

# PENDETEKSI TIPE MODULASI DIGITAL MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN PADA REKOGNISI MODULASI OTOMATIS

Aditya Dwi Pramono<sup>1)</sup>, Heroe Wijanto<sup>2)</sup>, Desti Madya Saputri<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Departemen Elektro dan Komunikasi – Universitas Telkom

Jalan Telekomunikasi No.1, Bandung 40257 Indonesia

[adit.dpramono@gmail.com](mailto:adit.dpramono@gmail.com)<sup>1)</sup>, [hwijanto@yahoo.co.id](mailto:hwijanto@yahoo.co.id)<sup>2)</sup>, [desti\\_ittelkom@yahoo.com](mailto:desti_ittelkom@yahoo.com)<sup>3)</sup>

---

## Abstrak

*Automatic Digital Recognition Modulation (ADRM) mulai berkembang untuk mendukung performansi teknologi termutakhir saat ini. Sub-bagian dari blok receiver ini mengambil peranan penting dalam segi optimasi dan fleksibilitas. Pendekatan hardware optimization dalam suatu perangkat, akan memerlukan biaya yang mahal dan implementasi yang sulit jika dilakukan modifikasi atau systemupgrade. Sehingga, solusi yang mungkin yaitu dengan melalui pendekatan software. Pendekatan inilah yang kemudian kita kenal sebagai Software Defined Radio (SDR).*

*Dalam penelitian ini, pendeteksi modulasi digital difokuskan pada QPSK, 16QAM, dan 64QAM yang termasuk modulasi yang digunakan dalam WiMAX. Sistem pendeteksian tipe modulasi digital pada penelitian ini yaitu menggunakan metoda spektral dan statistik pada bagian ekstraksi ciri (feature extraction), lalu dengan menambah blok bagian baru yaitu pemilihan ciri (feature selection) menggunakan Algoritma Genetika. Dan pada bagian keputusan (desicion part) menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan. Sedangkan kanal transmisi yang digunakan adalah kanal fading.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa reduksi ciri sebesar 50% s.d 75% berpengaruh pada peningkatan akurasi sistem. Pemilihan ciri yang optimum untuk mendeteksi benar  $\geq 90\%$  tipe modulasi yang digunakan, menunjukkan hasil yang sama pada tiga kecepatan kanal transmit. Pada kecepatan 3, 30 dan 120 Km/jam, pemilihan ciri yang optimum adalah dengan empat ciri: STD Frequency, Mean, Varians, PSD Max pada SNR minimum 0 dB.*

**Kata kunci:** *Automatic Digital Recognition Modulation, Software Defined Radio, Algoritma Genetika, Jaringan Syaraf Tiruan, Kanal fading*

## 1. PENDAHULUAN

AMR (Automatic Modulation Recognition) yang merupakan bagian dari *Software Defined Radio*, berawal dari kebutuhan aplikasi komunikasi intelijen militer seperti *channel jamming*, pengawasan spektrum (*spectrum surveillance*), identifikasi interferensi, dsb. Fokus pada pengembangannya masih merupakan modulasi analog. Seiring bergesernya teknologi ke arah digitalisasi, mulailah berkembang ADMR untuk mendukung aplikasi komunikasi digital seperti seluler, *wireless*, dll [9]. Sistem pendeteksi modulasi digital ini merupakan sub-blok pada *receiver* yang bertujuan untuk mengenali skema modulasi yang digunakan oleh *transmitter* sebelum masuk ke sub-blok demodulator.

Dalam AMR itu sendiri, secara umum terdapat blok ekstraksi ciri yang berfungsi untuk mendapatkan ciri atau karakteristik dari suatu tipe modulasi tertentu. Setelah mendapatkan ciri tersebut, kemudian masuk ke blok bagian keputusan yang berfungsi untuk menentukan modulasi apa yang digunakan. Pada penelitian ini, terdapat penambahan blok baru setelah ekstraksi ciri, yaitu blok pemilihan ciri (*feature selection*). Blok ini mengimplementasikan Algoritma Genetika untuk menyeleksi ciri-ciri mana saja yang optimal dalam membedakan modulasi yang satu dengan yang lainnya.

