



**TUGAS AKHIR - TE 091399**  
**DETEKSI SINYAL AKUSTIK YANG DITIMBULKAN KAPAL**  
**MENGGUNAKAN PENDEKATAN HIDDEN MARKOV TREE**  
**(HMT)**

Musa Ibrahim  
NRP 2208100047

**Dosen Pembimbing**  
Dr. Ir. Wirawan, DEA  
Ir. Endang Widjiati, M.Eng.Sc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



**FINAL PROJECT - TE 091399**

**ACOUSTIC SIGNAL DETECTION CAUSED BY SHIP USING  
HIDDEN MARKOV TREE (HMT) APPROACH**

Musa Ibrahim  
NRP 2208100047

**Supervisor**

Dr. Ir. Wirawan, DEA  
Ir. Endang Widjiati, M.Eng.Sc.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014

# DETEKSI SINYAL AKUSTIK YANG DITIMBULKAN KAPAL MENGUNAKAN PENDEKATAN HIDDEN MARKOV TREE (HMT)

Nama : Musa Ibrahim  
Pembimbing : Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Ir. Endang Widjiati, M.Eng.Sc.

## ABSTRAK

Dengan banyaknya penerapan di dunia nyata, deteksi akustik bawah air telah dipelajari selama beberapa dekade, dan masih menjadi masalah terbuka. Bidang akustik bawah air berhubungan erat dengan bidang studi akustik lain, yang meliputi sonar, pemrosesan sinyal akustik, oseanografi akustik, *bioacoustic*, dan *physical acoustic*. Masalah muncul ketika algoritma pemrosesan sinyal dan kriteria deteksi tradisional, yang biasa diasumsikan sebagai noise Gaussian, menghadapi lingkungan non-Gaussian dalam akustik bawah air. Untuk itu, berbagai macam metode deteksi mulai dikembangkan dalam lingkungan non-Gaussian. Pada Tugas Akhir ini, akan dibahas metode untuk mendeteksi sinyal yang terpancar oleh kapal. Penguraian *wavelet* dari sinyal bawah air menghasilkan sebuah struktur pohon, yang lebih jauh lagi dimodelkan dengan Hidden Markov Tree (HMT). HMT ini merepresentasikan sinyal dan parameter-parameternya. *Likelihood* yang didefinisikan pada parameter lalu dianalisa dan membentuk sebuah kriteria deteksi baru. Hasil percobaan menunjukkan tingkat kebenaran deteksi mencapai 86%.

Kata kunci : Deteksi, akustik bawah air, HMT

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## ***ACOUSTIC SIGNAL DETECTION CAUSED BY SHIP USING HIDDEN MARKOV TREE (HMT) APPROACH***

Name : Musa Ibrahim  
Supervisor : Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Ir. Endang Widjiati, M.Eng.Sc.

### ***ABSTRACT***

*With so many real-world application, the detection of underwater acoustics has been studied for decades, and is still an open issue. Field of underwater acoustics is closely related to other fields of study acoustics, which include sonar, acoustic signal processing, acoustic oceanography, bioacoustic, and physical acoustic. The problem arises when the signal processing algorithms and traditional detection criteria, which is assumed to be Gaussian noise, facing a non-Gaussian environment in underwater acoustics. For that reason, a variety of detection methods were developed in non-Gaussian environment. Wavelet decomposition of underwater signal produces a tree structure, which is further modeled by Hidden Markov Tree (HMT). HMT represents signals and parameters. Likelihood which is defined in the parameter then analyzed and forming a new detection criteria. The experimental results show 86 % probability of detection.*

..

*Keywords : detection, underwater acoustic, HMT*

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

**DETEKSI SINYAL AKUSTIK YANG DITIMBULKAN KAPAL  
MENGUNAKAN PENDEKATAN HIDDEN MARKOV TREE  
(HMT)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Wirawan, DEA.**

**NIP. 196311091989031011**

**Ir. Endang Widjiati, M.Eng.Sc.**

**NIP. 196712291987012001**



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, syukur yang tiada henti penulis panjatkan ke hadirat *gusti* Allah SWT serta tidak lupa sholawat salam semoga tetap tercurah kepada *kanjeng* nabi Muhammad SAW, demikianlah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

### **DETEKSI SINYAL AKUSTIK YANG DITIMBULKAN KAPAL MENGGUNAKAN PENDEKATAN HIDDEN MARKOV TREE (HMT)**

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang harus ditempuh untuk menyelesaikan program studi *Strata-I* di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari jika dalam penulisan buku ini masih terdapat kekurangan, baik dalam segi penulisan maupun analisis yang dilakukan. Untuk itu saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan, agar dapat melakukan yang lebih baik lagi di masa yang akan datang. Besar harapan bahwa buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya, dan kepada mahasiswa teknik elektro pada khususnya.

Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah turut serta dalam penyelesaian tugas akhir ini, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan kalian, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Bapak Mustafa dan Ibu Hakimah selaku orang tua penulis, juga Hj.Khadijah nenek Penulis, serta Halimatul Kamila selaku adik penulis yang selalu menjadi motivasi terbesar dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro FTI ITS Surabaya.
3. Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA dan Ibu Ir. Endang Widjiati, M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing, atas petunjuk, arahan, dan dukungan selama penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Suwadi, MT., Bapak Dr. Ir. Endroyono, DEA, Bapak Ir. Djoko Suprajitno Rahardjo, MT. dan Bapak Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji, atas saran dan kritik yang membangun untuk tugas akhir ini sehingga menjadi lebih baik.



