



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGAMBILAN KEPUTUSAN MENGGUNAKAN ATURAN  
MAX-LOG ON-OFF PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL**

**TESIS**

**AJIB SETYO ARIFIN**  
NPM. 0906644165

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM PASCASARJANA  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGAMBILAN KEPUTUSAN MENGGUNAKAN ATURAN  
MAX-LOG ON-OFF PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister**

**AJIB SETYO ARIFIN**  
NPM. 0906644165

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
KEKHUSUSAN TELEKOMUNIKASI  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama :Ajib Setyo Arifin

NPM :0906644165

Tanda Tangan :

Tanggal : 20 Desember 2010



## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Ajib Setyo Arifin  
NPM : 0906644165  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Tesis : Pengambilan Keputusan Menggunakan Aturan Max-Log On-Off pada Jaringan Sensor Nirkabel

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Elektro pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng (.....  
Penguji : Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng (.....  
Penguji : Dr. Ir. Arman Djohan D (.....  
Penguji : Filbert Hilman Juwono, ST, MT (.....

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 07 / 01 / 2011

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) **Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng.**, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) pihak Departemen Teknik Elektro yang telah banyak membantu dan memfasilitasi penyelesaian tesis ini;
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 20 Desember 2010

Penulis,

Ajib Setyo Arifin  
NPM 0906644165

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan  
di bawah ini:

Nama : Ajib Setyo Arifin  
NPM : 0906644165  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan  
kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive  
Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengambilan Keputusan Menggunakan Aturan Max-Log On-Off pada  
Jaringan Sensor Nirkabel**

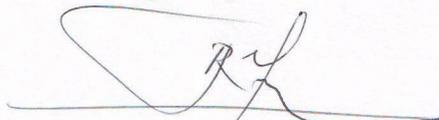
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti  
Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan,  
mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*),  
merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama  
saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 20 Desember 2010

Yang menyatakan



(Ajib Setyo Arifin)

## ABSTRAK

Nama : Ajib Setyo Arifin  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Pengambilan Keputusan Menggunakan Aturan Max-Log On-Off pada Jaringan Sensor Nirkabel

Salah satu bagian dari proses pengambilan keputusan pada Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) adalah pengiriman hipotesis dari sensor ke Pusat Informasi Gabungan (PIG). Konsumsi daya yang besar pada proses transmisi akan mengurangi waktu hidup sensor. Untuk mengatasi tantangan ini, penulis mengusulkan sebuah skenario transmisi on-off pada tiap sensor. Transmisi on ketika hipotesis sebelumnya tidak sama dengan hipotesis sekarang. Sebaliknya, transmisi off (tidak melakukan pengiriman) ketika hipotesis sebelumnya sama dengan hipotesis sekarang.

Pengambilan keputusan di PIG menggunakan aturan Max-Log. Keunggulan aturan Max-Log adalah mempunyai probabilitas deteksi yang baik diseluruh nilai SNR dengan  $Pd_0$  0.84 pada  $E_b/E_0$  25 dB. Penelitian ini menghasilkan rumusan matematis aturan Max-Log yang menggabungkan dengan skenario On-Off dalam rangka menghemat konsumsi daya. Pada hasil simulasi diperoleh selisih konsumsi daya sebesar 1,5 watt setelah observasi ke-10.

Kata kunci: *JSN, hipotesis, on-off, max-log, SNR*

## ABSTRACT

Name : Ajib Setyo Arifin  
Study Program : Teknik Elektro  
Title : On-Off Max-Log Fusion Rule for Wireless Sensor Network

One of the process decision making in wireless sensor network (WSN) is transmit hypothesis to fusion center. Having consumes high power on transmitting, it can reduce sensors life time. To solve this problem, author propose new scenario its called on-off transmission. Transmission on when sensor has different hypothesis than before. Contrary, transmission off when sensor has same hypothesis than before. To make decision in fusion center, author use Max-Log fusion rules. The advantages of Max-Log fusion rule, it has good performace in all SNR value with  $Pd_0$  0.84 at  $E_b/E_0$  25 dB. The output of this research is mathematical approaches for Max-Log fusion rule combine with on-off scenario transmission. By simulation, Max-Log On-Off save energy consuming better than pure Max-Log with margin value 1,5 watt for 10 period observations.

Key words : *WSN, hipotesis, on-off, max-log, SNR*



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas .....	ii
Halaman Pengesahan .....	iii
Ucapan Terima Kasih .....	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir Untuk Kepentingan Akademis .....	v
Abstrak .....	vi
Abstract .....	vii
Daftar Isi .....	viii
Daftar Gambar .....	x
Daftar Tabel .....	xi
Daftar Singkatan .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penulisan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II JARINGAN SENSOR NIRKABEL</b> .....	<b>4</b>
2.1. Sensor .....	4
2.1.1 Model Penyebaran Sensor .....	5
2.1.2 Model Deteksi Sensor .....	6
2.1.3 Kinerja Deteksi .....	7
2.2. Kanal .....	7
2.3. Pusat Informasi Gabungan .....	8
2.3.1 Log Likelihood Ratio .....	9
2.3.2 Chair-Varshney .....	10
2.3.3 Maximal Ratio Combining .....	11
2.3.4 Equal Gain Combining .....	12
2.3.5 Max-Log .....	12
2.3.6 Teorema Bayes .....	12

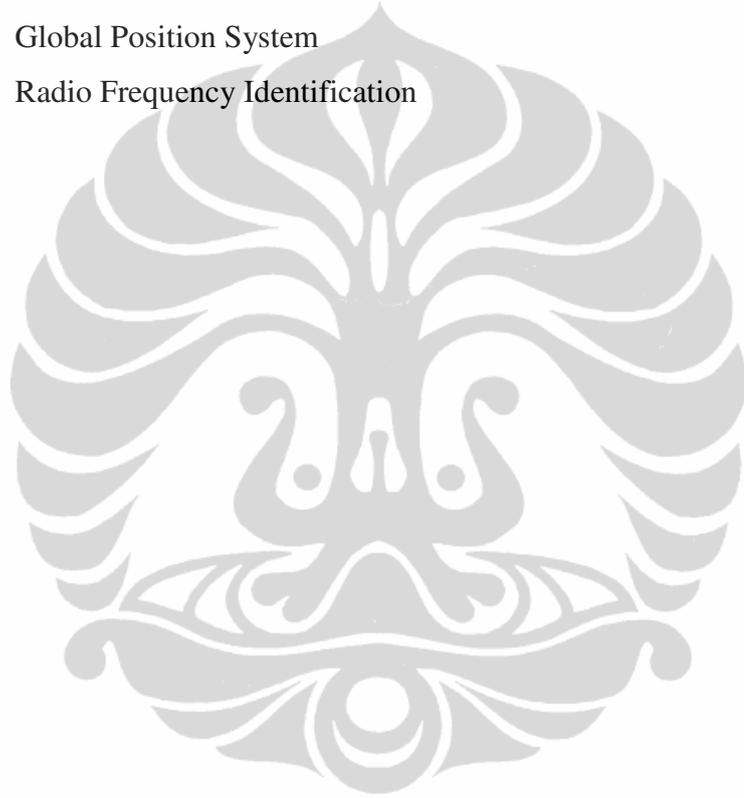
<b>BAB III METODOLOGI ATURAN MAX-LOG ON-OFF</b> .....	14
3.1. Alur Diagram .....	14
3.2. Pemodelan Sensor .....	15
3.2.1 Sensor .....	15
3.2.2 Kanal .....	15
3.2.3 PIG .....	16
3.3. Aturan Fusion Optimal .....	16
3.4. Aturan Max-Log .....	18
3.5. Pendekatan Numerik .....	19
3.6. Skenario On-Off .....	22
3.6.1 On .....	22
3.6.2 Off .....	23
<b>BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS</b> .....	<b>24</b>
4.1. Aturan Gabungan Optimum dan Max-Log .....	24
4.2. Max-Log On-Off .....	25
<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....	<b>30</b>
Daftar Acuan .....	31

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Jaringan Sensor Nirkabel .....	4
Gambar 2.2 Modul Processor WINS .....	5
Gambar 2.3 Contoh penyebaran sensor dalam JSN.....	6
Gambar 2.4 Distribusi normal untuk $P_d$ dan $P_f$ dengan masing-masing <i>threshold</i> ( $T-a_k$ ) dan $T$ .....	8
Gambar 2.5 Probabilitas deteksi dengan $P_d = 0,5$ dan $P_f = 0,05$ dengan jumlah sensor 8 .....	11
Gambar 3.1 Alur Diagram Max-Log On-Off.....	14
Gambar 3.2 Daerah integral yang merupakan fungsi $z_k$ .....	20
Gambar 4.1 Perbandingan simulasi dan perhitungan antara max-log dan optimal LLR (Log Likelihood Ratio). $P_{fk} = 0.05$ , $P_{dk} = 0.5$ dan jumlah sensor 5.....	24
Gambar 4.2 Kinerja deteksi $P_{d0}$ terhadap total daya yang digunakan pada 10 kali observasi. ....	26
Gambar 4.3 Kinerja deteksi $P_{d0}$ terhadap total daya yang digunakan pada 100 kali observasi. ....	27
Gambar 4.4 Fluktuasi daya pada 10 kali observasi menggunakan 20 sensor. ....	28
Gambar 4.5 Perbandingan konsumsi daya Max-Log On-Off dan Max-Log murni. ....	29

## DAFTAR SINGKATAN

JSN	Jaringan Sensor Nirkabel
LLR	Log Likelihood Ratio
PIG	Pusat Informasi Gabungan
WINS	Wireless Integrated Network Sensors
LPWIM	Low Power Wireless Integrated Microsensors
GPS	Global Position System
RFID	Radio Frequency Identification



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Dengan makin populernya laptop, telepon seluler, GPS, RFID, dan alat elektronik canggih lainnya, menandakan bahwa alat-alat komputasi saat ini semakin murah, makin *mobile*, terjangkau, dan lebih pervasif dalam kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, akan sangat mungkin dibuat sebuah komponen yang dapat bekerja setara komputer pada era tahun 90-an. Dan kemunculan Jaringan Sensor Network (JSN) adalah efek dari perkembangan alat-alat komputasi modern yang makin kecil dan mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari[1]. Sensor sebagai agen informasi dari JSN dapat dipasang secara terintegrasi pada alat-alat seperti telepon seluler, laptop, kendaraan, dan alat khusus yang memang diperuntukan untuk observasi.

JSN adalah teknologi yang mempunyai potensi kebermanfaatan pada bidang sipil maupun militer. JSN pada umumnya terbangun dari sensor yang mempunyai spesifikasi berdaya rendah, ukuran kecil, dan murah sehingga dapat ditempatkan pada wilayah yang luas dan dalam jumlah yang banyak. Walaupun ukurannya kecil, sensor dirancang mempunyai kemampuan melakukan sensing, pemrosesan data, dan komunikasi antar sensor. JSN melakukan komunikasi antar sensor secara *ad hoc*, dan harus bisa melakukan pengelolaan secara mandiri dalam berkomunikasi melalui jaringan nirkabel. Sensor dilengkapi dengan sumber daya yang dapat digunakan dalam waktu yang lama sehingga pengoperasiannya tidak banyak membutuhkan campur tangan manusia[2].