Sistem pendeteksi skema modulasi ini diharapkan dapat mengenali skema modulasi digital yang dipakai pada standard WiMAX 802.16e yaitu QPSK, 16QAM, dan 64QAM.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Automatic Modulation Recognition (AMR)

Design SDR mulai dikembangkan pada tahun 1987 ketika *Air Force Rome Labs* (AFRL) membiayai pengembangan modem yang dapat diprogram sebagai langkah evolusi dari arsitektur komunikasi terintegrasi, navigasi dan identifikasi arsitektur atau ICNIA. Karena kemudahan dan *cost-efficient* serta fleksibilitas dari SDR dalam *upgrade* sistem, tahun 1996 forum SDR mulai terbentuk oleh Wayne Bonser dari AFRL untuk

standard industri *hardware* dan *software* SDR. Selain itu, forum tersebut juga membuat standard untuk *interface* agar *software* tersebut kompatibel pada berbagai vendor *hardware* yang ada.[2]

Sistem AMR yang merupakan bagian dari SDR ini, dapat kita bagi ke dalam dua blok atau sesi yang berbeda, yaitu blok atau sesi sinyal prosesing, dan blok sesi klasifikasi algoritma. Blok sinyal prosesing ini mencakup tentang estimasi *power* sinyal, SNR, waktu kedatangan (*time arrival*), frekuensi *carrier*, dsb. Kemudian pada blok klasifikasi algoritma, blok ini menyesuaikan dengan akurasi dari sinyal prosesing sebelumnya. Tergantung juga pada kompleksitas dari suatu sistem AMR, yaitu *real-time* atau *off-line*[10].

Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk proses *feature extraction* dan *desicion part*. Beberapa contoh metode tersebut adalah metode statistik, Transformasi *Wavelet*, *Maximum Likelihood* (ML), *Pattern Recognition*, Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Algoritma Genetika (AG), Algoritma Klustering K-Means, dll.[5]

## 2.2 Ekstraksi Ciri

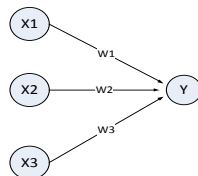
Ekstraksi ciri merupakan suatu proses mendapatkan karakteristik/ciri dari sinyal. Sinyal yang akan diproses untuk mendapatkan cirinya ini, merupakan sinyal termodulasi digital yang telah diperoleh selubung kompleksnya. Ekstraksi ciri yang digunakan dalam penelitian ini adalah *spectral feature set* dan *statistical feature set*. [6][9]

## 2.3 Algoritma Genetika[3]

Algoritma Genetika (AG) adalah teknik pencarian dan optimasi berdasarkan pada prinsip-prinsip genetika dan seleksi alam. Algoritma Genetika memungkinkan suatu populasi yang terdiri dari banyak individu untuk berevolusi dibawah aturan seleksi yang spesifik agar terjadi suatu kondisi yang memaksimalkan nilai *fitness*.

## 2.4 Jaringan Syaraf Tiruan[7]

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) adalah sistem pemrosesan sinyal informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan syaraf biologi. Jaringan syaraf tiruan sederhana pertama kali diperkenalkan oleh McCulloch dan Pitts tahun 1943.



Gambar 2.1 Arsitektur sederhana Jaringan Syaraf Tiruan[1]

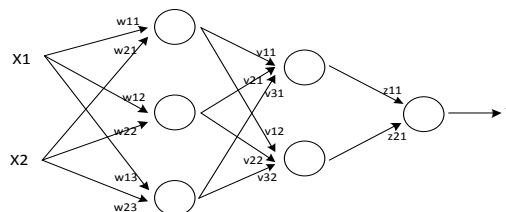
Pada contoh arsitektur jaringan gambar 2.2, Y menerima input dari neuron x1, x2 dan x3 dengan bobot masing-masing neuron adalah w1, w2, dan w3 kemudian ketiga impuls tersebut dijumlahkan

$$Net = x1.w1 + x2.w2 + x3.w3 \quad (2.10)$$

Impuls yang diterima oleh Y mengikuti fungsi aktivasi Y,  $Y=f(net)$ . Apabila impuls yang diterima oleh Y cukup kuat maka impuls tersebut akan diteruskan. Nilai fungsi aktivasi juga dapat dipakai sebagai dasar perubahan bobot.