5. Bapak dan Ibu Dosen di lingkungan ITS khususnya Jurusan Teknik Elektro FTI ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan, nasehat, serta waktunya dengan ikhlas.
6. Bapak dan Ibu staf pengajaran dan karyawan di lingkungan ITS khususnya Jurusan Teknik Elektro FTI ITS yang telah membantu segala urusan administrasi selama perkuliahan.
7. Teman-teman elektro Botang, Mbah, Fadil, Epundud, Kembon, Galang, Harno, Kenyuk, Sangkil, Cecep, Lek Thunk, Mas Gigo, Mbahaji, Mas Akbar, Mas Cupu, Mas Aceng, Mas Rukin, Mas Haze, Mas Oka dan Lek Dojeng yang selalu memberi semangat menemani di masa akhir tugas akhir.
8. Teman-teman e48, baik alumni maupun sisa e48 yang selalu menghibur dan memberi semangat selama kuliah di Teknik Elektro ITS, semoga persahabatan ini tetap terjaga sampai kapanpun.
9. Serta semua pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa diucapkan satu persatu.

Surabaya, Juni 2014

Musa Ibrahim

# TABLE OF CONTENTS

	<b>Halaman</b>
Cover .....	i
Statement of Authenticity.....	v
Approval Sheet .....	vii
<i>Abstrak</i> .....	ix
Abstract .....	xi
Preface .....	xiii
Table of Contents .....	xiii
List of Figures .....	xvii
List of Tables .....	xix
CHAPTER 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Background .....	1
1.2 Problem's Formulation .....	2
1.3 Problem's Limitation .....	2
1.4 Purpose .....	2
1.5 Methodology .....	2
1.6 Structure of Report .....	3
1.7 Relevance .....	4
CHAPTER II BASIC THEORY .....	5
2.1 Underwater Acoustic .....	5
2.2 Underwater Detection .....	5
2.3 Water as a Acoustic Media .....	6
2.3.1 Speed of Sound in Water .....	6
2.3.2 Temperature Distribution .....	9
2.3.3 Limitation of Sea Water .....	9
2.3.4 Signal Propagation Path .....	10
2.3.5 Signal Suppression .....	11
2.3.6 Transmission Loss .....	12
2.4 Underwater Noise .....	14
2.5 Spectrogram .....	15
2.6 Discrete Wavelet Transform .....	17
2.7 Modeling based on Hidden Markov Tree (HMT) .....	20
2.7 Detection Decision .....	22
2.7.1 Neyman – Pearson Hypothesis Testing .....	23
2.7.2 Likelihood Ratio Test .....	24

CHAPTER III MODELING AND SIMULATION .....	25
3.1 Data Collection .....	29
3.2 Data Selection .....	29
3.3 Data Processing .....	30
3.4 Data Plotting .....	30
3.5 Discrete Wavelet Transform .....	31
3.6 HMT Modeling .....	31
3.7 Neyman-Pearson Hypothesis Simulation .....	32
3.8 Likelihood Ratio Test Simulation .....	32
3.9 Spectrogram Making .....	33
CHAPTER IV ANALYSIS OF SIMULATION RESULT .....	35
4.1 Signal Data .....	35
4.2 Spectrogram .....	36
4.3 Sampling and DWT Results .....	37
4.4 Transition Probability and Variance of HMT .....	39
4.5 Probability of Detection (Pd) and Probability of False Alarm (Pfa) Analysis .....	40
4.6 Likelihood Ratio Test .....	40
4.7 Threshold Determination .....	40
4.8 Simulation Result Analysis.....	41
CHAPTER V CLOSING .....	49
5.1 Conclusion .....	49
5.2 Suggestion .....	49
REFERENCES .....	51
APPENDIX .....	53
BIOGRAPHY .....	71

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
Halaman Judul .....	i
Lembar Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....	v
Lembar Pengesahan .....	vii
Abstrak .....	ix
<i>Abstract</i> .....	xi
Kata Pengantar .....	xiii
Daftar Isi .....	xv
Daftar Gambar .....	xvii
Daftar Tabel .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Laporan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
BAB II TEORI PENUNJANG .....	5
2.1 Akustik Bawah Air ( <i>Underwater Acoustic</i> ) .....	5
2.2 Deteksi Bawah Air .....	5
2.3 Air Sebagai Media Akustik .....	6
2.3.1 Kecepatan Suara pada Medium Air .....	6
2.3.2 Distribusi Temperatur .....	9
2.3.3 Batasan Perairan Laut .....	9
2.3.4 Jalur Propagasi Sinyal .....	10
2.3.5 Peredaman Sinyal .....	11
2.3.6 <i>Transmission Loss</i> .....	12
2.4 Noise Bawah Air ( <i>Underwater Noise</i> ) .....	14
2.5 <i>Spectrogram</i> .....	15
2.6 <i>Discrete Wavelet Transform</i> .....	17
2.7 Pemodelan berbasis <i>Hidden Markov Tree</i> (HMT) .....	20
2.8 Pengambilan Keputusan Deteksi ( <i>Detection Decision</i> ) .....	22
2.8.1 Uji Hipotesis Neyman – Pearson .....	23
2.8.2 <i>Likelihood Ratio Test</i> .....	24

BAB III PEMODELAN DAN SIMULASI .....	25
3.1 Tahapan Pengambilan Data .....	29
3.2 Pemilihan Data .....	29
3.3 Pengolahan Data .....	30
3.4 Plot Data .....	30
3.5 <i>Discrete Wavelet Transform</i> .....	31
3.6 Pemodelan HMT terhadap Koefisien Wavelet .....	31
3.7 Simulasi Hipotesis <i>Neyman-Pearson</i> .....	32
3.8 Simulasi <i>Likelihood Ratio Test</i> .....	32
3.9 Pembuatan <i>Spectrogram</i> .....	33
BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI .....	35
4.1 Plot Data Sinyal .....	35
4.2 Plot Spectrogram .....	36
4.3 Plot Hasil Sampling dan Hasil DWT .....	37
4.4 Plot Probabilitas Transisi dan Variansi HMT .....	39
4.5 Analisis <i>Probability of Detection (Pd)</i> dan <i>Probability of False Alarm (Pfa)</i> .....	40
4.6 <i>Likelihood Ratio Test</i> .....	40
4.7 Penentuan <i>Threshold</i> .....	40
4.8 Analisis Hasil Simulasi .....	41
BAB V PENUTUP .....	49
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	51
LAMPIRAN: <i>Listing</i> Program .....	53
RIWAYAT PENULIS .....	71