Perkembangan riset yang membahas Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) dan aplikasinya telah berkembang pesat beberapa akhir tahun ini. Banyak aplikasi yang telah dikembangkan menggunakan Jaringan Sensor Nirkabel antara lain dalam bidang kesehatan yaitu monitoring pasien jantung jarak jauh. Selain itu, dalam bidang pertahanan, sensor yang digunakan untuk memberikan informasi penting di medan perang[3]. Dan bidang lain yang sangat potensial seperti mitigasi bencana gunung meletus, tsunami, dan gempa bumi. Sebagai agen

informasi yang terdapat pada garis depan terjadinya bencana, JSN memegang peranan penting dalam menilai kebenaran informasi yang diperoleh. Dengan pengertian yang lebih sederhana yaitu JSN sebagai alat untuk monitoring lingkungan, lingkungan dalam pengertian berbagai bidang[4].

Dengan didukung oleh perkembangan dalam berbagai bidang riset seperti riset teknologi jaringan, komunikasi nirkabel, dan fabrikasi microprocessor, telah menjadikan perkembangan riset JSN bergerak sangat cepat. JSN dapat dibuat dengan biaya rendah, ukuran yang relatif kecil dan konsumsi daya yang rendah, yang selanjutnya ditempatkan di suatu wilayah dalam jumlah besar untuk memperoleh dan mengumpulkan informasi[5].

Dalam proses pengumpulan informasi, JSN akan melakukan deteksi menggunakan sensor yang telah terpasang di titik-titik tertentu. Dengan alasan kompleksitas, pada umumnya deteksi dilakukan dengan cara desentralisasi. Deteksi desentralisasi adalah proses pengambilan keputusan terhadap kejadian-kejadian yang terjadi di suatu titik berdasarkan observasi sensor di titik tersebut dan hasil keputusan dari tiap-tiap titik akan dikirim menuju Pusat Informasi Gabungan (PIG) melalui jaringan nirkabel. PIG akan mengkombinasikan sinyal yang dikirim oleh tiap titik untuk membuat sebuah keputusan akhir. Proses pengumpulan informasi akan melalui tahapan sebagai berikut: pengambilan keputusan di masing-masing titik, komunikasi antar titik, dan proses penggabungan keputusan di PIG[3][6][7].

## **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Konsep penghematan konsumsi daya di jaringan sensor nirkabel pada proses pengambilan keputusan.

## **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan penulisan penelitian ini adalah membuat sebuah skenario baru pengambilan keputusan dari sekumpulan sensor menggunakan prinsip On-Off dan aturan Max-Log di PIG.

## **1.4 BATASAN MASALAH**

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini dibatasi pada cara

pengambilan keputusan oleh PIG menggunakan aturan *Max-Log*.

### **1.5 SISTEMATIKA PENULISAN**

Pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi empat bab, yaitu:

#### **Bab 1 Pendahuluan**

Bagian ini terdiri dari latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### **Bab 2 Jaringan Sensor Nirkabel**

Bagian ini berisi pengertian JSN, komponen JSN dan Penjelasan berbagai aturan pengambilan keputusan yang telah ada.

#### **Bab 3 Metodologi Aturan Max-Log On-Off**

Pada Bab ini berisi penjelasan skenario pengambilan keputusan yang menggunakan prinsip on-off yang dikombinasikan dengan aturan Max-Log.

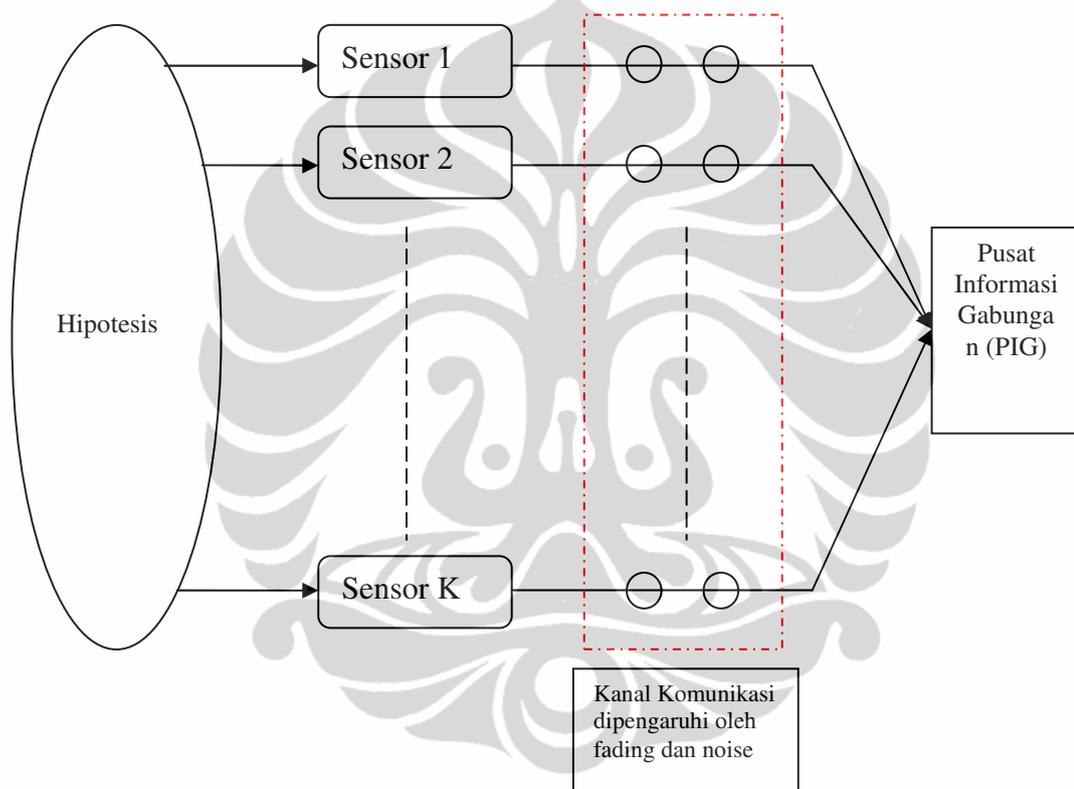
#### **Bab 4 Kesimpulan**

Bagian ini berisikan kesimpulan dari penelitian.

## BAB 2

### JARINGAN SENSOR NIRKABEL

Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) merupakan sekumpulan sensor yang saling berkomunikasi satu dengan lainnya melalui sistem komunikasi nirkabel. Ada tiga komponen utama dalam JSN yaitu sensor, kanal, dan pusat informasi gabungan. Dalam bentuk diagram, ketiganya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram Jaringan Sensor Nirkabel

#### 2.1 SENSOR

Sebuah jaringan sensor nirkabel terdiri dari sejumlah sensor yang tersebar pada suatu daerah tertentu yang disebut sebagai sensor field/medan sensor. Penyebaran sensor ini dapat dilakukan secara acak atau mengikuti suatu pola tertentu. Masing-masing sensor dilengkapi dengan beberapa komponen utama yaitu sensor, memori dan peralatan komunikasi[8].

Tahun 1996 sebuah sensor diproduksi oleh Universitas California, Los

Angeles (UCLA) yang disebut Low Power Wireless Integrated Microsensors (LWIMs). Sensor ini dibuat dengan mengintegrasikan berbagai kemampuan antara lain, kinerja dengan multi sensor, fungsi control, dan fungsi komunikasi. Secara teknis sensor mampu mendukung komunikasi hingga 100 Kbps dalam jangkauan 10 meter menggunakan daya transmisi 1 mW[1].

Pada generasi berikutnya diciptakan pula Wireless Integrated Network Sensors (WINS) oleh tim yang sama. Sensor ini sudah terpaket menjadi sebuah modul yang terdiri dari Intel StrongARM sebagai processor, dengan kemampuan (1 MB SRAM dan 4 MB flash memory), modul radio yang mampu berkomunikasi hingga 100Kbps dan konsumsi daya yang dapat diatur. Paket ini mempunyai dua mode yaitu mode aktif dan mode *idle*, sehingga dapat menghemat konsumsi daya[1]. Contoh WINS dapat dilihat pada Gambar 2.2.

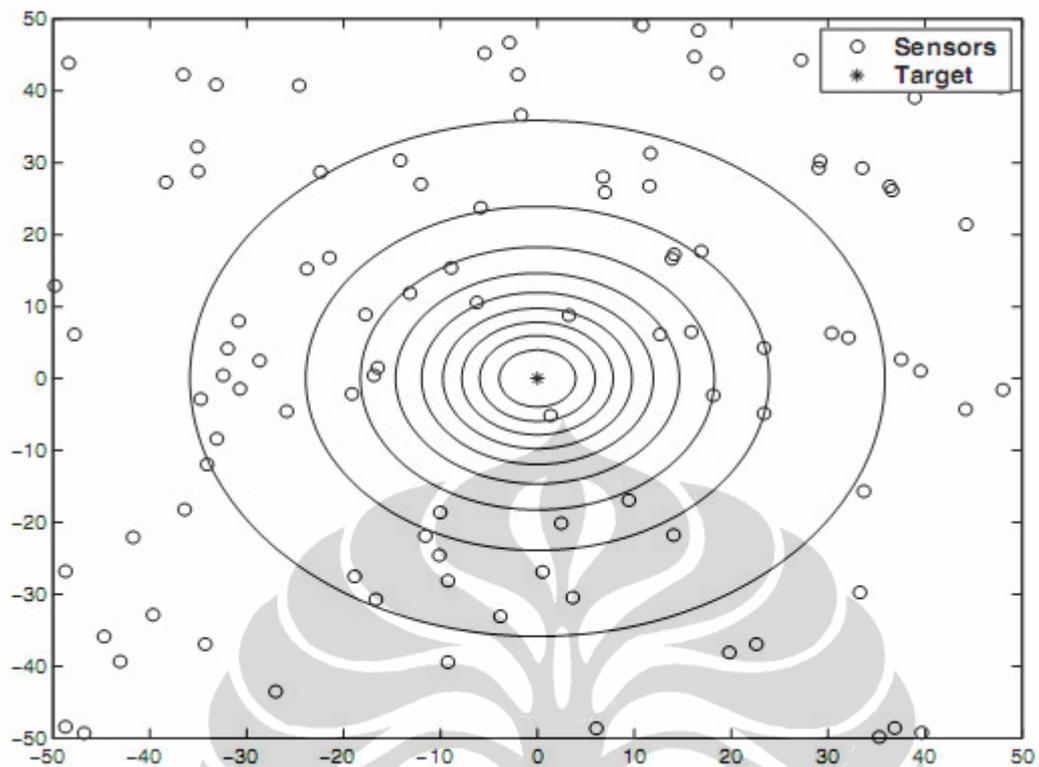


Gambar 2.2. Modul Processor WINS [1]

Menurut [8] ada tiga hal penting pembahasan sensor dalam JSN, yaitu model penyebaran sensor, model deteksi sensor, dan model kinerja sensor.

### 2.1.1 Penyebaran sensor

Dalam aplikasi sesungguhnya sangat jarang ditemui sensor dipasang secara teratur dengan jarak antar sensor yang ditentukan, tetapi terdistribusi secara acak. Pada [9] penyebaran sensor dapat dimodelkan menjadi distribusi Poisson.



Gambar 2.3. Contoh penyebaran sensor dalam JSN[9]

Pada Gambar 2.3 sejumlah  $N$  sensor ditempatkan pada daerah yang diinginkan, ROI (Region of Convergence), misal dengan luas  $b^2$ . Lokasi dari sensor diasumsikan identik independent distributed (i.i.d) berdistribusi uniform. Secara matematis, model penyebaran sensor dapat diwakilkan dengan menggunakan distribusi Poisson. Persamaan distribusi Poisson dapat ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$p(N) = \frac{\lambda^N e^{-\lambda}}{N!} \text{ untuk } N = 0, \dots, \infty \dots\dots\dots (2.1)$$

### 2.1.2 Model Deteksi Sensor

Sensor prinsip dasarnya adalah mengubah fenomena fisika dan non-fisik menjadi sinyal elektrik. Energi sinyal elektrik dipengaruhi oleh faktor jarak. Pada umumnya, semakin jauh dari fenomena maka sinyal elektrik yang dihasilkan semakin menurun. Menurut [10], hal ini dapat dimodelkan menggunakan redaman isotropik, seperti persamaan 2.2.

$$a_k^2 = \frac{P_0}{1 + \alpha d_k} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan  $P_0$  adalah daya sinyal yang dipancarkan oleh target,  $d_k$  adalah jarak sensor dengan target, sedangkan  $\alpha$ , adalah konstanta redaman.