Backpropagation merupakan salah satu model JST yang dalam pelatihan jaringannya membutuhkan *supervisor* atau pasangan data masukan-target. Backpropagation termasuk dalam arsitektur JST jaringan berlapis jamak (*multi-layer*).

Contoh arsitektur JST-BP dengan 2 masukan, 2 *hidden layer* dengan jumlah neuron masing-masing layer [3 2] dan 1 keluaran dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh arsitektur JST-BP

## 3. PEMODELAN SISTEM

Secara umum, sistem pendeteksi modulasi digital terbagi menjadi tiga blok besar: blok pengirim (*transmitter*), blok kanal transmisi, dan blok penerima (*receiver*) dimana didalamnya terdapat sub-blok sistem pendeteksi modulasi digital.

### 3.1 Blok Pengirim (Transmitter)

#### 3.1.1 Sinyal Informasi

Data digital (sinyal informasi) pada simulasi ini menggunakan sumber data NRZ (*Non Return to Zero*) unipolar dengan amplitudo 1 Volt untuk bit ‘1’ dan 0 Volt untuk bit ‘0’.

#### 3.1.2 Modulator (QPSK, 16QAM, 64QAM)

Modulator yang digunakan adalah QPSK, 16QAM dan 64QAM sesuai dengan standard modulator yang dipakai WiMAX 802.16e.

### 3.2 Blok Kanal Transmisi

Sinyal hasil keluaran *transmitter* berupa sinyal termulasi kemudian akan masuk ke kanal transmisi[3]. Sinyal tersebut, akan mengalami respon kanal dan *noise* sistem penerima. Parameter model kanal yang digunakan di lingkungan *vehicular A*, dimana mayoritas *user* yang berkomunikasi adalah *mobile* dengan *medium speed*[4].

### 3.2 Blok Penerima (Receiver)

#### 3.3.1 Selubung Kompleks

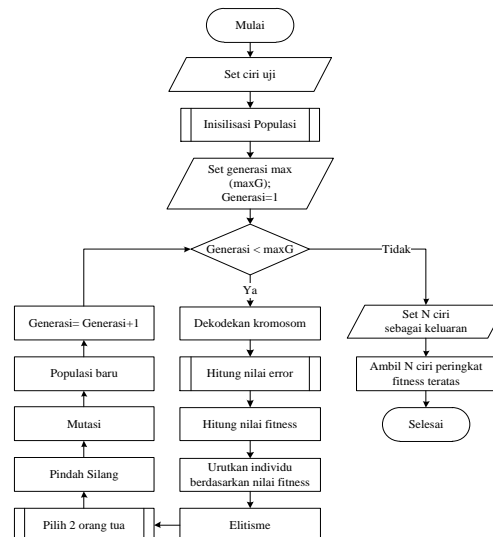
Selubung kompleks digunakan untuk mendapatkan selubung sinyal terima. Dalam prosesnya, sinyal terima tersebut akan digeser fasanya sebesar  $90^\circ$  (*Hibert Transform*) kemudian hasilnya berupa komponen *inphase* dan *quadrature*. Dari komponen-komponen tersebut, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai amplitudo sesaat, fasa sesaat dan frekuensi sesaatnya.

#### 3.3.2 Ciri Spektral dan Ciri Statistik

Setelah mendapatkan nilai amplitudo, fasa dan frekuensi dari komponen *inphase* dan komponen *quadrature*, kemudian nilai tersebut masuk ke proses ekstraksi ciri untuk mendapatkan karakteristik atau cirinya. Ciri statistik ini berjumlah empat ciri yang terdiri dari *mean*, *varians*, *skewness*, dan *kurtosis*. Ciri spektral ini berjumlah lima ciri yang terdiri dari  $\gamma_{max}$ ,  $\sigma_{aa}$ ,  $\sigma_{af}$ ,  $\sigma_{ap}$ , dan  $\sigma_{dp}$ .

#### 3.3.3 Pemilihan Ciri

Dalam pemilihan ciri, sembilan ciri ini akan dipilih dengan Algoritma Genetika untuk mendapatkan nilai fitness dari masing-masing ciri. Diagram alir proses pemilihan ciri dengan Algoritma Genetika dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram alir pemilihan ciri

Dalam proses inisialisasi populasi, sistem membangkitkan secara *random* satu set populasi yang terdiri dari 2 buah individu. Masing-masing individu ini memiliki 2 kromosom dengan panjang kromosom 13 dan metoda *binary encoding* sebagai representasi gen dalam kromosom tersebut. Sehingga dalam satu individu terdapat 2 kromosom atau 26 gen.