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 4.1 Hasil Deteksi Sampel Sinyal Uji <i>Ocean Noise</i> .....	41
Tabel 4.2 Hasil Deteksi Sampel Sinyal Kapal <i>Ferry</i> .....	42
Tabel 4.3 Hasil Deteksi Sampel Sinyal Kapal Barang.....	43
Tabel 4.4 Hasil Deteksi Sampel Sinyal Kapal Kecil .....	44
Tabel 4.5 Hasil Deteksi Sampel Sinyal Baling-baling Kapal .....	46
Tabel 4.6 Rangkuman Hasil Deteksi Macam-macam Suara.....	47

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	<i>Sound speed profile</i> di lautan secara umum.....	8
Gambar 2.2	<i>Path</i> propagasi dasar di laut: (a) <i>Direct Path (DP)</i> ; (b) <i>Surface Duct (SD)</i> ; (c) <i>Bottom Bounce (BB)</i> ; (d) <i>Convergence Zone (CZ)</i> ; (e) <i>Deep Sound Channel (DSC)</i> dan (f) <i>Reliable Acoustic Path (RAP)</i> .....	10
Gambar 2.3	Ilustrasi <i>Geometric Spreading Loss</i> (a) <i>Spherical Spreading</i> dan (b) <i>Cylindrical Spreading</i> .....	13
Gambar 2.4	Generalisasi level spektral <i>ocean ambient noise</i> untuk situs perairan dalam dengan penerima terletak pada kedalaman 1000 m.....	15
Gambar 2.5	Contoh sebuah <i>spectrogram</i> dengan dilengkapi <i>colorbar</i> .....	16
Gambar 2.6	Struktur vektor koefisien wavelet hasil DWT	19
Gambar 2.7	Penguraian wavelet hasil DWT dan struktur <i>tree</i> hasil DWT.....	19
Gambar 2.8	Struktur HMT.....	21
Gambar 3.1	Diagram alir pengerjaan.....	27
Gambar 3.2	Diagram alir proses pemodelan dan simulasi.....	28
Gambar 4.1	Sinyal <i>ocean ambient noise</i> (OCN).....	35
Gambar 4.2	Sinyal <i>ship-radiated noise</i> (SRN).....	36
Gambar 4.3	Spectrogram (a) sinyal OCN dan (b) sinyal SRN	37
Gambar 4.4	Sinyal (a) hasil sampling dan (b) hasil DWT OCN.....	38
Gambar 4.5	Sinyal (a) hasil Sampling dan (b) hasil DWT SRN.....	38
Gambar 4.6	Probabilitas transisi HMT $\varepsilon_{i,parent(i)}^{mn}$ tiap level $S_i$ ketika state $m$ dengan $S_{parent(i)}$ ketika state $n$ (a) $m,n=H,H$ (b) $m,n=H,L$ (c) $m,n=L,H$ dan (d) $m,n=L,L$ .....	39
Gambar 4.7	Probabilitas variansi HMT $\sigma_{i,m}$ tiap level $S_i$ ketika state $m$ (a) $m=H$ dan (b) $m=L$ .....	39



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Underwater Acoustic* atau akustik bawah air adalah studi tentang propagasi suara dalam air dan interaksi dari gelombang mekanik suara dengan air dan batas-batasnya. Proses deteksi yang merupakan isu yang penting dalam penelitian akustik bawah air. Dengan banyaknya penerapan di dunia nyata, deteksi akustik bawah air telah dipelajari selama beberapa dekade, dan masih menjadi masalah terbuka. Bidang akustik bawah air berhubungan erat dengan bidang studi akustik lain, yang meliputi sonar, pemrosesan sinyal akustik, oseanografi akustik, *bioacoustic*, dan *physical acoustic*.

Masalah muncul ketika algoritma pemrosesan sinyal dan kriteria deteksi tradisional, yang biasa diasumsikan sebagai noise Gaussian, menghadapi lingkungan non-Gaussian dalam akustik bawah air. Berbagai macam kriteria deteksi mulai dikembangkan dalam lingkungan non-Gaussian, di antaranya, perbandingan macam-macam detektor sinyal dalam bidang akustik bawah air (model *generalized Gaussian*, *generalized Cauchy*, dan *Gaussian mixture*), penentuan masalah deteksi sinyal acak waktu-diskrit dengan kemunculan noise tambahan yang menunjukkan *weak dependence* atau ketergantungan lemah. Sebagai tambahan, pendekatan berbeda lain dikembangkan terhadap HMT menunjukkan hasil optimal asimtotik pada *Nyman-Pearson sense* untuk masalah *two class*.

Model Hidden Markov Tree (HMT) pada domain *wavelet* menunjukkan keuntungan dalam menghadapi sinyal non-Gaussian. Ketergantungan statistik antar koefisien *wavelet* dimodelkan sebagai sebuah struktur pohon. Pada Tugas Akhir ini, *ambient noise* direpresentasikan sebagai HMT pada domain *wavelet*. HMT tersebut lebih jauh digunakan untuk mengklasifikasikan sebuah pengamatan sinyal baru. Oleh karena itu, *likelihood* pengamatan sinyal baru terhadap HMT tersebut, yaitu *ambient noise*, dapat diperoleh. Dengan menggunakan *likelihood* sebagai statistic uji, kriteria klasik Nyman-Pearson dapat digunakan untuk merancang detektor *constant false alarm rate* (CFAR).