Dalam proses observasi sensor pun tidak lepas dari adanya kehadiran noise. Jika dimisalkan noise  $n$  dengan distribusi Gaussian, maka model proses deteksi adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} H_1 &= a_k + n_k \\ H_0 &= n_k \end{aligned} \dots\dots\dots (2.3)$$

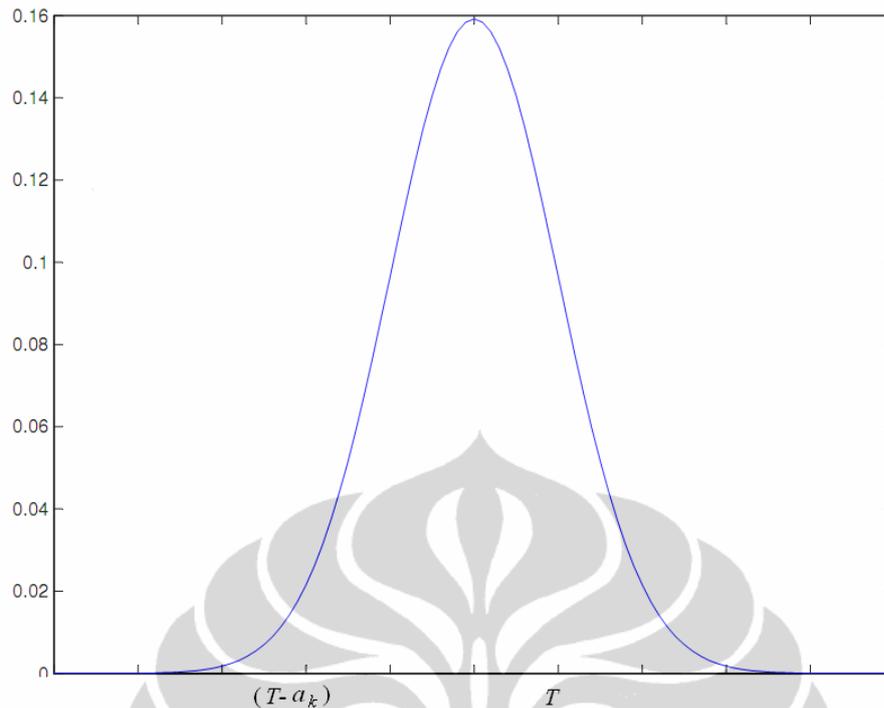
$H_1$  adalah hipotesis adanya kejadian hasil observasi dari kekuatan sinyal,  $a_i$ , dan noise  $n_k$  yang terukur. Sedangkan hipotesis tidak terjadi kejadian dipengaruhi oleh noise  $n_i$  saja.

### 2.1.3 Kinerja Deteksi Sensor

Pada [9] Misal disumsikan semua sensor menggunakan *threshold*  $T$ , yang sama dalam membuat keputusan. Kinerja deteksi di tiap sensor dapat diperoleh menggunakan probabilitas deteksi ( $P_d$ ) dan probabilitas kesalahan deteksi ( $P_f$ ). Untuk memperoleh probabilitas  $P_d$  dan  $P_f$  dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned} P_f &= \int_T^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \\ &= Q(T) \\ P_d &= Q(T - a_k) \end{aligned} \dots\dots\dots (2.4)$$

Persamaan 2.4 dapat direpresentasikan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Distribusi normal untuk  $P_d$  dan  $P_f$  dengan masing-masing *threshold*  $(T - a_k)$  dan  $T$

## 2.2 KANAL

Dalam JSN terjadi sebuah pengiriman informasi yaitu keputusan dari tiap-tiap sensor yang dikirim ke Pusat Informasi Gabungan (PIG). Proses pengiriman sudah barang tentu dilewatkan melalui sebuah saluran transmisi dalam hal ini adalah udara, secara umum saluran transmisi dapat disebut juga dengan kanal. Kanal transmisi melalui udara mempunyai karakteristik antara lain pengaruh noise, fading, LOS, dll.

Telah banyak literatur seperti [3][11][5][12] memodelkan kanal transmisi pada JSN menggunakan pengaruh fading dan noise. Rancangan JSN yang melibatkan pertimbangan pengaruh kanal akan mempengaruhi pula dalam proses desain transceiver. Yang pada akhirnya akan mempengaruhi rancangan sistem *fusion* pada PIG[3]. Terlebih lagi menurut [13], bagian yang paling besar konsumsi dayanya adalah bagian transmisi radio dibanding dengan bagian lain seperti unit mikrokontroler, sehingga menjadi sebuah tantangan untuk merancang sebuah JSN yang optimum dengan melibatkan pengaruh kanal transmisi.

Adapun asumsi-asumsi yang sering digunakan untuk memodelkan kanal pada JSN

yaitu:

1. Kanal flat fading antara sensor dan PIG.
2. Phase yang diterima adalah koheren sehingga pengaruh dari kanal fading dapat disederhanakan sebagai perkalian skalar dengan sinyal biner yang dikirimkan.
3. Noise kanal adalah additive white noise Gaussian dan tidak berkorelasi antar kanal.
4. Varian noise identik untuk kanal yang berbeda.

Sehingga luaran dari kanal dapat dirumuskan,

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^K h_k x_k + n_k \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan  $\mathbf{y}$  adalah sinyal output dari kanal hasil penjumlahan dari sinyal tiap-tiap sensor.  $h_k$  adalah fading gain dari kanal,  $x_k$  adalah keputusan sementara dari sensor  $k$ , dan  $n_k$  adalah noise yang terjadi dalam kanal. Sedangkan  $K$  adalah jumlah sensor.

### 2.3 PUSAT INFORMASI GABUNGAN (PIG)

Dalam banyak literatur PIG dikenal dengan *fusion center*. Tugas PIG adalah melakukan penggabungan informasi yang diterima dari sejumlah sensor dalam radius jangkauannya. Informasi yang diterima berupa sinyal  $\mathbf{y}$  yang membawa keputusan sementara  $x_k$  dari sensor-sensor.

Untuk melakukan penggabungan informasi diperlukan sebuah aturan penggabungan (*fusion rule*). Beberapa jenis aturan penggabungan adalah:

#### 2.3.1 Log Likelihood Ratio[3]

Likelihood-ratio adalah ujicoba statistik untuk mencari keputusan dari dua hipotesis yang berbeda berdasarkan perbandingan/rasio tertentu. Nilai perbandingan/rasio dihitung dari probabilitas maksimum berdasarkan dua hipotesis tersebut. Pembilang adalah probabilitas maksimum hasil observasi pada saat null hipotesis. Sedangkan penyebut adalah probabilitas maksimum hasil

observasi pada saat hipotesis yang lain. Pada umumnya nilai pembilang lebih kecil dari penyebut. Likelihood rasio pada kondisi ini mempunyai dua keadaan yaitu 0 dan 1. Jika hipotesis bernilai 0 jika hasil likelihood lebih kecil dari nilai pembanding, sebaliknya hipotesis bernilai 1 jika hasil likelihood lebih besar dari nilai pembanding.

Fungsi log dalam likelihood rasio digunakan untuk pendekatan terhadap distribusi yang diinginkan. Nilai log-likelihood ratio disimbolkan  $\Lambda(r)$ . Rumusan log-likelihood rasio terdapat pada persamaan 2.6

$$\Lambda(r) = \log \left[ \frac{f(y_i|H_1)}{f(y_i|H_0)} \right]$$

$$\Lambda(r) = \sum_{i=1}^N \log \left[ \frac{p_a e^{a+(1-p_a)e^b}}{p_f e^{a+(1-p_f)e^b}} \right] \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan,

$$a = -\frac{(y_i - h_i)^2}{2\sigma^2}$$

$$b = -\frac{(y_i + h_i)^2}{2\sigma^2}$$

Variabel  $\sigma^2$  adalah varian dari distribusi Gaussian untuk noise. Simbol  $y_i$  menunjukkan sinyal yang diterima oleh PIG dengan indeks  $i$  adalah sensor. Sedangkan  $N$  menunjukkan jumlah sensor. Karakter aturan ini sensor harus mempunyai kinerja observasi dan parameter kanal yang baik. Namun, pada implementasinya aturan ini sulit untuk dibuat karena mengandung fungsi eksponensial.

### 2.3.2 Chair-Varshney (CV)[3]

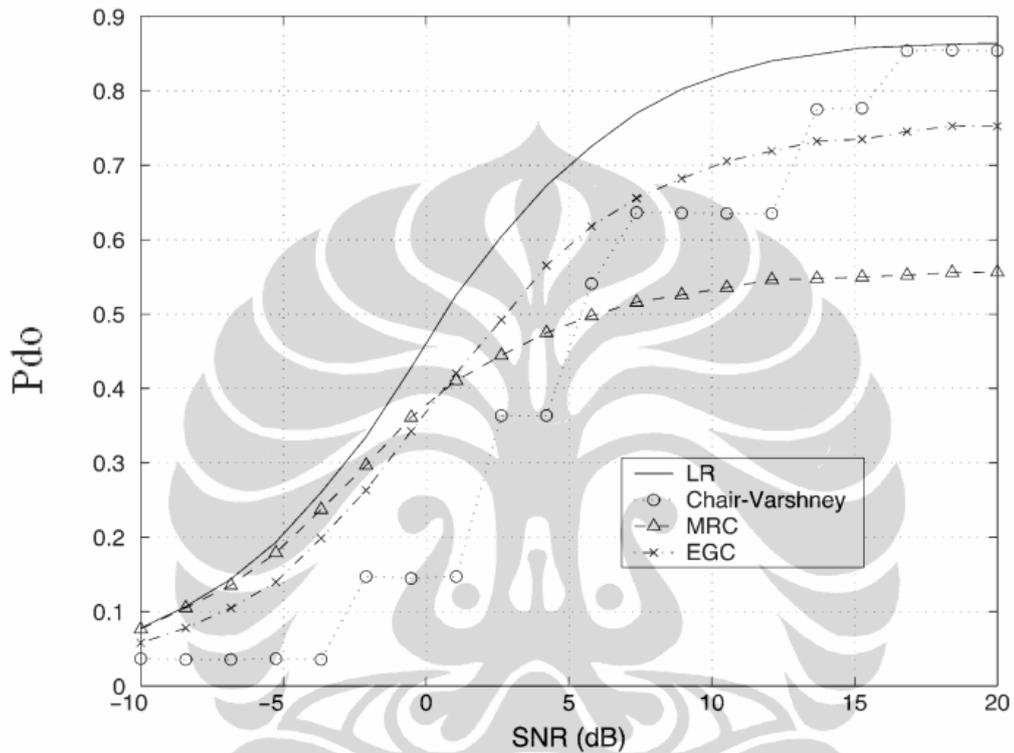
Dengan asumsi bahwa sinyal  $y$  dapat disederhanakan menjadi dua kondisi yaitu 1 dan -1, maka fungsi *sign* dapat digunakan sebagai deskripsi matematis. Definisi fungsi *sign* adalah sebagai berikut,

$$\text{sign}(y) = \begin{cases} -1 & \text{jika } y < 0 \\ 0 & \text{jika } y = 0 \\ 1 & \text{jika } y > 0 \end{cases} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan persamaan 2.7, maka persamaan 2.6 dapat dijabarkan untuk masing-masing perbandingan menjadi dua suku dengan fungsi *sign*, menjadi persamaan 2.8.

$$\Lambda = \sum_{\text{sign}(y)=1} \log \frac{p_d}{p_f} + \sum_{\text{sign}(y)=-1} \log \frac{1-p_d}{1-p_f} \dots (2.8)$$

Aturan ini bersifat suboptimal yaitu hanya efektif pada SNR yang tinggi [6]. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.5, bahwa CV mempunyai kinerja deteksi yang baik pada nilai SNR yang tinggi[3].