Setelah inisialisasi populasi terbentuk, kemudian masing-masing individu dicari nilai *fenotipenya*, yaitu nilai hasil *decoding* dari kromosom. Sehingga didapat dua nilai *fenotype* dari satu individu dengan persamaan *decoding*[8]:

$$X = g_1 \times 2^{-1} + g_2 \times 2^{-2} + \dots + g_M \times 2^{-M} \quad (3.1)$$

Kromosom ini merepresentasikan nilai pembatas untuk mengetahui ciri tersebut merupakan ciri yang optimal atau tidak dalam membedakan modulasi. Dimana tiap kromosom akan diterjemahkan menjadi range nilai [0,1]. Nilai ini digunakan untuk mendapatkan nilai  $Y$ . Nilai  $Y$  merupakan pembatasan nilai agar dapat membagi nilai ciri menjadi tiga bagian dalam membedakan tipe modulasi, yaitu batas  $Y_1$  [0,0.8] dan  $Y_2$  [0,0.2].

Setelah didapatkan nilai pembagi  $Y_1$  dan  $Y_2$  dari satu individu (satu solusi), maka individu tersebut akan dievaluasi menggunakan persamaan delta, yaitu selisih antara nilai-nilai pembagi dengan nilai ciri yang didapatkan dari proses ekstraksi ciri.

Nilai selisih yang didapatkan dari masing-masing nilai *fenotype* ( $Y$ ) menggunakan persamaan delta[8] berikut:

$$\text{delta} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (d(i) - Y)^2} \quad (3.2)$$

dimana:

$d$  = nilai ciri data latih atau data uji pada Algoritma Genetika

$Y$  = batas atau nilai *fenotype* dari individu

Sehingga nilai fitness yang diperoleh adalah:

$$\text{fitness} = \frac{1}{\text{delta}_1 + \text{delta}_2} \quad (3.3)$$

Semakin besar nilai delta yang didapatkan maka semakin sulit ciri tersebut dibagi menjadi 3 bagian. Oleh karena itu, semakin tidak optimal ciri tersebut untuk menentukan tipe modulasi yang digunakan. Sebaliknya, semakin kecil nilai delta yang didapat, semakin mudah nilai terbagi menjadi 3 bagian dan semakin mudah pula menentukan tipe modulasi yang digunakan. Sedangkan fungsi fitness yang digunakan adalah  $1/\text{delta}$ . Sehingga semakin kecil nilai delta maka semakin besar nilai fitness suatu ciri yang mengakibatkan semakin optimal ciri tersebut dalam menentukan tipe modulasi yang digunakan.

Proses elitisme yang dilakukan tergantung pada jumlah populasi yang digenerate. Jika jumlah populasi ganjil, maka elitisme mempertahankan satu individu yang bernilai *fitness* tertinggi. Sedangkan jika genap, elitisme mempertahankan dua individu dengan nilai *fitness* tertinggi. Sedangkan metoda pemilihan orang tua yang digunakan adalah metoda *Roulette Wheel*.

Dalam proses mutasi, karena kromosom dikodekan menggunakan metoda *binary encoding*, maka gen yang terkena mutasi akan diubah nilainya sesuai nilai gen sebelumnya. Jika nilai gen sebelumnya '1' maka gen hasil mutasi bernilai '0', sebaliknya jika nilai gen sebelumnya bernilai '0' maka gen hasil mutasi bernilai '1'.

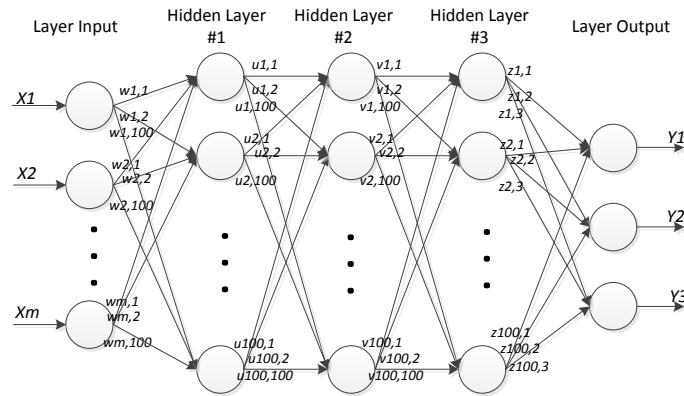
### 3.3.4 Bagian keputusan

Jumlah ciri yang telah tereduksi oleh pemilihan ciri, kemudian akan diproses di bagian keputusan dengan Jaringan Syaraf Tiruan. Model JST yang digunakan adalah backpropagation. Ada dua proses dalam implementasi Jaringan Syaraf Tiruan, yaitu Pelatihan Jaringan dan Pengujian Jaringan.