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat disusun perumusan masalah dalam Tugas Akhir ini yang kemudian dianalisis sesuai metodologi yang telah ditetapkan. Adapun rumusan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana HMT digunakan untuk merepresentasikan sebuah sinyal.
2. Bagaimana perbedaan parameter HMT ambient noise dan ship noise.
3. Bagaimana deteksi sinyal yang terpancar oleh obyek dilakukan dengan menggunakan parameter HMT.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk pemfokusan permasalahan dalam Tugas Akhir ini, beberapa batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut :

1. *Software* yang dipergunakan untuk simulasi adalah *Matlab*.
2. Obyek yang dideteksi yaitu kapal.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari deteksi sinyal.dengan pendekatan HMT.
2. Membandingkan parameter HMT sinyal ambient ocean noise dan ship noise.
3. Membuat keputusan deteksi (*detection decision*) tentang muncul atau tidaknya target.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini digunakan metodologi sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan Tugas Akhir. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, proceeding, dan artikel-artikel di internet.

### 2. Penentuan Pemodelan Noise dan Deteksi dengan Parameter HMT

Pada tahap ini dilakukan penentuan pemodelan yang bertujuan untuk mencari dan mengimplementasikan parameter-parameter apa saja yang akan digunakan.

3. **Perekaman Data**  
Pada tahap ini dilakukan perekaman data yang bertujuan untuk merekam data yang akan digunakan untuk simulasi.
4. **Simulasi**  
Simulasi adalah proses integrasi dan implementasi dari spesifikasi yang dibutuhkan serta data yang akan dimasukkan dan yang ingin didapatkan.
5. **Analisa Hasil**  
Analisa hasil bertujuan untuk membahas hasil yang didapat dari proses simulasi yang dilakukan.
6. **Kesimpulan**  
Kesimpulan bertujuan untuk menyimpulkan seluruh data dari seluruh kegiatan yang dilakukan dari awal hingga akhir.
7. **Penulisan Laporan**  
Penulisan Laporan bertujuan untuk menuliskan seluruh hasil dan kegiatan dalam bentuk laporan tugas akhir.

## 1.6 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- **Bab 1 : Pendahuluan**  
Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, sistematika penulisan, metodologi, dan relevansi.
- **Bab 2 : Teori Penunjang**  
Bab ini menjelaskan tentang dasar-dasar teori yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yang meliputi teori dasar tentang akustik bawah air, penguraian wavelet, dan Hidden Markov Tree (HMT).
- **Bab 3: Pemodelan dan Simulasi**  
Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Output dari tahap ini adalah perhitungan dan model yang akan dianalisa
- **Bab 4 : Analisis Hasil Simulasi**  
Bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapat dari simulasi baik berupa grafik maupun tabulasi, selanjutnya dilakukan analisis serta pembahasan yang berorientasi pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.
- **Bab 5 : Penutup**

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

## **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dapat mengoptimalkan pendeteksian sinyal dengan akurasi tinggi dan cepat.
2. Menjadi referensi deteksi akustik bawah air untuk penelitian BPPT selanjutnya.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

Pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa teori yang digunakan sebagai landasan penulis dalam melakukan penelitian. Berikut akan dijelaskan tentang akustik bawah air, pengenalan noise bawah air, pemodelan berbasis *Hidden Markov Tree* (HMT), dan konsep deteksi menggunakan representasi HMT.

#### **2.1 Akustik Bawah Air (*Underwater Acoustic*)**

Pada dunia permukaan, kita bergantung berat pada optik dan penglihatan kita, dan sedikit sekali pada akustik dan pendengaran. Di dunia bawah air, terjadi hal yang sebaliknya. Pada daerah perairan pesisir, cahaya hanya berjalan relatif dengan jarak pendek (5-20m), maka hewan air memakai cahaya hanya untuk merasakan daerah lingkungan yang sangat dekat, sementara suara dapat berjalan dengan jarak jauh (1-1000km), dan memberitahu hewan air tentang hal dan peristiwa yang jauh. Ilmuwan juga mengambil keuntungan dari efisiensi berjalannya suara di laut, dan menggunakannya untuk menyelidiki dan mendengarkan fenomena jarak jauh.[1]

#### **2.2 Deteksi Bawah Air**

Dengan memanfaatkan gelombang suara yang berjalan di bawah air, pendeteksian terhadap benda-benda yang berada di air seperti kapal, kapal selam, dan perahu dapat dilakukan. Hal tersebut dapat dilakukan menggunakan dua cara, yaitu:

##### **a. Sonar Aktif**

Seperti halnya ketika kita menggunakan lampu senter untuk menyinari sekeliling kita ketika gelap, para ilmuwan menggunakan sistem sonar aktif untuk menembus ke dalam laut untuk menyelidiki berbagai hal berjarak ratusan, dan bahkan ribuan meter jauhnya. Sebuah transduser/sensor berfungsi sebagai *speaker* bawah air dan juga mikrofon, dan digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal akustik.

Di antara berbagai teknik, sinyal yang dikirim dapat berupa pulsa monotonik sederhana, atau pulsa yang membentuk kode yang kompleks (agak mirip dengan kode Morse). Begitu pulsa dikirim dan memancar jauh dari transduser, akan memantul pada objek dan struktur

di laut, dan kemudian merambat kembali menuju transduser yang sama dimana gelombang tekanan kembali terdeteksi.[1]

### **b.Akustik Pasif:Hidrofon.**

Jika penerima tidak mengirimkan sinyal tetapi hanya merekam gelombang tekanan yang diterima (pasif), maka hal tersebut efektif dilakukan dengan sebuah mikrofon bawah air, yang kita sebut hidrofon. Hidrofon digunakan untuk meneliti banyak suara alami di laut. Ini termasuk angin, gelombang, dan curah hujan pada permukaan laut, mesin kapal dan perahu, serta mamalia laut, yang menggunakan akustik untuk mencari makanan dan berkomunikasi.[1]

## **2.3 Air Sebagai Media Akustik**

Kita tahu bahwa suara berjalan. Seberapa cepat ia berjalan? Suara berjalan sekitar 1500 meter per detik dalam air laut. Suara berjalan jauh lebih lambat di udara, sekitar 340 meter per detik. [2]

Sayangnya, jawabannya adalah benar-benar tidak sesederhana itu. Kecepatan suara dalam air laut bukanlah nilai konstan. Hal itu bervariasi menurut dalam jumlah kecil (beberapa persen) dari satu tempat ke tempat, musim ke musim, pagi hingga sore hari, dan dengan kedalaman air. Meskipun variasi dalam kecepatan suara yang tidak besar, mereka memiliki efek penting pada bagaimana suara perjalanan di laut.