Gambar 2.5 Probabilitas deteksi dengan  $P_d=0,5$  dan  $P_f=0,05$  dengan jumlah sensor 8[3].

### 2.3.3 Maximal Ratio Combining (MRC)[3]

Dengan menyederhanakan persamaan 2.6 ke dalam bentuk lain menjadi persamaan 2.9.

$$\Lambda = \prod_{k=1}^K \frac{p_d+(1-p_d)e^b}{p_f+(1-p_f)e^b} \dots (2.9)$$

Untuk nilai SNR yang rendah  $\sigma^2 \rightarrow \infty$ , sehingga  $b \rightarrow 1$ . Dengan pendekatan orde pertama deret Taylor,  $e^b \approx 1 - b$ , sehingga diperoleh persamaan 2.10.

$$\lim_{\sigma^2 \rightarrow \infty} \Lambda = \lim_{\sigma^2 \rightarrow \infty} \prod_{k=1}^K \frac{p_d+(1-p_d)(1-b)}{p_f+(1-p_f)(1-b)} \dots (2.10)$$

Dengan menerapkan logaritma pada persamaan 2.10, diperoleh,

$$\lim_{\sigma^2 \rightarrow \infty} \log \Lambda = \lim_{\sigma^2 \rightarrow \infty} \left\{ \sum_{k=1}^K \log(p_d + (1 - p_d)(1 - b)) - \sum_{k=1}^K \log(p_d + (1 - p_d)(1 - b)) \right\} \dots\dots\dots (2.11)$$

Menggunakan pendekatan bahwa,

$$\log(1 + x) = x + 0(x)$$

Dengan  $0(x)$  adalah limit $_{x \rightarrow 0} 0(x)/x$ , yang mempunyai kesamaan dengan persamaan 2.12.

$$\begin{aligned} \lim_{\sigma^2 \rightarrow \infty} \log \Lambda &= \lim_{\sigma^2 \rightarrow \infty} \left\{ - \sum_{k=1}^K (1 - p_d)b - \sum_{k=1}^K (1 - p_f)b \right\} \\ &= \lim_{\sigma^2 \rightarrow \infty} \left\{ - \sum_{k=1}^K (p_d - p_f)b \right\} \dots\dots\dots (2.12) \end{aligned}$$

Dengan mengasumsikan bahwa  $\sigma^2$  konstan sehingga dapat diabaikan menjadi persamaan 2.13.

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N (p_{d,k} - p_{f,k}) h_k r_k \dots\dots\dots (2.13)$$

Variable  $r_k$  adalah informasi yang di bawa sedangkan  $h_k$  adalah besarnya fading gain pada kanal.

**2.3.4 Equal Gain Combining (EGC)[3]**

Aturan ini merupakan aturan yang paling sederhana dan paling mudah karena keputusan dicari dengan membandingkan sinyal tiap sensor dengan *threshold* yang berada pada *PIG*, persamaan matematiknya dapat ditunjukkan dengan persamaan 2.14.

$$\Lambda = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_k \dots\dots\dots (2.14)$$

**2.3.5 Max-Log [6]**

Penjelasan aturan ini dapat dilihat pada Bab 3.

**2.3.6 Teorema Bayes**

Teorema Bayes adalah aturan yang dapat digunakan untuk mendukung pembuatan keputusan. Teorema bayes yang hanya dibatasi oleh dua buah kejadian dapat diperluas untuk kejadian n buah. Teorema bayes untuk kejadian bersyarat dengan

n kejadian adalah sebagai berikut,

$$P(B_n | A) = \frac{P(B_n \cap A)}{P(A)} \text{ dengan ketentuan bahwa } P(A) \neq 0 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$P(A | B_n) = \frac{P(A \cap B_n)}{P(B_n)} \text{ dengan ketentuan bahwa } P(B_n) \neq 0 \dots\dots\dots(2.16)$$

Teorema Bayes yang lebih lengkap dapat dinyatakan dengan menyamakan pembilang pada kedua persamaan (2.15) dan (2.16).

$P(B_n \cap A) = P(A \cap B_n)$ , sehingga diperoleh hubungan antara probabilitas kejadian bersyarat antara A dengan himpunan B secara bolak-balik berikut,

$$P(B_n | A) = \frac{P(A | B_n)P(B_n)}{P(A)} \dots\dots\dots(2.17)$$

Berdasarkan hubungan probabilitas A dengan probabilitas kejadian bersyarat sebagai berikut,

$$P(A) = \sum_n^N P(A | B_n)P(B_n) \dots\dots\dots(2.18)$$

sehingga persamaan kompleknya adalah sebagai berikut,

$$P(B_n | A) = \frac{P(A | B_n)P(B_n)}{P(A | B_1)P(B_1) + P(A | B_2)P(B_2) + \dots + P(A | B_N)P(B_N)} \dots\dots\dots(2.19)$$

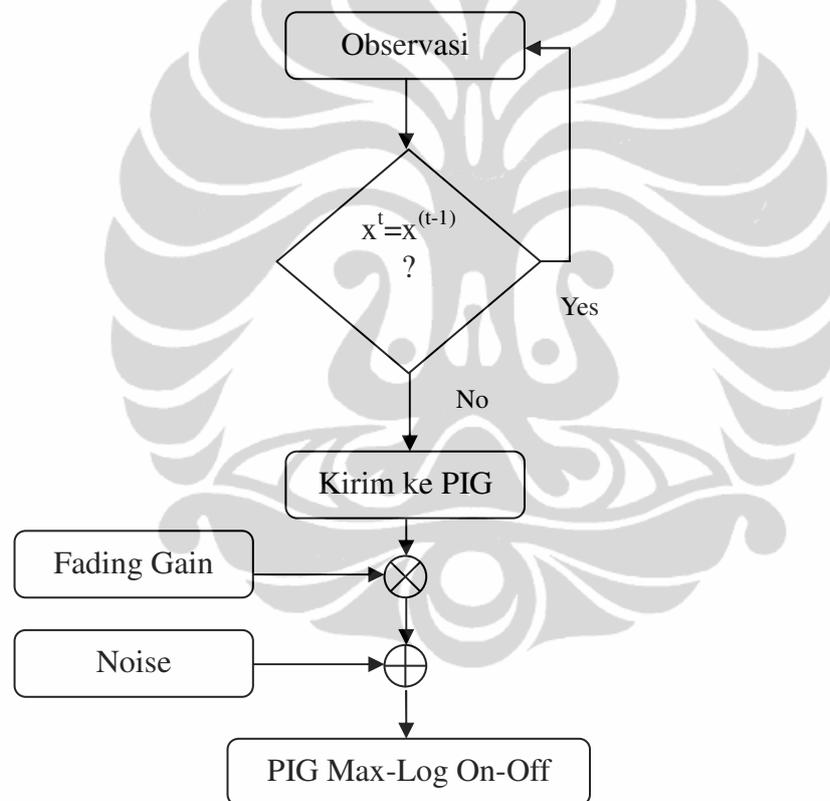
## BAB 3

### METODOLOGI ATURAN MAX-LOG ON-OFF

Pada studi literatur [6][7], diketahui bahwa aturan fusion max-log yang paling baik kinerjanya di semua nilai SNR. Sebelum menentukan rancangan max-log on-off yang diusulkan, pertama adalah menentukan aturan fusion yang optimal.

#### 3.1 ALUR DIAGRAM

Rancangan alur diagram dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Alur Diagram Max-Log On-Off.

Awal siklus dimulai dengan observasi yang dilakukan oleh tiap-tiap sensor. Dari observasi diperoleh sebuah keputusan  $x^t$  berupa bilangan biner, selanjutnya keputusan  $x^t$  dibandingkan dengan keputusan sebelumnya  $x^{(t-1)}$ . Jika keputusan sebelumnya sama dengan keputusan saat ini,  $x^t = x^{(t-1)}$ , maka sensor akan melakukan observasi dan pada waktu  $t$ , sensor tidak mengirim keputusan ke PIG. Sebaliknya jika  $x^t \neq x^{(t-1)}$  maka sensor mengirim ke PIG.

Selama informasi dikirim melalui kanal transmisi, dalam rancangan ini, sinyal dipengaruhi oleh fading gain dan noise. Dengan parameter ini diharapkan bahwa proses transmisi dimodelkan layaknya transmisi pada aplikasi yang sesungguhnya.

Setelah sinyal diterima di PIG, sinyal tersebut diolah menggunakan aturan Max-Log. Aturan Max-log dipilih karena berdasarkan literatur [6][7], aturan ini mempunyai kinerja paling baik disemua rentang nilai SNR.

### 3.2 PEMODELAN SISTEM

Seperti pada Bab 2, JSN mempunyai tiga bagian yaitu; sensor, kanal, dan PIG. Untuk memodelkan tiap bagian dijelaskan pada sub bab 3.2.1 sampai sub bab 3.2.3.

#### 3.2.1 Sensor

Jumlah seluruh sensor adalah  $K$ . Tiap sensor melakukan observasi pada kondisi hipotesis tertentu. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa tiap observasi saling bebas satu dengan yang lain. Setelah melakukan observasi, tiap sensor  $k$  menentukan keputusan  $x_k$ .  $x_k$  bernilai 1 jika diputuskan  $H_1$ , dan sebaliknya  $x_k$  bernilai -1 jika diputuskan  $H_0$ , dengan  $k=1,2\dots K$ , banyaknya sensor yang melakukan observasi. Kinerja deteksi tiap sensor dapat diwakili dengan probabilitas sinyal palsu dan probabilitas deteksi itu sendiri yang dinotasikan dengan  $P_{fk}$  dan  $P_{dk}$ .  $P_{fk}$  dan  $P_{dk}$  adalah fungsi dari SNR.

#### 3.2.2 Kanal

Tiap sensor  $k$  mengirimkan keputusan melalui kanal fading secara saling bebas. Pada penelitian ini kanal diasumsikan adalah flat fading antara sensor dan PIG. Asumsi ini dapat diterima karena jarak yang pendek sehingga memiliki *delay* yang kecil dan *bit rate* yang rendah karena batasan daya yang digunakan. Sebagai pengaruh dari kanal fading yaitu model disederhanakan sebagai perkalian skalar dengan sinyal yang ditransmisikan sebagai bilangan biner. Bilangan skalar dinotasikan dengan  $h_k$ . Untuk mewakili kehadiran *noise* pada kanal, diasumsikan dengan simbol  $n_k$  yang merupakan additive Gaussian noise. Untuk menyederhanakan model, *noise* diasumsikan memiliki varian yang sama untuk

tiap kanal. Persamaan matematik untuk model ini sesuai dengan persamaan 2.5.

### 3.2.3 FIG

Atas dasar informasi  $y_k$  dari seluruh sensor  $k$ , pusat gabungan akan memutuskan hipotesis yang mana yang dianggap benar. Penentuan keputusan ini dengan mengevaluasi statistik sinyal  $y_k$ .