Arsitektur JST yang digunakan adalah JST-BP. Dimana dalam penelitian ini, jumlah layer dan jumlah neuron (node) tiap hidden layer yang akan diamati pengaruhnya terhadap performansi jaringan yaitu nilai MSE, epoch dan waktu.

Setelah mendapatkan ciri yang optimal pada Algoritma Genetika sebanyak  $m$  ciri, maka banyaknya ciri tersebut kemudian menjadi masukan JST sebagai layer input dengan neuron (node) sebanyak  $m$ . Jumlah  $m$  ciri yang digunakan adalah 3, 4 dan 5 ciri. Sedangkan layer output memiliki 3 neuron (node) yang merepresentasikan banyaknya tipe modulasi yang digunakan.

Arsitektur JST yang digunakan dalam pelatihan maupun pengujian penelitian ini adalah 3 hidden layer dengan neuron [100,100,90],  $m$  neuron pada layer input, dan 3 neuron layer output.



Gambar 3.2 Aarsitektur JST Backpropagation

Dalam penelitian ini, terdapat 9 ciri yaitu 5 ciri spektral dan 4 ciri statistik dari tiap modulasi yang dipakai (QPSK, 16QAM, 64QAM) dalam rentang SNR 0-30dB. Sedangkan kanal kecepatan yang digunakan yaitu 3, 30 dan 120 km/jam. Sehingga 1 data pada masing-masing kanal kecepatan mempunyai 27 informasi, yaitu 9 ciri pada 3 tipe modulasi.

Dalam pelatihan, digunakan 10 data latih untuk JST dalam tiap modulasi di tiap ciri. Sehingga untuk  $m$  ciri yang digunakan dalam pelatihan menggunakan  $m \times 3 \times 10$  data sebagai masukan dari JST di tiap tipe modulasi. Sedangkan dalam pengujian, dilakukan pada 200 data uji untuk menentukan tingkat akurasi sistem.

#### a. Pelatihan Jaringan

Pelatihan Jaringan merupakan suatu proses dimana jaringan JST dilatih untuk mengenali beberapa pola masukan, yaitu pola ciri tipe modulasi tertentu. Pelatihan ini dilakukan berulang kali hingga tercapai *goal* dari suatu jaringan, yaitu nilai performansi telah tercapai atau *epoch* telah mencapai maksimal. Keluaran dari pelatihan jaringan ini adalah bobot-bobot pada jaringan di tiap layer untuk menghasilkan target tipe-tipe modulasi. Target ini berupa inisialisasi untuk menentukan tipe modulasi tertentu.

Tabel 3.1 Inisialisasi Target Pelatihan Jaringan

Tipe Modulasi	Target dalam JST
QPSK	0 0 1
16QAM	0 1 0
64QAM	1 0 0

Sedangkan untuk parameter-parameter inisialisasi yang digunakan pada pelatihan jaringan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Performansi yang digunakan adalah MSE, dengan *goal* bernilai  $10^{-5}$
- 2) Maksimum *epoch* bernilai 5000
- 3) Metoda *training* menggunakan *traincgf*
- 4) *Learning Rate* bernilai 0,05
- 5) Fungsi aktivasi yang digunakan dalam layer input maupun output adalah *purelin*. Sedangkan pada layer-layer outputnya adalah *tansig*.

#### b. Pengujian Jaringan

Pengujian jaringan merupakan proses menguji jaringan JST yang telah dilatih sebelumnya dengan data masukan yang berbeda dari data latih. Keluaran dari pengujian ini adalah hasil output dari suatu jaringan. Nilainya berupa rentang 0 sampai dengan 1 sesuai dengan rentang dari target pada saat pelatihan. Kemudian nilai-nilai tersebut dibulatkan agar hasil outputnya bernilai biner 0 atau 1.

