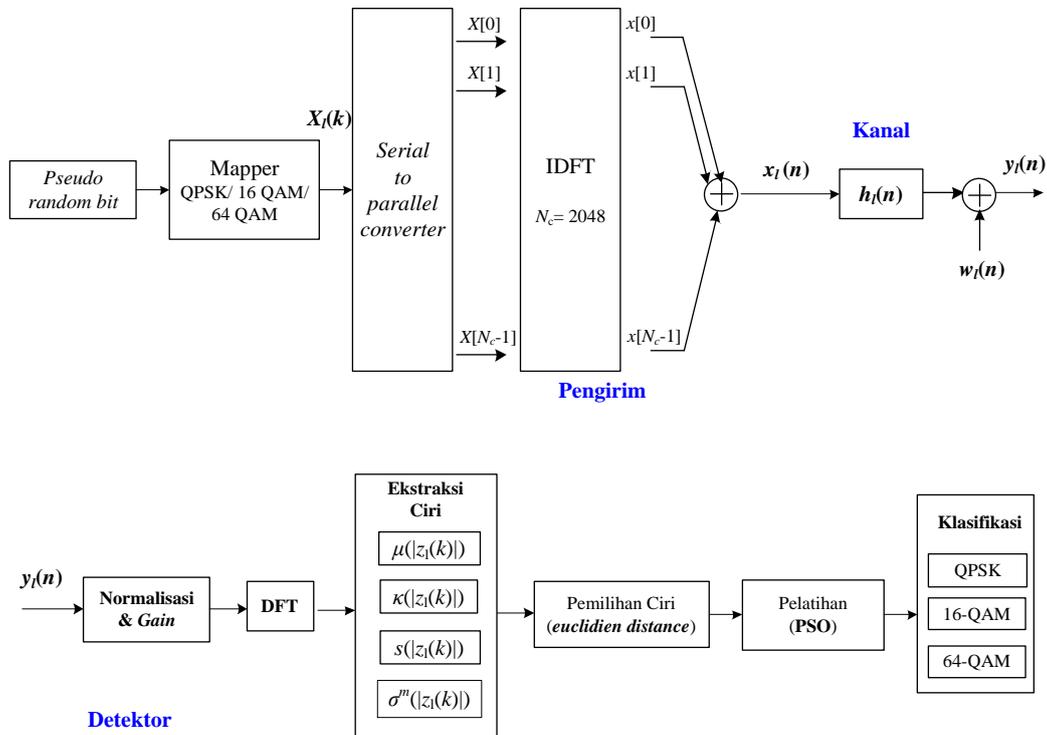
Pemodelan dan simulasi sistem klasifikasi modulasi sinyal OFDM pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram blok sistem Gambar 1. Sistem terdiri dari tiga bagian utama yaitu pengirim, kanal, dan detektor. Implementasi sistem OFDM dalam waktu diskrit diilustrasikan pada blok pengirim Gambar 1. Pada blok pengirim, simbol-simbol keluaran dari *mapper* ( $X_l[k]$ ) dikelompokkan kedalam blok-blok yang berukuran sebanyak  $N_c$  simbol. Kelompok-kelompok tersebut disebut sebagai simbol OFDM yang dapat direpresentasikan sebagai berikut  $X_l[k]$  ( $0 \leq k \leq N_c-1$ ) atau  $X_l = X_l[0], X_l[1], \dots, X_l[N_c-1]$ , yang menyatakan deretan simbol kompleks (keluaran *mapper*) dari *subcarrier* ke- $k$  pada simbol OFDM ke- $l$  dan menunjukkan jumlah *subcarrier* pada simbol OFDM yaitu sebanyak  $N_c$ . Kemudian dilakukan proses *inverse discrete fourier transform* (IDFT) sehingga dihasilkan sinyal kompleks *baseband* yang dapat dinyatakan sebagai berikut **(Andrea, 2005)**:

$$x_l(n) = \frac{1}{\sqrt{N_c}} \sum_{k=0}^{N_c-1} X_l[k] e^{-j \frac{2\pi k n}{N_c}} \quad (1)$$