Apa yang membuat kecepatan suara berubah? Hal itu dipengaruhi oleh variabel oseanografi dari suhu, salinitas, dan tekanan. Kita bisa melihat efek dari masing-masing variabel pada kecepatan suara dengan memfokuskan pada satu titik di laut. Ketika oseanografer melihat perubahan sebuah variabel oseanografi pada kedalaman air, mereka menyebutnya profil.

### **2.3.1 Kecepatan Suara pada Medium Air**

Cepat rambat suara pada medium udara mencapai 340 m/s. Pada medium air, cepat rambat suara meningkat mencapai 1500 m/s [2]. Namun, cepat rambat suara pada medium air berubah-ubah mengikuti pergantian musim, perbedaan tempat, serta kedalaman laut/kolam. Kecepatan suara pada air laut berhubungan dengan kompresibilitas *isothermal* (pada suhu yang sama) seperti pada persamaan [3]

$$c = \sqrt{\frac{\gamma}{K\rho}} \quad 2.1$$

Dimana

$c$  = kecepatan suara (m/s)

$\gamma$  = rasio dari panas spesifik pada tekanan dan volume konstan

$K$  = kompresibilitas *isothermal* (m<sup>2</sup>/N)

$\rho$  = kerapatan air laut (kg/m<sup>3</sup>)

Selain itu, kecepatan suara juga dipengaruhi beberapa faktor lain seperti suhu air, salinitas, dan tekanan (atau kedalaman). Hubungan tersebut sesuai dengan persamaan berikut [4]:

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016D \quad 2.2$$

Dimana

$T$  = temperatur air (°C)

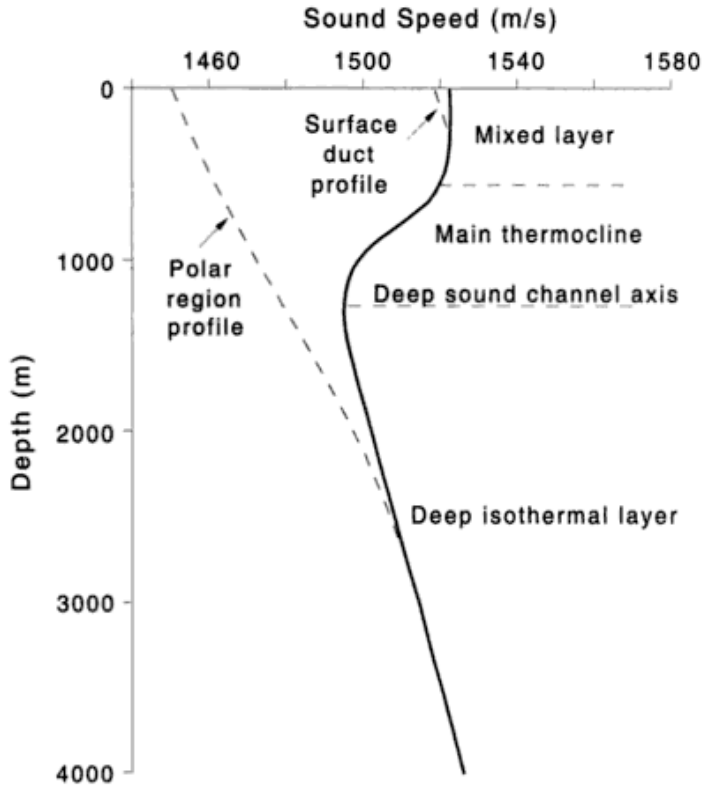
$S$  = Salinitas (ppt atau *part per thousand*)

$D$  = kedalaman (m)

Nilai kecepatan suara di suatu titik biasanya ditunjukkan dalam bentuk *sound speed profile* atau profil kecepatan suara berdasarkan kedalaman. Gambar 2.1 menunjukkan *sound speed profile* yang mengindikasikan variabilitas terbesar yang berada di dekat permukaan sebagai fungsi musim dan waktu pada hari, yaitu siang dan malam. Pada musim yang lebih hangat (atau waktu yang lebih hangat), suhu di permukaan akan meningkat dan sebagai akibatnya, kecepatan suara akan meningkat pada permukaan laut.

Pada daerah non-kutub, sifat-sifat oseanografis pada laut di dekat permukaan adalah hasil dari pencampuran antara aktivitas angin dan ombak pada *interface* air dan udara. *Mixed layer* ini mempunyai suhu yang konstan (kecuali dalam kondisi yang tenang dan hangat seperti yang dideskripsikan pada paragraf sebelumnya). Kemudian, pada *isothermal mixed layer* ini kecepatan suara akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman dikarenakan adanya efek gradien tekanan. Ini adalah daerah *surface duct*, dan keberadaannya bergantung pada kondisi oseanografis di dekat permukaan.





**Gambar 2.1** *Sound speed profile* di lautan secara umum [4]

Di bawah *mixed layer*, terdapat lapisan *thermocline* dimana suhu menurun sebanding dengan kedalaman dan oleh karena itu kecepatan suara juga menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Dibawah lapisan ini, suhu perairan konstan dan kecepatan suara meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan. Oleh karena itu, di antara daerah *deep isothermal* dan *mixed layer*, harus didapatkan kecepatan suara minimal yang sering merujuk pada *deep sound channel*. Namun demikian, pada daerah kutub, air di dekat permukaan adalah yang paling dingin, oleh karena itu kecepatan suara minimum terdapat pada *interface* air dan udara (atau es).