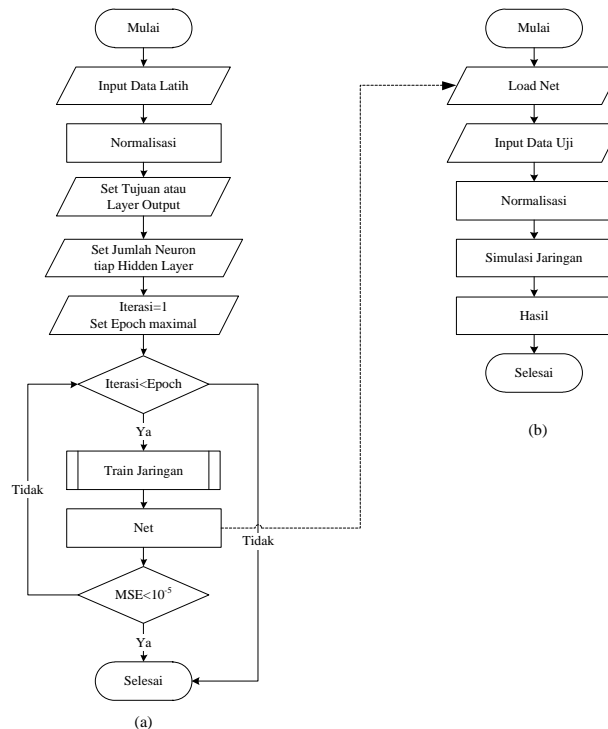
Akurasi sistem dihitung berdasarkan *modulation error detection* sesuai dengan persamaan:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Pola deteksi benar}}{\text{Banyaknya pola deteksi}} \times 100\%$$

Pelatihan dan pengujian jaringan ditunjukkan pada Gambar 3.3.

#### 3.3.5 Demodulator

Setelah diputuskan bahwa sinyal masukan tersebut menggunakan tipe modulasi tertentu, maka keluaran dari bagian keputusan akan menghubungkan sinyal tersebut sesuai dengan pasangan demodulatornya. Demodulator QPSK, 16QAM dan 64QAM. Kemudian sinyal termodulasi tersebut di demodulasi untuk mendapatkan sinyal informasinya kembali.



Gambar 3.3 Diagram Alir Jaringan Syaraf Tiruan. (a) Pelatihan Jaringan. (b) Pengujian Jaringan.

## 4. ANALISIS SISTEM

### 4.1 Ekstraksi Ciri

Untuk memudahkan analisis, dari sembilan ciri yang didapat dari proses ekstraksi ciri, kemudian diklasifikasikan menjadi tiga sifat dalam membedakan antar modulasi yang digunakan. Yaitu ciri-ciri yang bersifat relatif mudah membedakan, ciri-ciri yang relatif kurang mudah membedakan, dan ciri-ciri yang relatif sulit membedakan.

Relatif mudah membedakan karena nilai ciri mengelompok ke dalam nilai yang berbeda sesuai dengan tipe modulasi yang digunakan, sehingga dapat dibedakan modulasi yang satu dengan yang lainnya. Nilai ciri yang mengelompok pada suatu nilai hanya pada modulasi tertentu saja, tetapi nilai ciri pada modulasi yang lain nilai cirinya relatif menyebar, termasuk dalam sifat yang relatif kurang mudah membedakan. Sedangkan nilai ciri yang berhimpitan dan mengelompok di semua modulasi yang digunakan, sehingga tiap nilai tidak dapat dipisahkan antar tipe modulasi, termasuk ciri sulit yang membedakan. Masing-masing ciri tersebut diekstraksi ciri pada kondisi SNR dari 0 s.d 30 dB dengan kanal transmit yang bervariasi, yaitu pada kecepatan 3, 30 dan 120 Km/jam.

### 4.2 Parameter AG dan JST

Setelah mendapatkan sembilan ciri dari tiap modulasi dalam tiap kecepatan, Algoritma Genetika bertugas mereduksi ciri-ciri yang mana saja yang dapat membedakan antar modulasi yang digunakan secara optimal melalui nilai *fitness* masing-masing cirinya. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam AG, yaitu jumlah kromosom, jumlah populasi, peluang pindah silang ( $P_c$ ) dan peluang mutasi ( $P_m$ ).