Variabel  $x_l(n)$  adalah sampel ke- $n$  dari simbol OFDM ke- $l$ , untuk  $0 \leq n \leq N_c-1$  pada satu periode simbol OFDM. Pada penelitian ini menggunakan 2048 *subcarrier* ( $N_c = 2048$ ). Sinyal OFDM *baseband* waktu diskrit ( $x_l(n)$ ) yang dibangkitkan oleh blok pengirim kemudian terganggu oleh kanal *mutipath* ( $h_l(n)$ ) dan *noise* AWGN ( $w_l(n)$ ), sehingga sinyal OFDM waktu diskrit yang diterima oleh detektor dapat dinyatakan sebagai berikut **(Andrea, 2005)**:

$$y_l(n) = x_l(n) \otimes h_l(n) + w_l(n) \quad (2)$$

Dimana simbol  $\otimes$  menunjukkan *circular convolution* antarasinyal OFDM ( $x_l(n)$ ) dengan respon impuls kanal ( $h_l(n)$ ). Penggunaan *circular convolution* memiliki arti bahwa sinyal yang diterima oleh detektor ( $y_l(n)$ ) sudah tidak mengandung *cyclic prefix* yang memiliki panjang lebih besar dari maksimum *excess delay* kanal. Pada penelitian ini menggunakan model kanal ITU *large delay* (**Forum Wimax, 2008**) dan periode sampel yang digunakan sebesar 100 ns. Model kanal tersebut memiliki maksimum *excess*



**Gambar 1 Diagram Blok Sistem Penelitian: Klasifikasi Modulasi Sinyal OFDM**

*delay* sebesar 10.000 ns, sehingga respon impuls kanal-nya memiliki panjang sebesar 100 sampel.

Proses selanjutnya adalah klasifikasi modulasi sinyal OFDM yang dilakukan pada blok detektor. Pada blok detektor terdapat enam tahap utama yaitu normalisasi, *discrete fourier transform* (DFT), ekstraksi ciri statistik, pemilihan ciri berdasarkan nilai *eucliden distance*, pelatihan PSO untuk menentukan garis batas (*threshold*) yang optimum, dan klasifikasi. Keluaran dari tahap normalisasi adalah sinyal terima OFDM ternormalisasi yang bertujuan untuk memastikan bahwa setiap sinyal OFDM yang berbeda modulasi/ *mapper* disimulasikan dengan daya/ energi rata-rata yang sama. Pada sinyal terima OFDM ternormalisasi tersebut kemudian dilakukan proses DFT sehingga menghasilkan sebanyak *k-subcarrier* dari simbol OFDM ke-*l*/yang bisa dituliskan sebagai berikut (**Andrea, 2005**):

$$z_l(k) = \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} y_l(n) \cdot e^{j \frac{2\pi n k}{N_c}} \quad (3)$$

Ciri statistik yang digunakan adalah *mean*, *skewness*, *kurtosis*, orde *moment* yang diestimasi dari magnitudo keluaran proses DFT,  $|z(k)|$ . Pada penelitian ini, digunakan satu simbol OFDM sampai dengan tahap pelatihan PSO, sedangkan pada tahap klasifikasi