### 3.3 ATURAN FUSION OPTIMAL

Aturan fusion optimal adalah aturan yang diperoleh secara teori matematis yang paling ideal. Aturan ini digunakan untuk memperoleh hipotesis  $H$  berdasarkan pada observasi  $y$ , dimana  $y$  terdiri dari observasi tiap-tiap sensor,  $y_1, y_2, \dots, y_K$ . Jumlah sensor adalah  $K$ . Dirumuskan sesuai persamaan 3.1,

$$H_{opt} = \arg \max_{H_i, i \in M} \{ \log(P(H_i | y)) + \alpha_i \} \dots \dots \dots (3.1)$$

$H_{opt}$  adalah keputusan yang dihasilkan. Operator *arg max*, digunakan untuk mencari nilai maksimum dari probabilitas hipotesis yang ada. Jumlah kemungkinan hipotesis adalah  $M$ , dengan masing-masing hipotesis di indeks dengan  $i$ . Variabel  $\alpha_i$  adalah bias, yang digunakan untuk memprioritaskan hipotesis tertentu. Sebagai contoh sebuah aplikasi tertentu, telah ditentukan bahwa keputusan dianggap benar jika  $P(H_{opt} = H_o | H_o) = x$  untuk hipotesis  $H_o$ , dimana  $0 < x < 1$ . Untuk memenuhi karakteristik ini maka bisa ditentukan nilai  $\alpha_i = 1$ . Namun tentunya dengan berbagai batasan-batasan yang tidak dibahas dalam makalah ini. Contoh yang lebih aplikatif adalah sensing 16pectrum pada kognitif radio yang lebih mementingkan faktor alarm palsu dari pada faktor kesalahan pada proses deteksi.

Dengan menggunakan aturan Bayes, (3.1) diperoleh,

$$\begin{aligned} H_{opt} &= \arg \max_{H_i, i \in M} \{ \log(P(H_i | y)) + \alpha_i \} \\ H_{opt} &= \arg \max_{H_i, i \in M} \{ \log(P(y | H_i) P(H_i)) + \alpha_i \} \\ H_{opt} &= \arg \max_{H_i, i \in M} \{ \sum_{k=1}^K \log(P(y_k | H_i)) + \log(P(H_i)) + \alpha_i \} \dots \dots \dots (3.2) \end{aligned}$$

Dari (3.2) terlihat bahwa noise pada tiap sensor saling bebas. Selanjutnya untuk pdf  $P(\mathbf{y}_k|H_i)$  pada sensor  $k$  dapat diperluas menjadi,

$$P(\mathbf{y}_k|H_i) = \sum_{x_k \in K} P(\mathbf{y}_k|x_k)P(x_k|H_i) \dots\dots\dots (3.3)$$

Sehingga (3.2) menjadi

$$H_{opt} = \arg \max_{H_i, i \in M} \{ \sum_{k=1}^K \log (\sum_{x_k \in K} P(\mathbf{y}_k|x_k)P(x_k|H_i)) + \beta_i \} \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan,

$$\beta_i = \log (P(H_i) + \alpha_i)$$

Sedangkan *probabilitas density function* (pdf) untuk  $P(\mathbf{y}_k|x_k)$ , adalah

$$P(\mathbf{y}_k|x_k) = \frac{1}{\pi\sigma_n^2} \exp\left(-\frac{|y_k - \sqrt{P}h_k x_k|^2}{\sigma_n^2}\right) \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan  $x_k$  adalah keputusan yang dihasilkan dari observasi tiap sensor  $k$ . Untuk hipotesis biner ,  $M = 2$ , dan modulasi 2-PSK, yaitu masing-masing symbol  $x$  direpresentasikan sebagai  $x = \pm 1$ . Dan pada persamaan (3.4) hipotesis akan bernilai  $H_1$ , jika LLR  $\Lambda_{opt}$  melampaui batas  $\tau_0$ . Dimana  $\tau_0 = \beta_0 - \beta_1$ , dan hipotesis akan bernilai  $H_0$  jika sebaliknya. Sedangkan

$$\Lambda_{opt} = \sum_{k=1}^K \lambda_{opt,k}$$

dengan,

$$\begin{aligned} \lambda_{opt,k} &= \log \left( \frac{p(\mathbf{y}_k|1)P_k(1|H_1)+p(\mathbf{y}_k|0)P_k(0|H_1)}{p(\mathbf{y}_k|1)P_k(1|H_0)+p(\mathbf{y}_k|0)P_k(0|H_0)} \right) \\ &= \log \left( \frac{P_{d,k}e^{z_k}+(1-P_{d,k})e^{-z_k}}{P_{f,k}e^{z_k}+(1-P_{f,k})e^{-z_k}} \right) \dots\dots\dots (3.6) \end{aligned}$$

Dimana  $z_k = 2\text{Real}(\sqrt{P}h_k^* y_k) / \sigma_n^2$ . Dari (3.6),  $P_{d,k}$  adalah probabilitas deteksi dan  $P_{f,k}$  adalah probabilitas alarm palsu.

Dalam prakteknya aturan fusion optimal sulit untuk dipraktekan karena (3.6) merupakan fungsi eksponensial yang bersifat dinamis khususnya pada nilai SNR menengah ke atas, yaitu  $P \frac{\sigma_k^2}{\sigma_n^2} \gg 1$ , untuk tiap sensor  $k$ .

### 3.4 ATURAN MAX-LOG

Aturan max-log terinspirasi dari literature Turbo-Coding [14] yaitu,

$$\log \left( \sum_{i=1}^N B_i e^{A_i} \right) = \log(e^{A_i + \log(B_i)})$$

$$\approx \max_{i \in \{1, 2, \dots, N\}} \{A_i + \log(B_i)\} \dots \dots \dots (3.7)$$

Pendekatan menggunakan literature Turbo-Coding dapat dijelaskan sebagai berikut, fungsi  $\sum_{i=1}^N$ , mewakili jumlah sensor yang melakukan observasi. Sementara fungsi logaritma untuk menskala nilai perbandingan pada rentang nilai tertentu. Adapun  $e$ , merepresentasikan batas maksimum suatu model atau nilai saturasi pada saat jumlah sensor tak hingga. Sehingga nilai logaritma tersebut dapat diperoleh dari nilai maksimal dari penjumlahan nilai pangkat dari  $e$ .

Jika diperhatikan (3.4) adalah setipe dengan (3.7). Dan untuk SNR yang tinggi pdf  $P(\mathbf{y}_k | x_k), x_k \in \mathbf{X}$  akan menjadi dominan. Dan selanjutnya (3.2) dapat dibentuk menjadi,

$$H_{opt} = \arg \max_{H_i, i \in M} \left\{ \sum_{k=1}^K \max_{x_k \in \mathbf{X}} \left\{ \left( -\frac{|y_k - \sqrt{P}h_k x_k|^2}{\sigma_n^2} + \log(P(H_i)) \right) + \alpha_i \right\} \right\}$$

$$\dots \dots \dots (3.8)$$

Maka untuk hipotesis biner LLR  $\Lambda_{max-log} = \sum_{k=1}^K \lambda_{max-log,k}$ , dapat diperoleh dengan menyederhanakan seperti pada (3.6),

$$\lambda_{max-log,k} = \log \left( \frac{\max(P_{d,k} e^{z_k} + (1 - P_{d,k}) e^{-z_k})}{\max(P_{f,k} e^{z_k} + (1 - P_{f,k}) e^{-z_k})} \right) \dots \dots \dots (3.9)$$

Selanjutnya dengan menyederhanakan (3.9) ke dalam bentuk lain, maka diperoleh,

$$\lambda_{max-log,k} = \begin{cases} \beta_{1,k} & z_k < \gamma_{1,k} \\ 2z_k + \beta_{2,k} & \gamma_{1,k} \leq z_k < \gamma_{2,k} \\ \beta_{3,k} & z_k \geq \gamma_{2,k} \end{cases} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana,  $\beta_{1,k} = \log((1 - P_{d,k}) / (1 - P_{f,k}))$ ,  $\beta_{2,k} = \log((P_{d,k}) / (1 - P_{f,k}))$ ,  $\beta_{3,k} = \log((P_{d,k}) / (P_{f,k}))$ ,  $\gamma_{1,k} = \log((1 - P_{d,k}) / (P_{d,k})) / 2$ , dan  $\gamma_{2,k} = \log((1 - P_{f,k}) / (P_{f,k})) / 2$ . Dari uraian di atas maka terlihat bahwa max-log tidak mengandung fungsi eksponensial, dengan demikian akan lebih mudah dalam implementasi dalam alat.

**3.5 PENDEKATAN NUMERIK**

Untuk menyederhanakan proses perhitungan, dimisalkan ada dua hipotesis,  $M = 2$ , yaitu  $M = \{0,1\}$ . Untuk menentukan probabilitas deteksi benar dan probabilitas kesalahan deteksi pada (Pusat Informasi Gabungan) PIG, maka diketahui lebih dahulu probabilitas deteksi,  $P_{d,k}$  dan probabilitas kesalahan deteksi,  $P_{f,k}$  pada tiap sensor. Misalkan  $P_{d,k} \geq 0,5$  dan  $P_{f,k} \leq 0,5$  sehingga variabel  $\gamma_{1,k} \leq 0$  dan  $\gamma_{2,k} \geq 0$ .

Dengan pendekatan LLR  $\Lambda_w = \sum_{k=1}^K \lambda_{w,k}$  dan batas keputusan  $\tau_0$ , maka probabilitas deteksi dan kesalahan deteksi pada PIG dapat dirumuskan,

$$P_{f0} = \Pr \{-\Lambda_w < -\tau_0 | H_0\} \text{ dan}$$

$$P_{d0} = \Pr \{-\Lambda_w < -\tau_0 | H_1\} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan  $\tau_0$  adalah batas untuk mendapat nilai probabilitas. Untuk mencari pdf,  $p_w(u|H_i)$ , dari probabilitas di atas, digunakan tranformasi Laplace, yaitu

$$P_{yi} = \int_{-\infty}^{-\tau_0} p_w(u|H_i) du$$

$$= \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \Phi_w(s|H_i) e^{-\tau_0 s} \frac{ds}{s}, i \in M \dots\dots\dots (3.12)$$

Variabel  $c$  adalah konstanta positif di dalam ROC dari integral.  $y_0 = f_0$  dan  $y_1 = d_0$ . Dengan mengasumsikan bahwa kanal antar sensor- PIG adalah saling bebas, maka

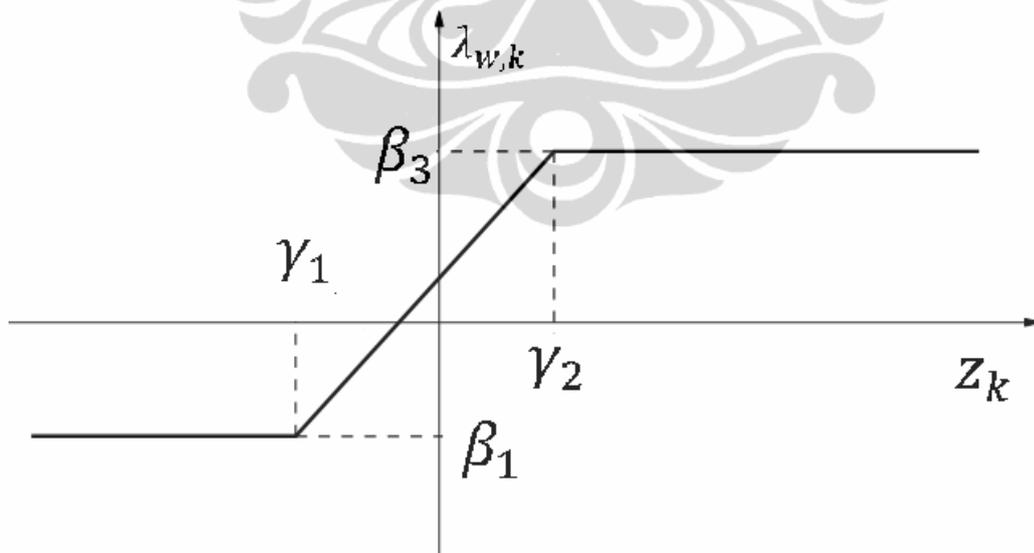
$$\Phi_w(s|H_i) = \prod_{k=1}^K \Phi_{w,k}(s|H_i), i \in M \dots\dots\dots (3.13)$$

dengan  $\Phi_{w,k}(s|H_i)$  adalah hasil transformasi Laplace dari pdf  $-\lambda_{w,k}$  dari hipotesis  $H_i$ .  $\Phi_{w,k}(s|H_i)$  dapat ditulis sebagai,

$$\Phi_{w,k}(s|H_i) = (1 - P_{y_{k,i}}) \Phi_{w,k}(s|x_k = -1) + (P_{y_{k,i}}) \Phi_{w,k}(s|x_k = 1), i \in M \quad (3.14)$$

Indek  $y_{k,0} = f_k$  dan  $y_{k,1} = d_k$ , sementara  $\Phi_{w,k}(s|x_k)$  adalah hasil transformasi Laplace dengan diberikan variabel  $x_k$ .