Dari hasil rata-rata percobaan dengan jumlah populasi 30, jumlah kromosom 13, peluang pindah silang 0,5 dan variasi nilai maksimal generasi dari 50 s.d 200, maka nilai *fitness* maksimal didapatkan ketika generasi maksimal bernilai 200 dalam waktu rata-rata 52 detik. Waktu yang dibutuhkan semakin meningkat seiring dengan membesarnya nilai maksimal generasi. Hal ini karena AG melakukan perulangan evolusi yang semakin banyak. Sehingga, nilai optimum untuk generasi maksimal adalah 100, karena membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat untuk mendapatkan nilai *fitness* yang hampir mendekati nilai *fitness* tertinggi.

Proses dari JST-BP terbagi menjadi dua bagian, yaitu proses pelatihan jaringan dan simulasi jaringan atau pengujian. Dalam melatih jaringan, parameter yang menentukan performansi jaringan adalah kombinasi dari banyaknya jumlah *hidden layer* yang dipakai dan banyaknya neuron per *hidden layer* tersebut.

Dari hasil rata-rata percobaan dengan jumlah neuron 3 *hidden layer*, semua jaringan sudah mampu menghasilkan nilai performansi MSE yang diinginkan. Semakin besar jumlah neuron pada layer ketiga, makin besar rata-rata *epoch* yang dihasilkan, rata-rata waktu komputasinya pun relatif semakin besar. Namun pada

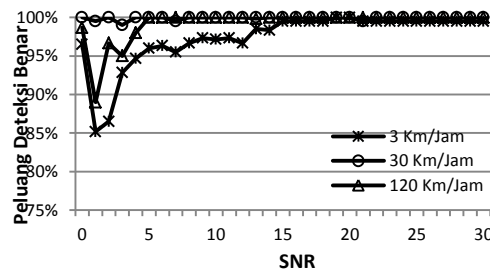
jaringan dengan jumlah neuron [100 100 90], terjadi penurunan rata-rata waktu komputasi, dan jaringan tersebut mempunyai rata-rata komputasi tercepat dibanding dengan jaringan yang lain. Oleh karena itu, jaringan dengan jumlah neuron [100 100 90] merupakan jaringan yang optimal.

### 1.3 Pemilihan Ciri Pada Algoritma Genetika

#### 4.3.1 Pemilihan 3 Ciri

Dalam memilih 3 ciri terbaik sebagai keluaran Algoritma Genetika. Ketiga ciri yang dipilih tersebut, kemudian akan menjadi masukan JST, baik dalam proses pelatihan dan pengujian. Dalam pengujian, dilakukan 200 kali percobaan di tiap modulasi yang digunakan dalam tiga kecepatan berbeda.

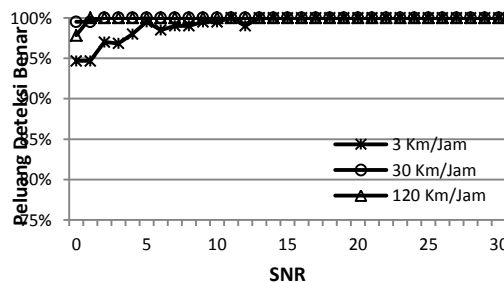
Ciri yang digunakan pada kecepatan 3 dan 120 Km/jam adalah *Mean*, *STD Frequency* dan *Varsians*. Sedangkan pada kecepatan 30 Km/jam, ciri yang digunakan adalah *Mean*, *STD Frequency* dan *PSD Max*. Hasil pengujian sistem pemilihan 3 ciri dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik peluang deteksi benar terhadap SNR menggunakan 3 ciri

#### 4.3.2 Pemilihan 4 Ciri

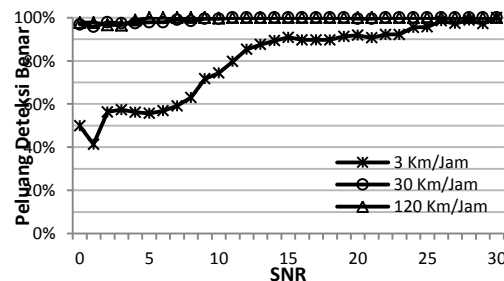
Ciri yang digunakan pada kecepatan tiap kecepatan, baik 3, 30 dan 120 Km/jam adalah *Mean*, *STD Frequency* dan *Varsians* dan *PSD Max*. Hasil pengujian sistem pemilihan 4 ciri dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik peluang deteksi benar terhadap SNR menggunakan 4 ciri