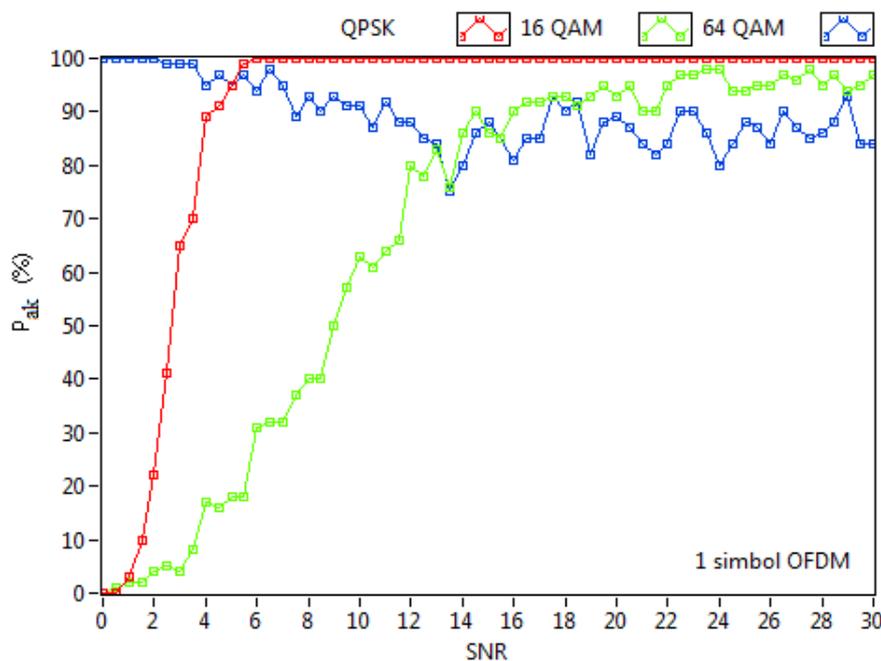
digunakan variasi jumlah simbol OFDM lebih dari satu untuk mendapatkan akurasi klasifikasi yang tinggi.

### 3. HASIL DAN ANALISIS

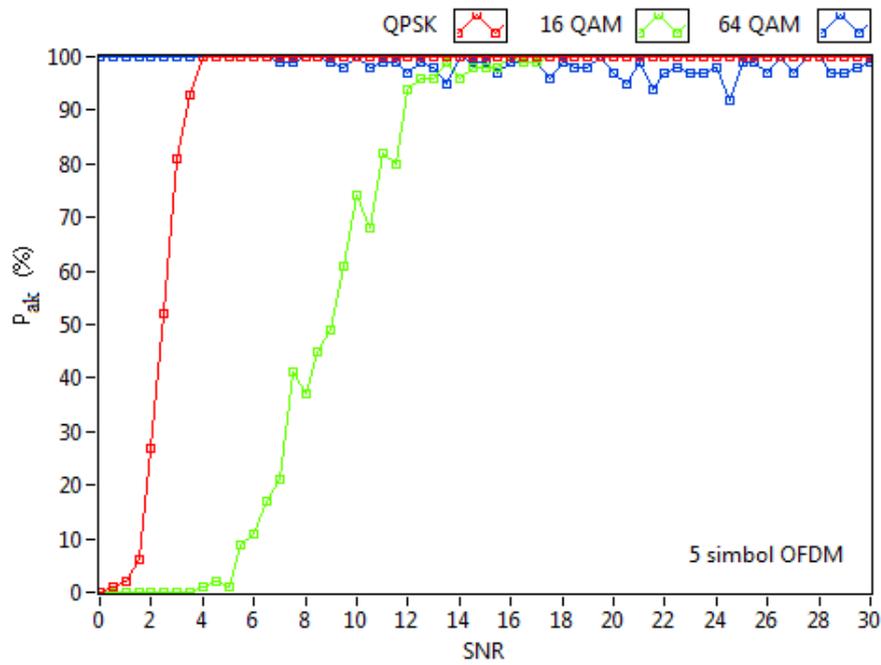
Keberhasilan dari sistem klasifikasi modulasi sinyal OFDM ini diukur dengan akurasi klasifikasi ( $P_{ak}$ ). Telah dilakukan pengujian klasifikasi terhadap jumlah simbol OFDM sebanyak 1, 5, 10, 15 dan 20 yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2 - Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan grafik hubungan antara SNR dengan akurasi klasifikasi ( $P_{ak}$ ). Pengujian dilakukan dari SNR 0-30 dB dengan selang antar SNR sebesar 0,5 dB, sehingga terdapat 61 titik. Setiap titik mewakili akurasi klasifikasi pada setiap SNR tiap skema modulasi dengan pengujian masing-masing sebanyak 100 kali, sehingga total ada  $61 \times 100 \times 3 = 18.300$  pengujian. Pada penelitian ini, hasil akurasi klasifikasi dilihat pada batas minimum SNR yang dapat diterima oleh *receiver* pada sistem yang menggunakan standar WiMax IEEE 802.16e, yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1 SNR minimum *receiver* WiMax 802.16e (Forum Wimax, 2008)**