### 2.3.2 Distribusi Temperatur

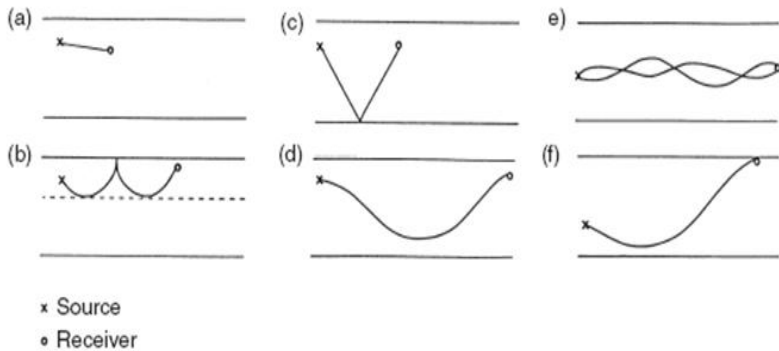
Distribusi temperatur yang terjadi di laut terbagi atas 3 lapisan, yaitu : *mixed layer*, *thermocline*, dan *deep isothermal layer* [4]. Pada lapisan *mixed layer*, besarnya temperatur dipengaruhi oleh cahaya matahari dan angin. Dibawah lapisan *mixed layer* merupakan lapisan *thermocline* dimana nilai temperatur pada lapisan ini berkurang secara signifikan akibat tidak lagi terpengaruhi oleh cahaya matahari. Lapisan yang paling bawah yakni lapisan *deep isothermal*, dimana nilai temperatur pada lapisan ini relatif stabil.

### 2.3.3 Batasan Perairan Laut

Pembatas perairan, yaitu permukaan dan dasar laut, dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap propagasi energi akustik yaitu melalui refleksi, penyebaran dan penyerapan [4]. Permukaan laut tidak hanya dapat memantulkan namun juga dapat menyebarkan suara. Jika permukaan laut sangat tenang dan tidak ada gelombang (datar), ia akan menjadi pemantul yang sempurna sehubungan dengan impedansi yang tidak sesuai pada *interface* air-udara. Jika permukaan laut menjadi tidak rata (kasar) karena adanya efek angin, maka *reflection loss* tidak lagi bernilai di kisaran nol.

Permukaan laut yang kasar ini biasanya dinyatakan dalam bentuk ketinggian gelombang. Namun, di laut, biasanya para pengamat cuaca mencatat kondisi angin dan bukan ketinggian gelombang. Hal ini dikarenakan telah ditemukan beberapa hubungan secara statistik antara kedua variabel tersebut, yaitu kondisi angin dapat mempengaruhi ketinggian gelombang, sehingga perhitungan mengenai ketinggian gelombang dapat dilakukan dengan memproses data mengenai kondisi angin.

Hampir sama dengan permukaan laut yang dapat memberikan pengaruh besar terhadap propagasi akustik, dasar laut juga dapat memantulkan dan menyebarkan sinyal suara. Namun, efeknya lebih rumit daripada permukaan laut karena dasar laut dapat terdiri dari beberapa lapisan yang mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Untuk lebih spesifik, dasar laut biasanya dapat terdiri dari berbagai macam lapisan, mulai dari batu yang keras hingga lumpur yang lembut. Masing-masing lapisan mempunyai kerapatan yang berbeda sehingga menyebabkan penyerapan yang berbeda-beda pula sehingga pemantulan dan penyebaran juga berbeda.



**Gambar 2.2** Path propagasi dasar di laut: (a) *Direct Path (DP)*; (b) *Surface Duct (SD)*; (c) *Bottom Bounce (BB)*; (d) *Convergence Zone (CZ)*; (e) *Deep Sound Channel (DSC)* dan (f) *Reliable Acoustic Path (RAP)*

Adapun penjelasan dari masing-masing lintasan propagasi bawah air tersebut adalah sebagai berikut :

*Direct Path* (Gambar 2.2a), yaitu lintasan propagasi bergerak melalui lintasan langsung (tidak ada pantulan).

*Surface Duct* (Gambar 2.2b), yaitu keadaan dimana permukaan air menjadi salah satu bidang pantul.

*Bottom Bounce* (Gambar 2.2c), yaitu keadaan dasar perairan juga menjadi salah satu bidang pantul.

*Convergence Zone* (Gambar 2.2d), yaitu keadaan dimana propagasi dalam laut terdapat daerah yang menyebabkan pembelokkan sinyal.

*Deep Sound Channel* (Gambar 2.2e), yaitu keadaan propagasi kanal suara pada kedalaman tertentu tidak mengalami pantulan.

*Reliable Acoustic Path* (Gambar 2.2f), yaitu keadaan dimana lintasan sinyal akustik dapat diandalkan atau sering terjadi di dalam laut.

### 2.3.4 Jalur Propagasi Sinyal

Sinyal akustik ditransmisikan melalui medium air laut dengan beberapa macam jalur (*path*). Jalur yang digunakan bergantung pada karakteristik kecepatan suara pada kolom air laut yang digunakan sebagai saluran transmisi dan posisi relatif penerima terhadap sumber

suara. Jalur tersebut yaitu *direct path*, *surface duct*, *bottom bounce*, *convergence zone*, *deep sound channel* dan *reliable acoustic path* [3]. Hal ini memungkinkan adanya pemakaian kombinasi dari beberapa *path* dalam teknik propagasi *multipath*.

### 2.3.5 Peredaman Sinyal

Dalam proses transmisinya, sinyal akustik juga tidak lepas dari pengaruh peredaman sinyal. Berikut ini adalah beberapa faktor yang mengakibatkan peredaman sinyal:

#### a. Redaman oleh Penyerapan dan Penyebaran

Saat suara berpropagasi di dalam lautan, beberapa bagian dari energi akustik terserap secara kontinyu, dalam hal ini misalnya berubah menjadi energi panas. Penyerapan ini sebagian diakibatkan oleh pergeseran viskositas air laut. Namun, viskositas volume yang berhubungan dengan proses pengenduran hanya berdampak pada frekuensi 100 Hz-100 KHz.

Alasan lain untuk penurunan intensitas suara di lautan dalam jarak tertentu adalah penyebaran (*scattering*) dari gelombang suara karena sifat non-homogen lautan. Biasanya efek kombinasi dari penyerapan dan penyebaran suara memungkinkan untuk diukur. Hal ini disebut peredaman sinyal.