#### 4.3.3 Pemilihan 5 Ciri

Ciri yang digunakan pada kecepatan 30 dan 120 Km/jam adalah *Mean*, *STD Frequency*, *Varsians*, *PSD Max* dan *Skewness*. Sedangkan pada kecepatan 3 Km/jam, ciri yang digunakan adalah *Mean*, *STD Frequency*, *Varsians*, *PSD Max* dan *Kurtosis*. Hasil pengujian sistem pemilihan 5 ciri dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik peluang deteksi benar terhadap SNR menggunakan 5 ciri

Pemilihan ciri yang optimum pada kecepatan 3, 30, 120 Km/Jam adalah 4 ciri, yaitu *STD Frequency*, *Mean*, *Varsians* dan *PSD Max* dengan peluang deteksi benar  $\geq 90\%$  pada SNR minimum 0 dB.

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Reduksi ciri sebesar 50% s.d 75% berpengaruh pada peningkatan akurasi sistem. Pemilihan ciri yang optimum untuk mendeteksi benar  $\geq 90\%$  tipe modulasi yang digunakan, menunjukkan hasil yang sama pada tiga kecepatan kanal transmit. Pada kecepatan 3, 30 dan 120 Km/jam, pemilihan ciri yang optimum adalah dengan empat ciri: *STD Frequency*, *Mean*, *Varians*, *PSD Max* pada SNR minimum 0 dB.

### 5.2 Saran

Beberapa masukan dan ide untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Penggunaan tipe modulasi selain QPSK, 16QAM dan 64QAM seperti ASK, FSK, BPSK, dll.
2. Menggunakan ciri yang lebih banyak lagi dalam proses ekstraksi ciri, seperti orde statistik yang lebih tinggi.
3. Menggunakan algoritma lain di bagian pemilihan ciri seperti *SVM (Support Vector Machine)*, dll.
4. Pengaplikasian sistem lebih lanjut lagi ke dalam perangkat pemrograman seperti FPGA atau *Beagleboard*.

## 6. DAFTAR RUJUKAN

- [1] Andriansyah, Reza. 2007. *Simulasi dan Analisis Pendeteksi Modulasi Digital Pada Software Defined Radio Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Telekomunikasi IT Telkom: Tidak diterbitkan.
- [2] Fette, Bruce. 2006. *Cognitive Radio*. Elsevier: USA
- [3] Haupt, Randy L. dan Sue Ellen Haupt. 2004. *Practical Generic Algorithm*. ed.2. Wiley-Interscience: USA
- [4] P, Wahyu Eko. 2008. *Simulasi Deteksi Skema Modulasi Pada Sistem Software Defined Radio Dengan Menggunakan Metode Statistik*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Telekomunikasi IT Telkom: Tidak diterbitkan.
- [5] Rahmawan, Arief Purwa. 2008. *Simulasi Pendeteksi Tipe Modulasi Digital Menggunakan Transformasi Wavelet Pada Software Defined Radio (SDR)*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Telekomunikasi IT Telkom: Tidak diterbitkan.
- [6] Saputri, Desti Madya. 2012. *Klasifikasi Tipe Modulasi Menggunakan Metode Deteksi Selubung Kompleks dan Parameter Statistik*. Tesis Jurusan Teknik Telekomunikasi Institut Teknolgi Telkom: Tidak diterbitkan.
- [7] Siang, Jong Jek. 2005. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: ANDI.
- [8] Suyanto. 2005. *Algoritma Genetika dalam Matlab*. Yogyakarta: ANDI.
- [9] Wong, M.L.D dan A.K Nandi. (2001). "Automatic Digital Modulation Recognition Using Artificial Neural Network And Genetic Algorithm". Department of Electrical Engineering and Electronics, University of Liverpool, UK
- [10] Yeste-Ojeda, Omar, Jesus Grajal dan Victor Iglesias. (2011). "Automatic Modulation Classifier For Military Applications". Universidad Politecnica de Madrid, Spai