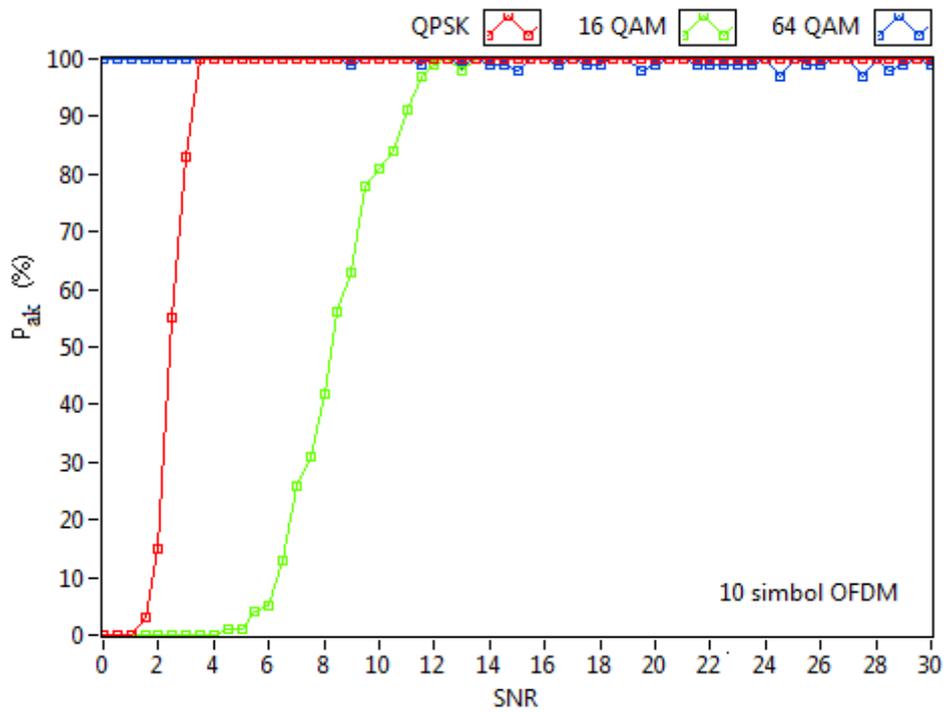
Skema Modulasi	Receiver SNR (dB)
QPSK	9,5
16-QAM	16,5
64-QAM	23