Formula untuk menghitung koefisien redaman  $\beta$  di air laut pada frekuensi 3 KHz-500 MHz adalah [5]:

$$\beta = 8.68 \cdot 10^3 \left( \frac{SKf_T f^2}{f_T^2 + f^2} + \frac{Cf^2}{f_T} \right) (1 - 6.5 \cdot 10^{-4}P) \text{ (dB/km)} \quad 2.3$$

dimana  $K = 2.34 \cdot 10^{-6}$ ,  $C = 3.38 \cdot 10^{-6}$ ,  $S$  adalah salinitas (‰),  $P$  adalah tekanan hidrostatik ( $\text{kg/cm}^2$ ),  $f$  adalah frekuensi (kHz), dan  $f_T = 21.9 \cdot 10^{6-1520/(T+273)}$  adalah frekuensi pengenduran (kHz), serta  $T$  adalah suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Untuk frekuensi yang lebih rendah (100 Hz-3kHz) redaman suara  $\beta$  dapat ditentukan dengan menggunakan formula berikut;

$$\beta = \frac{0.11f^2}{1 + f^2} + \frac{44f^2}{4100 + f^2} \text{ (dB/km)} \quad 2.4$$

Penyerapan energi pada jarak  $D$  adalah

$$L_A(D) = 10^{-\left(\frac{D}{20000}\beta\right)} \quad 2.5$$

## b. Redaman oleh endapan

Suara yang berpropagasi diantara lapisan endapan pasti mendapat efek redaman. Secara matematis, redaman akustik ( $\alpha$ ) dinyatakan dalam bentuk eksponensial yaitu  $e^{-\alpha x}$  menggunakan satuan nepers (Np) per satuan jarak dari  $\alpha$ . Redaman akustik dapat dikonversi ke unit dB per meter menggunakan hubungan;

$$\alpha(\text{dB/m}) = 20(\log_{10} e)\alpha(\text{Np/m}) = 8.6859\alpha(\text{Np/m}) \quad 2.6$$

Beberapa model propagasi membutuhkan redaman yang harus dinyatakan dalam satuan dB per panjang gelombang ( $\lambda$ ):

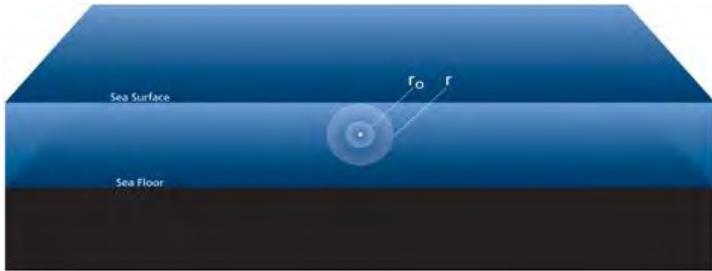
$$\alpha(\text{dB}\lambda^{-1}) = \lambda(m)\alpha(\text{dBm}^{-1}) \quad 2.7$$

### 2.3.6 Transmission Loss

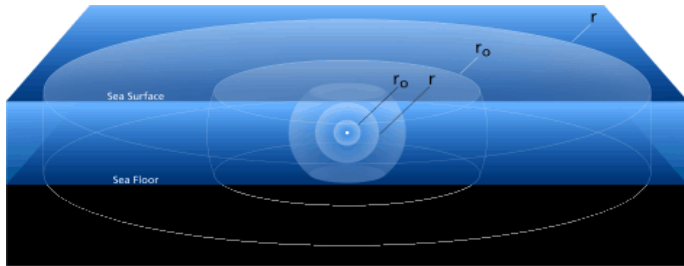
Sama seperti transmisi sinyal lainnya, sinyal akustik juga mengalami rugi-rugi dalam proses transmisinya. Rugi-rugi yang terjadi pada saat pengiriman sinyal akustik di bawah air dapat dikategorikan menjadi *spreading loss* dan *attenuation loss*. *Spreading Loss* adalah efek geometris yang mewakili melemahnya gelombang suara ketika ia menyebar keluar dari sebuah sumber. Hal ini menggambarkan pengurangan tekanan suara yang disebabkan oleh peningkatan luas permukaan seiring jarak dari sumber suara yang juga meningkat. Bentuk penyebaran silindris dan sferis adalah tipe *spreading loss* yang banyak dan biasa dipakai.

Pada Gambar 2.3, dapat dilihat mengenai mekanisme terjadinya *Spherical Spreading* maupun *Cylindrical Spreading*. Model (a) yaitu sinyal menyebar secara sferis dapat digunakan jika jarak transmisi, atau jari-jari lingkaran  $r$ , lebih kecil daripada kedalaman laut, contohnya ketika jarak transmisi sangat dekat dan transmisi terjadi di laut dalam. Sedangkan jika jarak transmisi jauh lebih besar daripada kedalaman lautan, maka model *spreading loss* yang digunakan adalah model silindris (b), contohnya ketika terjadi transmisi di laut dangkal sedangkan sinyal ditransmisikan dari jarak jauh, yaitu [4]

(a)



(b)



**Gambar 2.3** Ilustrasi *Geometric Spreading Loss* (a) *Spherical Spreading* dan (b) *Cylindrical Spreading*

$$TL = 10 \log_{10} r \quad 2.8$$

atau sebanding dengan

$$L_{CS} = \sqrt{\frac{1}{r}} \quad 2.9$$

dimana  $r$  = jarak (m)

Sedangkan yang termasuk *attenuation loss* adalah *loss* yang disebabkan absorpsi, kebocoran sinyal yang keluar dari saluran, penyebaran dan difraksi. Absorpsi atau penyerapan menjelaskan efek lautan yang menyebabkan intensitas suara yang berkurang karena terkonversi menjadi panas. Perhitungan pada rugi absorpsi (*absorption loss*) dinyatakan dalam dB per kilometer menggunakan simbol  $\alpha$  dengan

rentang frekuensi antara 20 Hz-60 KHz. Nilai  $\alpha$  bergantung pada frekuensi. Persamaan yang umum untuk menjelaskan hubungan antara keduanya adalah

$$\alpha = 1.0936 \left[ \frac{0.1f^2}{1 + f^2} + \frac{40f^2}{4100 + f^2} \right] \quad 2.10$$

dimana

$\alpha$  = koefisien atenuasi (dB/km)

$f$  = frekuensi (kHz)

Faktor senilai 1.0936 mengkonversikan rumus awal yang menggunakan satuan dB/kyard menjadi dB/km. Persamaan diatas berlaku untuk frekuensi dibawah 50 KHz.