Nilai  $\Phi_{w,k}(s|x_k)$  merupakan fungsi  $z_k$  yang dapat direpresentasikan dengan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Daerah integral yang merupakan fungsi  $z_k$ [7].

Sementara transformasi Laplace untuk  $\Phi_{w,k}(s|x_k)$  adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \Phi_{w,k}(s|x_k) &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{s\lambda_{w,k}} p(z_k) dz_k \\ &= \\ &\frac{c_k}{v_{i,k}} e^{s\beta_{1,k} + v_{i,k}\gamma_{1,k}} + e^{s\beta_{2,k}} \frac{c_k}{2s + v_{i,k}} (1 - e^{(2s + v_{i,k})\gamma_{1,k}}) + \\ &e^{s\beta_{2,k}} \frac{c_k}{2s - v_{j,k}} (e^{(2s + v_{j,k})\gamma_{2,k}} - 1) + \frac{c_k}{v_{j,k}} e^{s\beta_{3,k} - v_{j,k}\gamma_{2,k}} \dots\dots\dots(3.15) \end{aligned}$$

Dimana  $(i, j) = (1, 2)$  untuk  $x = -1$  dan  $(i, j) = (2, 1)$  untuk  $x = 1$ . Variabel  $c_k = \frac{v_{1,k}v_{2,k}}{v_{1,k} + v_{2,k}}$ .

Dari [6] pada persamaan (19) ditunjukkan  $p(z_k)$ , yaitu

$$p(z_k) = \frac{v_{1,k}v_{2,k}}{v_{1,k} + v_{2,k}} (e^{v_{1,k}z_k} u[z_k] + e^{v_{2,k}z_k} u[-z_k]) \dots\dots\dots(3.16)$$

Variabel  $u[z_k]$  dan  $u[-z_k]$  adalah menunjukkan masing-masing domain  $z_k > 0$  dan  $z_k \leq 0$ . Dengan,

$$v_{1,2,k} = \sqrt{1 + \frac{\sigma_n^2}{P\sigma_k^2}} \mp 1 \dots\dots\dots(3.17)$$

$v_{1,2,k}$  adalah variabel yang merupakan fungsi dari daya P, varian noise,  $\sigma_n^2$ , dan varian gain pada tiap kanal,  $\sigma_k^2$ .  $v_1$  dan  $v_2$  menunjukkan daya pada masing-masing pada saat  $x_k = 1$  dan dan  $x_k = -1$ .

Pada [7],  $P_{fk}$  dan  $P_{dk}$  ditentukan bernilai sama pada setiap sensor. Namun, pada kenyataannya sensor akan mempunyai nilai  $P_{fk}$  dan  $P_{dk}$  yang berbeda-beda. Hal ini realistis karena boleh jadi jarak sensor dari target adalah bervariasi. Oleh karena itu, dalam riset ini digunakan fungsi jarak terhadap target untuk menentukan nilai  $P_{fk}$  dan  $P_{dk}$ .

$$\begin{aligned} P_{fk} &= \int_T^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \dots\dots\dots(3.18) \\ &= Q(T) \end{aligned}$$

Dan

$$P_{dk} = \int_T^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-a_k)^2}{2}} dt \dots\dots\dots(3.19)$$

$$= Q(T - a_k)$$

**3.6 SKENARIO ON-OFF**

Nilai  $a_k$  seperti pada (2.2), merupakan fungsi dari  $d_k$ . Sedangkan nilai  $d_k$  ditentukan secara acak. Alasan dibuat secara acak adalah target yang diasumsikan berpindah-pindah sedangkan sensor tetap. Sehingga menghasilkan jarak target dengan sensor yang berubah-ubah. Nilai  $d_k^t = d_k^{(t-1)}$ , akan menghasilkan nilai  $P_{fk}$  dan  $P_{dk}$  yang sama, pada saat ini sensor tidak melakukan transmisi ke PIG, dengan kata lain transmisi Off. Sedangkan transmisi On, adalah sebaliknya.

**3.6.1 On**

Jika diasumsikan bahwa target berpindah maka

$$d_{k,1} \neq d_{k,2} \dots\dots\dots(3.20)$$

Dengan  $d_{k,1}$  dan  $d_{k,2}$  masing-masing adalah jarak sensor  $k$  dengan target pada  $t=1$  dan pada  $t=2$ .

Nilai  $d_k$  yang berubah akan menyebabkan sinyal yang diterima oleh sensor  $k$  dari target juga berubah,

$$a_{k,1} \neq a_{k,2} \dots\dots\dots(3.21)$$

Sesuai persamaan 3.18 dan 3.19 , jika nilai sinyal  $a_k$  yang berubah, akan mempengaruhi nilai probabilitas dari  $Pd$  dan  $Pf$  sensor  $k$ , yaitu,

$$P_{fk,1} \neq P_{fk,2}$$

$$P_{dk,1} \neq P_{dk,2} \dots\dots\dots(3.22)$$

Dengan memasukkan masing-masing nilai  $P_{fk,2}$  dan  $P_{dk,2}$  pada persamaan 3.10 dan 3.14, maka akan diperoleh bahwa

$$\Phi_{w,k,1}(s|H_i) \neq \Phi_{w,k,2}(s|H_i) \dots\dots\dots(3.23)$$

Nilai  $\Phi_{w,k,2}(s|H_i)$  akan digunakan sebagai komponen integrasi pada proses

perhitungan untuk memperoleh keputusan global  $P_{y_0}$  dan  $P_{d_0}$  di PIG.

### 3.6.2 Off

Jika diasumsikan bahwa target tidak berpindah maka

$$d_{k,1} = d_{k,2} \dots\dots\dots(3.24)$$

Nilai  $d_k$  yang tidak berubah dan diasumsikan kondisi lingkungan  $\alpha$  adalah konstan maka sinyal yang diterima akan tetap sama

$$a_{k,1} = a_{k,2} \dots\dots\dots(3.25)$$

Sesuai persamaan 3.18 dan 3.19 , jika nilai sinyal  $a_k$  yang tetap, maka nilai probabilitas dari  $P_d$  dan  $P_f$  sensor  $k$ , yaitu,

$$\begin{aligned} P_{fk,1} &= P_{fk,2} \\ P_{dk,1} &= P_{dk,2} \dots\dots\dots(3.26) \end{aligned}$$

Dengan memasukkan masing-masing nilai  $P_{fk,2}$  dan  $P_{dk,2}$  pada persamaan 3.10 dan 3.14, maka akan diperoleh bahwa

$$\Phi_{w,k,1}(s|H_i) = \Phi_{w,k,2}(s|H_i) \dots\dots\dots(3.27)$$

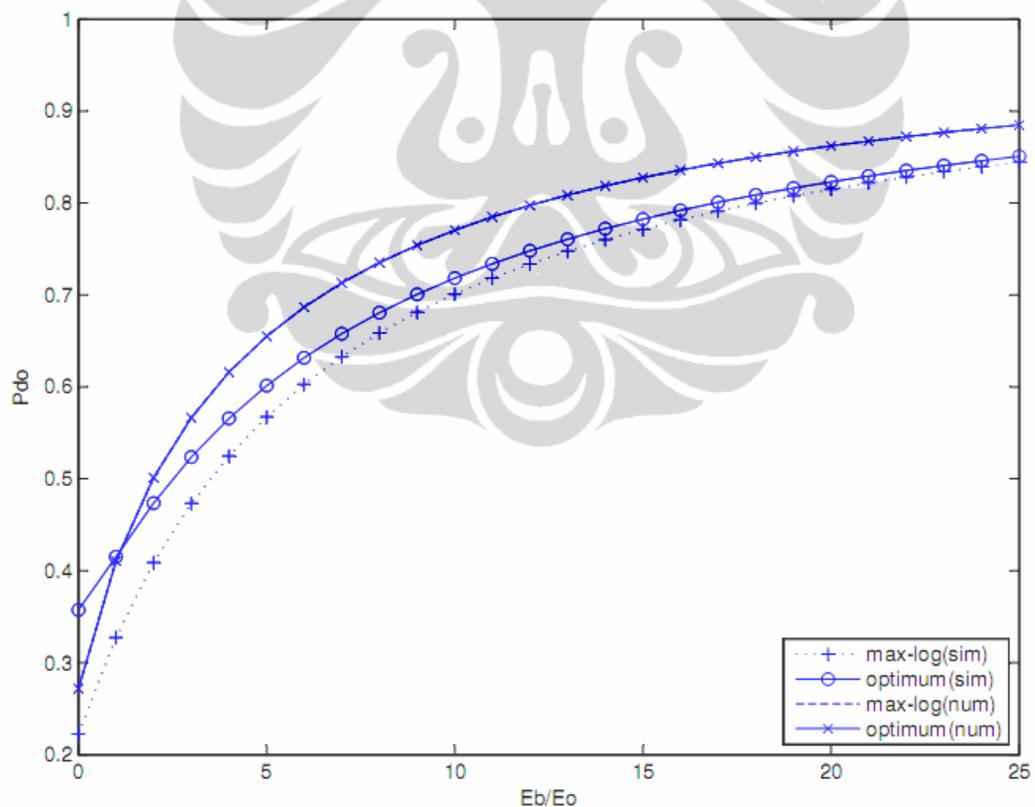
Karena nilai  $\Phi_{w,k,2}(s|H_i)$  sama dengan  $\Phi_{w,k,1}(s|H_i)$  , transmitter sensor  $k$  tidak melakukan pengiriman. Sehingga untuk memperoleh nilai  $\Phi_{w,k}(s|H_i)$  pada sensor  $k$ , digunakan  $\Phi_{w,k}(s|H_i) = \Phi_{w,k,1}(s|H_i)$ . Dengan kata lain PIG harus menyimpan nilai  $\Phi_{w,k}(s|H_i)$  dari tiap sensor pada  $t-1$ .