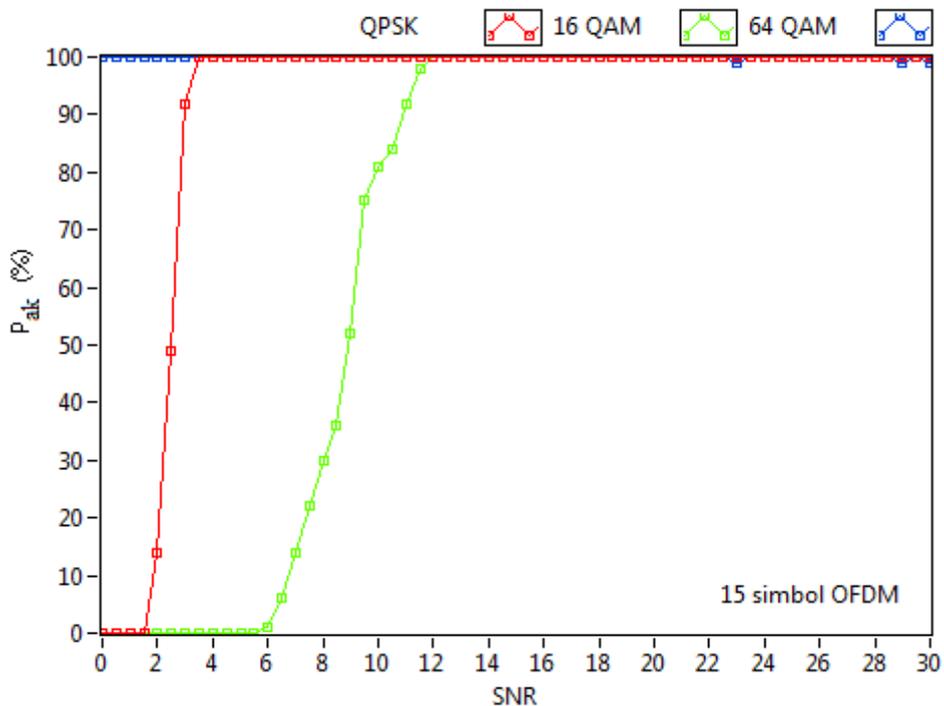
**Gambar 2. Perbandingan SNR terhadap Akurasi Klasifikasi Modulasi pada penggunaan 1 simbol OFDM**



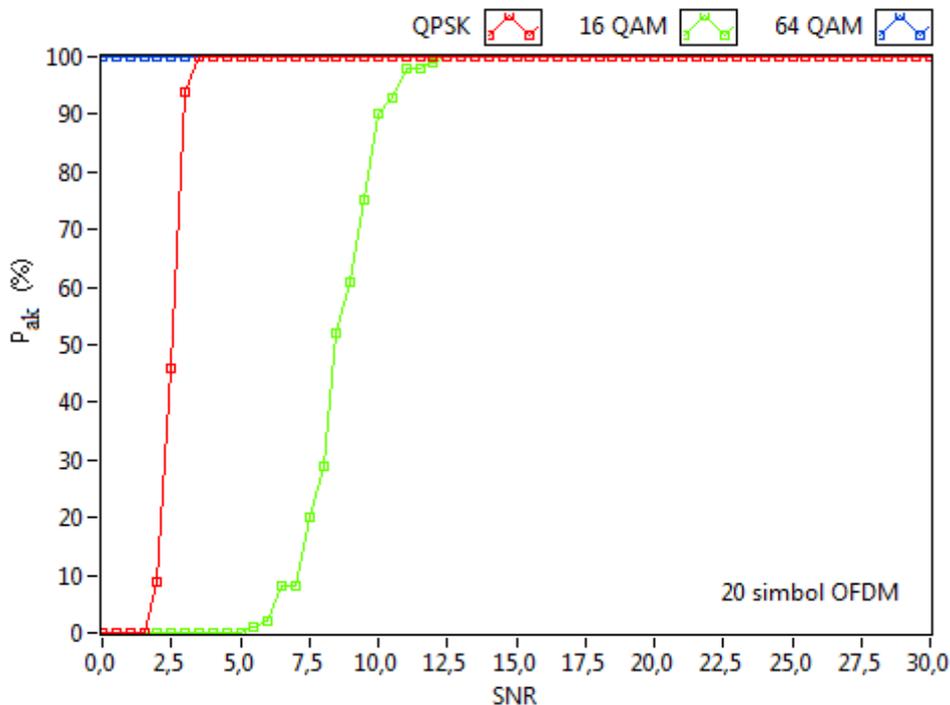
**Gambar 3. Perbandingan SNR terhadap Akurasi Klasifikasi Modulasi pada penggunaan 5 simbol OFDM**