## BAB 4

### HASIL SIMULASI DAN ANALISI

#### 4.1 Aturan Gabungan Optimum LLR dan Max-Log

Pada [7] telah disebutkan bahwa aturan gabungan max-log adalah yang terbaik yaitu paling mendekati dengan perhitungan optimal. Pada Gambar 4.1, dihasilkan simulasi antara perhitungan optimal dan simulasi menggunakan aturan max-log. Dengan probabilitas sinyal palsu dan probabilitas deteksi pada tiap-tiap sensor, masing-masing yaitu  $P_{fk} = 0.05$ ,  $P_{dk}=0.5$ . Dimana, Pusat Informasi Gabungan disimulasikan memperoleh sinyal dari 5 sensor. Pada Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan hasil simulasi dan perhitungan teori antara optimal LLR (Log Likelihood Ratio) dan max-log.



Gambar 4.1. Perbandingan simulasi dan perhitungan antara max-log dan optimal LLR (Log Likelihood Ratio).  $P_{fk} = 0.05$ ,  $P_{dk} = 0.5$  dan jumlah sensor 5.

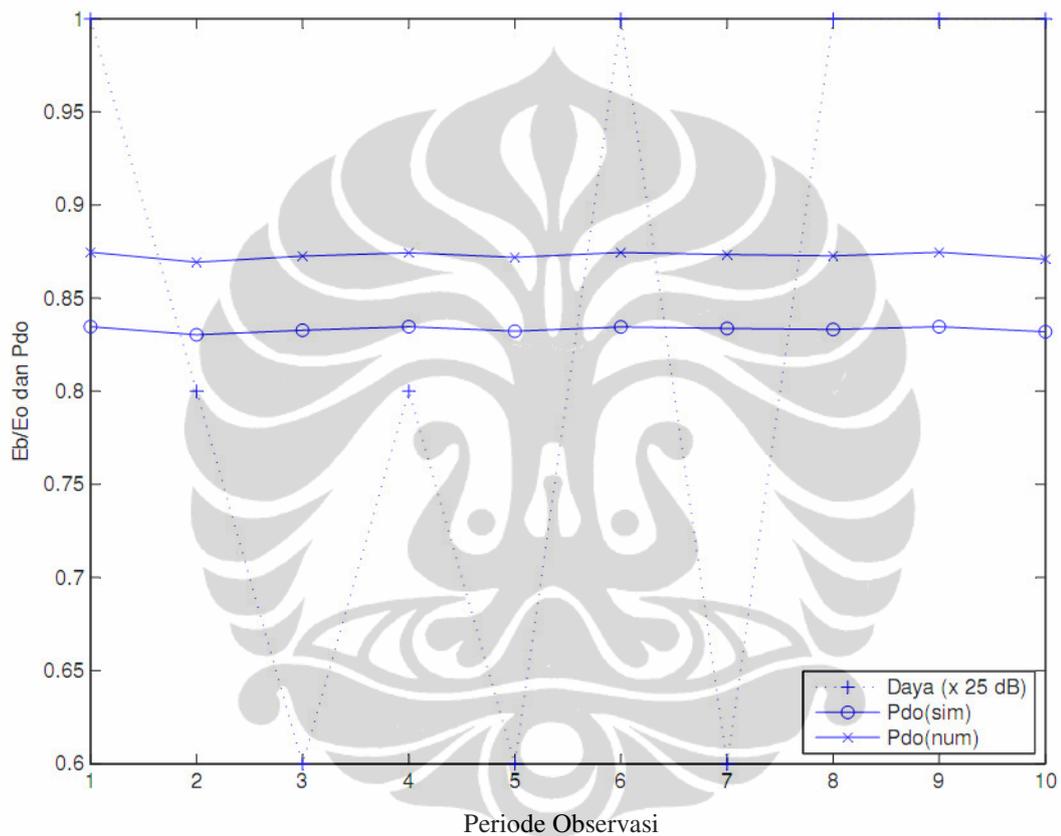
Dari hasil simulasi pada Gambar 4.1, dapat terlihat bahwa probabilitas deteksi di PIG,  $P_{d0}$ , semakin besar seiring dengan bertambahnya daya yang digunakan. Dapat disebutkan pula, bahwa semakin besar daya yang digunakan max-log semakin optimum yaitu ditandai dengan berhimpitnya kurva max-log dengan kurva simulasi optimal LLR. Sedangkan, untuk hasil teori, baik max-log dan optimal LLR berhimpit pada semua rentang nilai  $E_b/E_0$ . Pada daya 25 dB dihasilkan  $P_{d0}$  sebesar 0.84 yang dapat diartikan bahwa nilai kepercayaan atas keputusan yang diambil oleh PIG bernilai 0,84.

#### 4.2 Max-Log On Off

Pada [6][7], aturan max-log disimulasikan menggunakan besar nilai  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  yang tetap. Pada kondisi nyata, sangat kecil kemungkinannya bahwa tiap sensor menghasilkan  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  yang konstan sepanjang periode observasi. Menggunakan persamaan 3.18 dan 3.19, dapat diperoleh  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  yang berbeda tiap-tiap sensor.  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  yang berbeda dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, sensitifitas sensor, dan jarak sensor dengan target. Untuk mewakili parameter-parameter tersebut, pada (2.2) diformulasikan bahwa kondisi lingkungan dan sensitifitas sensor diwakili oleh faktor redaman  $\alpha$  dan jarak  $d$ . Pada simulasi ini, digunakan  $\alpha = 60$  sedangkan  $d$  diperoleh secara acak menggunakan distribusi normal.

Pada kondisi nyata,  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  yang dihasilkan tiap sensor mempunyai kemungkinan melakukan observasi pada kondisi yang sama dengan periode sebelumnya walau tidak setiap saat. Observasi yang sama ditandai dengan nilai  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  yang sama dengan waktu sebelumnya, demikian pula sebaliknya. Max-Log On-Off akan memberlakukan sensor  $k$  tidak mengirimkan sinyal ke PIG jika  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  bernilai sama dengan waktu sebelumnya, sebaliknya jika  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  tidak sama dengan waktu sebelumnya, sensor  $k$  akan mengirim sinyal ke PIG. Sensor yang tidak melakukan pengiriman sinyal akan berguna sebagai bentuk penghematan energi pada sisi sensor. Sedangkan PIG menentukan keputusan pada periode tersebut adalah dengan menggunakan informasi sensor  $k$  pada periode sebelumnya yang telah disimpan oleh PIG.

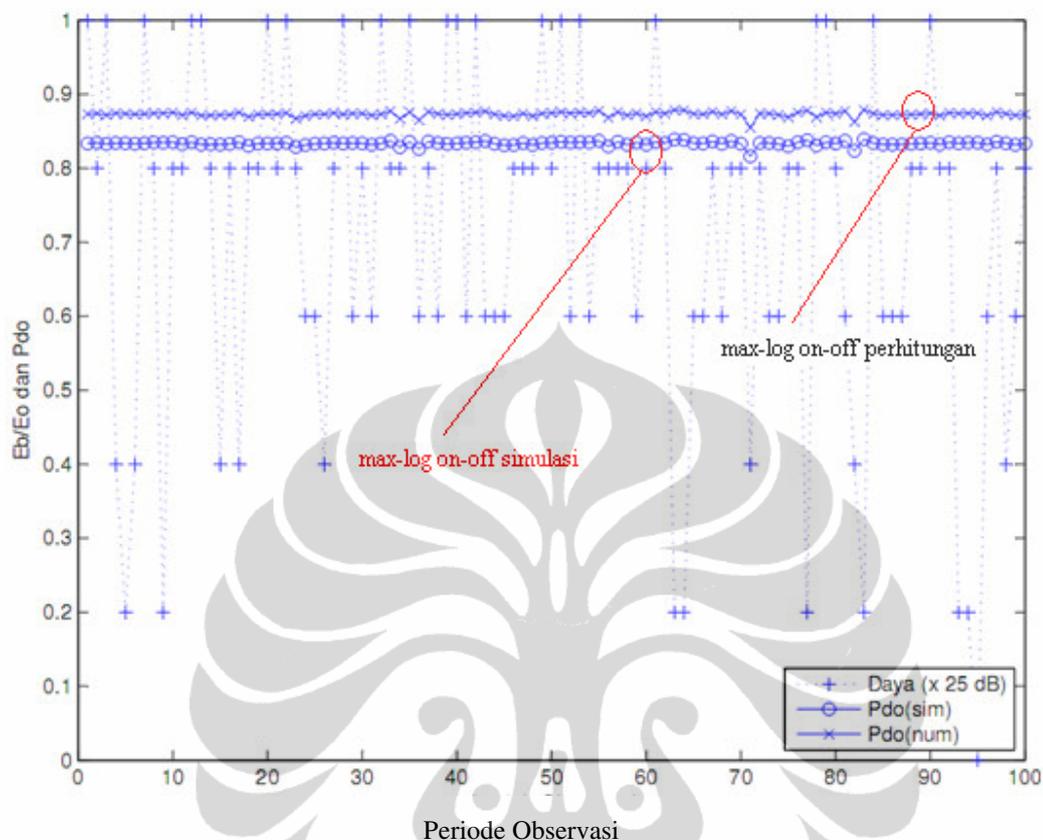
Untuk mengetahui kinerja deteksi sensor dengan aturan Max-Log On-Off dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada Gambar 4.2, dapat dilihat perbandingan antara  $Pd_0$  hasil simulasi dan hasil perhitungan serta total daya yang digunakan oleh sensor pada periode observasi  $t$ . Simulasi menggunakan parameter yaitu daya maksimum 25 dB dalam 10 kali observasi. Sensor yang digunakan berjumlah 5 sedangkan  $P_{dk}$  dan  $P_{fk}$  berkisar pada 0.5 dan 0.05. Periode observasi adalah selisih waktu yang digunakan untuk sensor melakukan observasi berikutnya.



Gambar 4.2. Kinerja deteksi  $Pd_0$  terhadap total daya yang digunakan pada 10 kali observasi.

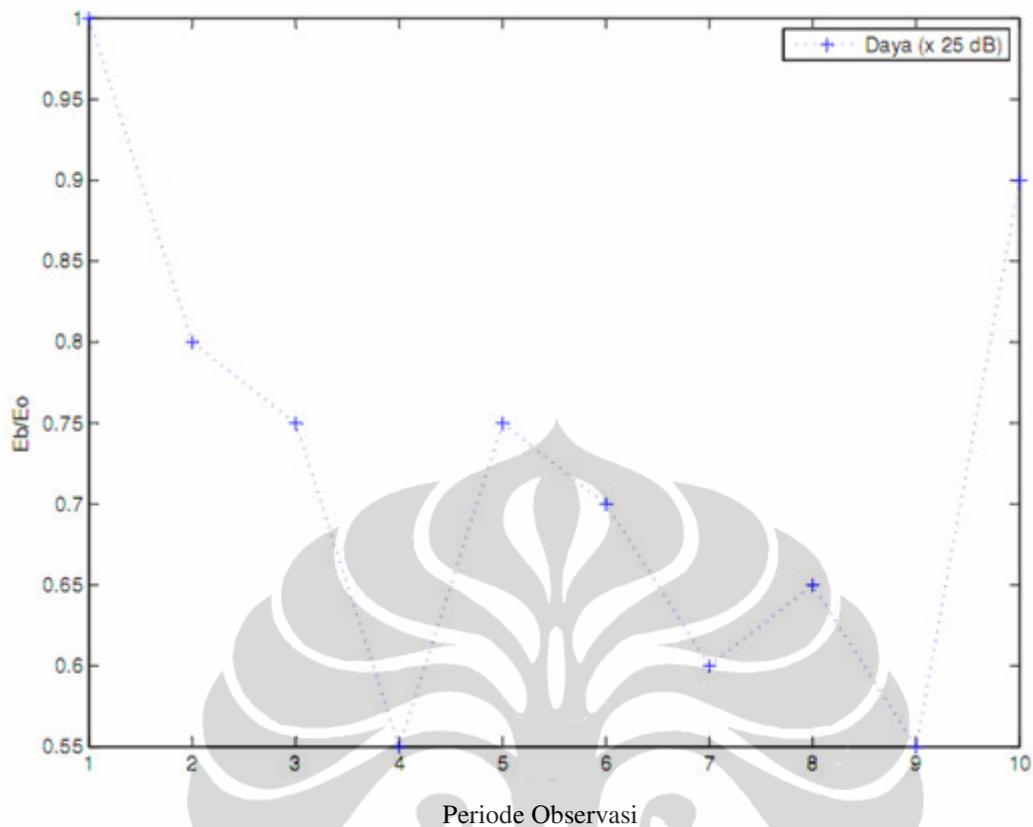
Dari hasil simulasi ( $Pdo-sim$ ) pada Gambar 4.2, diperoleh bahwa kinerja simulasi Max-log On-off relatif stabil dengan probabilitas deteksi  $Pd_0$  berkisar 0.84, sekalipun daya total yang diterima berfluktuasi yaitu relatif lebih kecil dari 25 dB (daya maksimumnya). Sebagai referensi, hasil perhitungan ( $Pdo-num$ ) menunjukkan kinerja yang lebih baik dari simulasi ( $Pdo-sim$ ), hal ini sesuai dengan grafik pada Gambar 4.1.. Hasil yang sama juga diperoleh ketika jumlah observasi diperbanyak hingga 100 kali, yaitu kinerja Max-log On-off relatif stabil,