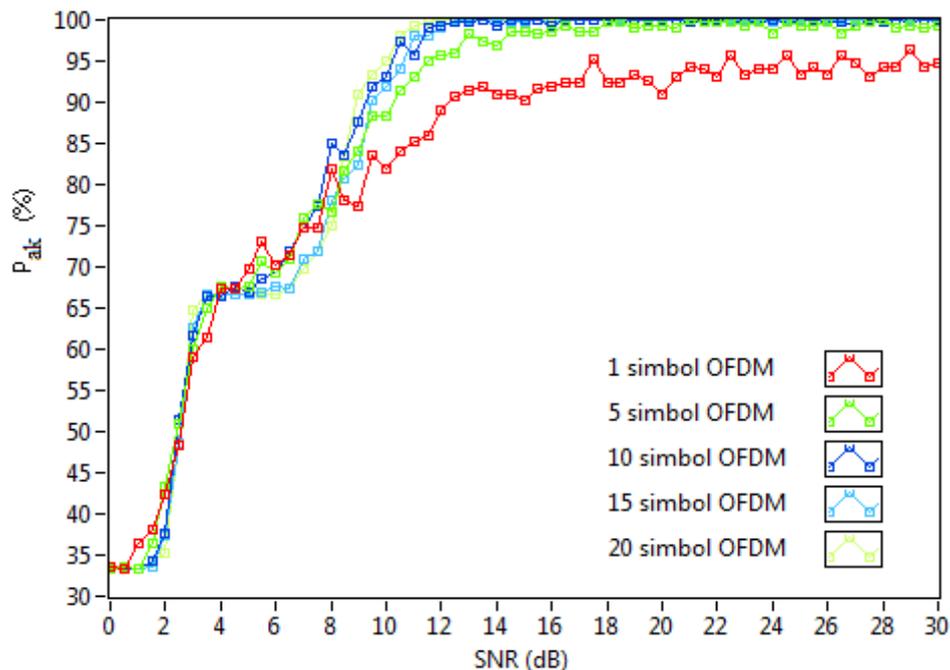
**Gambar 4. Perbandingan SNR terhadap Akurasi Klasifikasi Modulasi pada penggunaan 10 simbol OFDM**



Gambar 5. Perbandingan SNR terhadap Akurasi Klasifikasi Modulasi pada penggunaan 15 simbol OFDM



Gambar 6. Perbandingan SNR terhadap Akurasi Klasifikasi Modulasi pada penggunaan 20 simbol OFDM



**Gambar 7. Perbandingan SNR terhadap Akurasi Klasifikasi Rata-Rata Untuk Penggunaan Jumlah Simbol OFDM Berbeda**

Gambar 7 menunjukkan grafik hasil akurasi klasifikasi rata-rata dari semua skema modulasi dari SNR 0 – 30 dB. Dari grafik tersebut, hasil akurasi terendah didapatkan pada skenario penggunaan satu simbol OFDM. Hasil akurasi klasifikasi tinggi didapatkan pada skenario penggunaan 5, 10, 15 dan 20 simbol OFDM. Pada kondisi SNR mulai dari 12 dB, untuk skenario penggunaan 5, 10, 15 dan 20 simbol OFDM, didapatkan hasil akurasi berkisar antara 95-100%.

Penambahan penggunaan jumlah simbol OFDM dalam proses klasifikasi terbukti mampu meningkatkan hasil akurasi untuk semua skema modulasi hingga mencapai 100% pada kondisi minimum SNR *receiver* pada sistem yang menggunakan standar IEEE 802.16e. Namun, hasil akurasi ini memberikan beban yang cukup berat kepada detektor (*receiver*) yang harus menyediakan ukuran *buffer* yang besar untuk menampung sejumlah sinyal OFDM terima yang akan diklasifikasikan. Selain itu, juga memberikan waktu proses yang lebih lama untuk mendapatkan hasil klasifikasi karena sejumlah sinyal OFDM terima tersebut harus dilakukan proses klasifikasi satu per satu.