seperti pada Gambar 4.3. Sedangkan max-log on-off perhitungan adalah sebagai referensi terhadap hasil simulasi.



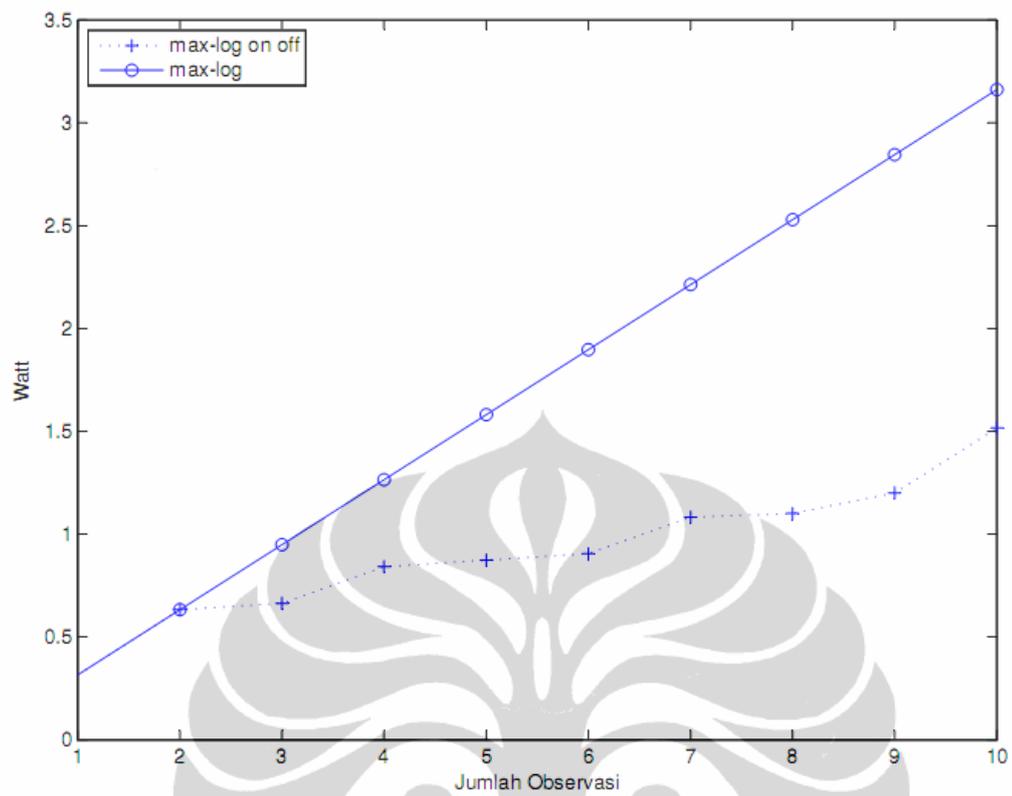
Gambar 4.3. Kinerja deteksi  $Pd_0$  terhadap total daya yang digunakan pada 100 kali observasi.

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat daya total yang digunakan pada tiap-tiap observasi. Titik yang rendah mengindikasikan bahwa tidak semua sensor mengirim ke PIG. Dengan kata lain daya yang digunakan pada periode tersebut dihemat (berkurang). Sementara, fluktuasi dari grafik tersebut menggambarkan dinamika deteksi pada tiap-tiap sensor. Grafik daya total pada Gambar 4.4 yang berfluktuasi menggambarkan bahwa jumlah total daya yang digunakan pada tiap kali observasi berbeda-beda. Grafik total daya yang turun secara fisik menandakan bahwa ada sejumlah sensor yang menghasilkan observasi yang sama dengan observasi periode sebelumnya. Sebaliknya, grafik total daya yang menanjak secara fisik menandakan bahwa ada sejumlah sensor yang mengalami perubahan hasil observasi dengan periode observasi sebelumnya. Simulasi ini menggunakan 20 sensor dengan daya maksimum 25 dB.



Gambar 4.4. Fluktuasi daya pada 10 kali observasi menggunakan 20 sensor.

Untuk membuktikan bahwa Max-Log On-Off lebih hemat dari Max-Log murni, dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada 10 kali observasi dapat dilihat bahwa Max-Log murni, akumulasi penggunaan dayanya adalah linier, sedangkan Max-Log On-Off pertambahannya relatif lebih landai. Untuk menghitung daya, diasumsikan bahwa daya yang diterima PIG adalah sebanding dengan daya yang dipancarkan oleh sensor maka untuk menghitung akumulasi total daya pada tiap periode merupakan penjumlahan dari total daya yang digunakan pada tiap periode sebelumnya. Dari hasil simulasi pada Gambar 4.5 terlihat bahwa selisih daya untuk max-log murni dengan max-log on-off pada observasi ke-10 adalah lebih dari 1,5 watt.

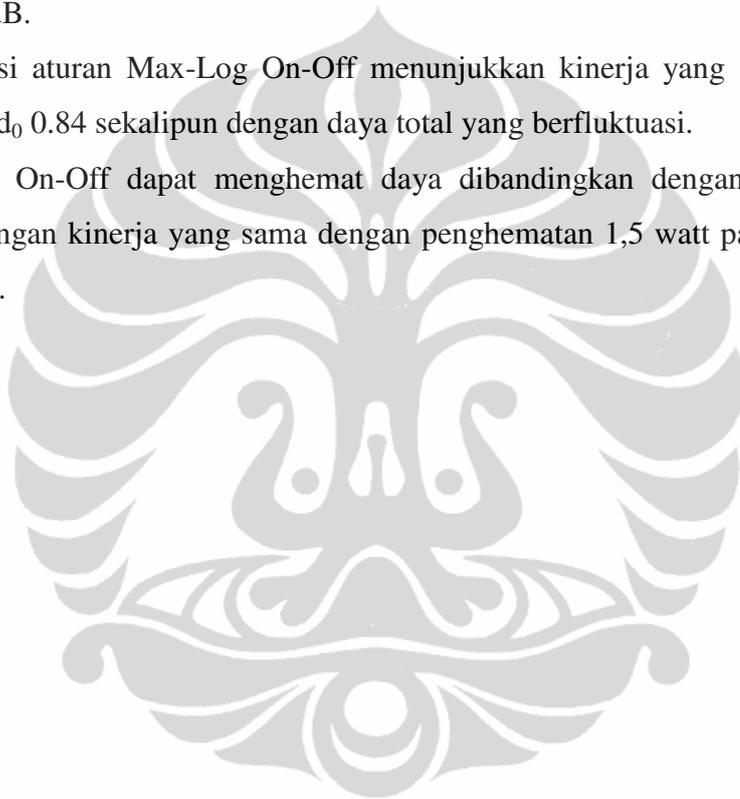


Gambar 4.5. Perbandingan konsumsi daya Max-Log On-Off dan Max-Log murni.

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Menggunakan aturan gabungan Max-Log semakin besar daya yang digunakan maka semakin besar pula probabilitas deteksi sebesar 0,84 pada daya 25 dB.
2. Kombinasi aturan Max-Log On-Off menunjukkan kinerja yang stabil pada dengan  $P_{d0}$  0.84 sekalipun dengan daya total yang berfluktuasi.
3. Max-Log On-Off dapat menghemat daya dibandingkan dengan Max-Log murni dengan kinerja yang sama dengan penghematan 1,5 watt pada 10 kali observasi.



## DAFTAR ACUAN

- [1] Yang Yu, Viktor K Prasanna, and Bhaskar Krishnamachari, "Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks", Singapore : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2006.
- [2] Jun Zheng, Abbas Jamalipour, "Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective", IEEE Communication, Networking & Broadcasting, 2009.
- [3] Biao Chen, Ruixiang Jiang, Teerasit Kasetkasem, and Pramod K Varshney, "Channel Aware Decision Fusion in Wireless Sensor Network", IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 52 No 12, Dec 2004.
- [4] Tsang-Yi Wang, Qi Cheng, "Collaborative Event-Region and Boundary-Region Detection in Wireless Sensor Network", IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 56 No. 6, June 2008.
- [5] Ruixin Niu, Biao Chen, Pramod K. Varshney, "Fusion of Decisions Transmitted Over Rayleigh Fading Channels in Wireless Sensor Networks", IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 54, NO. 3, MARCH 2006.
- [6] Andre Lei, Robert Schober, "Coherent Max-log Decision Fusion in Wireless Sensor Networks", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 58, NO. 5, MAY 2010.
- [7] Andre Lei, Robert Schober, "Multiple-Symbol Differential Decision Fusion for Mobile Wireless Sensor Networks", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 9, NO. 2, February 2010.
- [8] Eni Dwi Wardihani, Wirawan, "ANALISA KINERJA SISTEM DETEKSI TERDISTRIBUSI PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL", Thesis Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2008, ISSN: 1907-5022, pp D13-D14.
- [9] Ruixin Niu and Pramod K. Varshney, "DECISION FUSION IN A WIRELESS SENSOR NETWORK WITH A RANDOM NUMBER OF SENSORS", Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on Volume: 4, 2005, Page(s): iv/861 - iv/864 Vol. 4
- [10] D.Li, K.D. Wong, Y.H. Hu and A.M Sayeed, "Detection, classification and Tracking of Targets", IEEE Signal Processing Magazine, 19(3):17-29, Mar, 2002

- [11] Jintae Park, Eunchan Kim, and Kiseon Kim, "Large-Signal Robustness of the Chair-Varshney Fusion Rule Under Generalized-Gaussian Noises", *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 10, NO. 9, SEPTEMBER 2010
- [12] Anand Sarwate, and Michael Gastpar, "Little Feedback Can Simplify Sensor Network Cooperation", *IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS*, VOL. 28, NO. 7, SEPTEMBER 2010.
- [13] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy aware wireless microsensor networks," *IEEE Signal Process. Mag.*, pp. 40–50, Mar. 2002.
- [14] P. Hoeher, P. Robertson, and E. Villebrun, "A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, June 1995, pp. 1009–1013.