#### 4. KESIMPULAN

Ciri statistik yang dominan mampu membedakan skema modulasi QPSK dengan 16-QAM dan 64-QAM adalah ciri statistik *moment* orde 2 dan 10 dengan transformasi logaritmik. Ciri statistik yang dominan mampu membedakan skema modulasi 16-QAM dengan 64-QAM adalah ciri statistik *moment* orde 10 dan 20 dengan transformasi logaritmik. Algoritma PSO mampu melakukan optimasi dengan efektif terhadap garis batas (*threshold*) sehingga didapatkan hasil akurasi klasifikasi rata-rata 94% pada minimum SNR yang dapat diterima oleh *receiver* pada sistem yang menggunakan standar WiMAX IEEE 802.16e. Penambahan jumlah simbol OFDM pada proses klasifikasi yang menggunakan sistem *voting* terbukti mampu meningkatkan hasil akurasi klasifikasi hingga mencapai 100% untuk setiap skema modulasi. Namun, penambahan jumlah simbol OFDM tersebut memberikan beban yang cukup berat kepada detektor (*receiver*) yaitu penyediaan ukuran *buffer* yang besar dan

waktu proses klasifikasi yang lama. Hasil akurasi klasifikasi yang optimum didapatkan pada penggunaan lima (5) simbol OFDM yaitu 100% untuk klasifikasi QPSK, 99% untuk klasifikasi 16-QAM dan 96% untuk klasifikasi 64-QAM pada minimum SNR yang dapat diterima oleh *receiver* pada sistem yang menggunakan standar WiMAX IEEE 802.16e. Pada kondisi tersebut tidak memberikan beban yang berat kepada detektor (*receiver*) karena penyediaan ukuran *buffer* yang tidak cukup besar dan waktu proses klasifikasi lebih singkat dibandingkan skenario penggunaan jumlah simbol yang lebih besar (10, 15 dan 20).

#### DAFTAR RUJUKAN

- A Dobre, Octavia. (2012). *A Survey of Automatic Modulation Classification Techniques: Classical Approach and New Trends*. Kanada : Memorial University of Newfoundland.
- Goldsmith, Andrea. (2005). *Wireless Communication*. USA New York: Cambridge University Press.
- D. Grimaldi, S. Rapuano and G. Truglia. (2002). *An Automatic Digital Classifier for Measurements on Telecommunication Networks*. Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology, pp. 957-962.
- Wijanto, Heroe. (2011). *Transformasi Data dan Ekstraksi Ciri Statistik Orde Tinggi Untuk Rekognisi Modulasi Otomatik*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Madya Saputri, Desti. (2012). *Klasifikasi Tipe Modulasi Menggunakan Metoda Deteksi Selubung Kompleks Dan Parameter Statistik*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- Shimbo, Daisuke and Ikuo Oka. (2010). *A Modulation Classification Using Amplitude Moments in OFDM systems*. Proc IEEE ISITA 2010, Taichung, Taiwan, October 17-20, page 288-293.
- B Reddy Sharath. Tevfik Yücek and Hüeyin Arslan. (2003). *An Efficient Blind Modulation detection Algorithm for Adaptive OFDM Systems*. Proc. IEEE 0-7803-7954-3/03 page 1895-1899.
- Misbahuddin. (2011). *Artificial Neural Network Weights Optimization Based on Particle Swarm Optimization*. Indonesia : Dielektrika.
- Santosa Budi. (2012). *Tutorial Particel Swarm Optimization*. Surabaya : Teknik Industri ITS Sukolilo
- Sarita Mahapatra. (2011). *Performance Evaluation of PSO Based Classifier for Classification of Multi-dimensional Data with Variation of PSO Parameters in Knowledge Discovery Database* . International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 34, September
- Wimax Forum. (2008). *Mobile Release 1.0 Channel Model*. WiMax Forum Proprietary – Subject to Change Without Notice". Sumber: <http://www.wimaxforum.org>, diakses pada 18 Februari 2014.