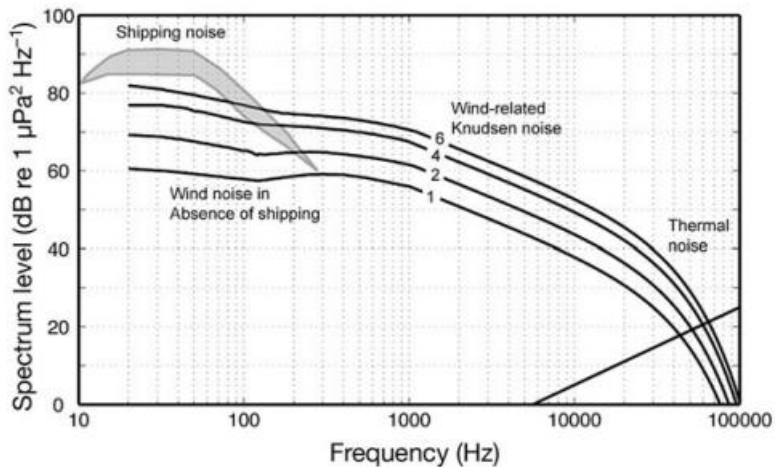
## 2.4 Noise Bawah Air (*Underwater Noise*)

Lautan penuh dengan suara. Suara bawah air dihasilkan oleh berbagai sumber alami, seperti deburan ombak, hujan, dan kehidupan laut. Hal ini juga dihasilkan oleh berbagai sumber buatan manusia, seperti kapal dan sonar militer.

Beberapa suara hadir kurang lebih di mana-mana di laut sepanjang waktu. Suara latar belakang di laut disebut *ambient noise*. Sumber utama *ambient noise* dapat dikategorikan dengan frekuensi suara. Dalam rentang frekuensi 20-500 Hz, *ambient noise* terutama disebabkan oleh noise yang dihasilkan oleh pelayaran jauh.

Dalam rentang frekuensi 500-100,000 Hz, *ambient noise* sebagian besar disebabkan spray dan gelembung terkait dengan deburan ombak. Hal ini meningkat seiring peningkatan kecepatan angin. Pada frekuensi lebih besar dari sekitar 100.000 Hz, noise dihasilkan oleh gerakan acak dari molekul air, disebut *thermal noise*, yang mendominasi. Suara tersebut menetapkan batas akhir untuk level suara minimum yang dapat diukur.[6]

Empat mekanisme noise yang berbeda dinyatakan dalam plot pada Gambar 2.4 masing-masing adalah: *thermal noise* yaitu noise yang berhubungan dengan suhu, *wind-related Knudsen noise* yaitu noise yang berhubungan dengan angin yang merupakan fungsi dari *sea state* (kurva bernomor), *wind-noise in absence of shipping* yaitu noise pada frekuensi rendah yang diamati jika tidak ada pelayaran dan *shipping noise* (arsir-abu-abu) yaitu noise akibat adanya pelayaran.



**Gambar 2.4** Generalisasi level spektral *ocean ambient noise* untuk situs perairan dalam dengan penerima terletak pada kedalaman 1000 m .

Dalam tugas akhir ini noise yang diakibatkan oleh kapal disebut *ship-radiated noise* (disingkat SRN) dan noise yang terjadi karena angin ketika sedang tidak ada kapal disebut *ocean ambient noise* (disingkat OCN). Keduanya merupakan sinyal non-Gaussian. SRN dapat dibagi menjadi tiga kelas utama berdasarkan mekanisme pembangkitannya: noise mesin, noise hidrodinamik, dan noise baling-baling.

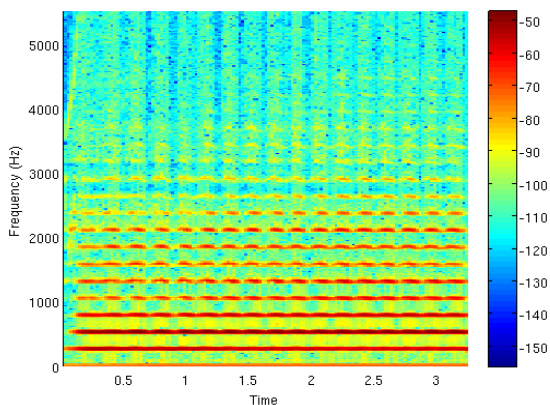
Spektrum dari SRN ada dua macam. Yang pertama adalah noise pita lebar yang mempunyai spectrum kontinyu utamanya disebabkan oleh noise kavitas baling-baling dan sejumlah noise mesin. Sedang yang kedua adalah *tonal noise* yang punya spectrum terputus-putus. Noise macam ini, utamanya disebabkan oleh rotasi mesin.

OCN utamanya disebabkan oleh noise hayati, noise lalu-lintas kapal yang jauh dan noise yang diakibatkan oleh angin.

## 2.5 Spectrogram [7]

*Spectrogram* adalah representasi spektral variasi waktu [8] (membentuk sebuah gambar) yang menunjukkan bagaimana kepadatan





**Gambar 2.5** Contoh sebuah *spectrogram* dengan dilengkapi *colorbar*

spektral suatu sinyal. *Spectrogram* sering disebut juga sebagai *spectral waterfalls*, *sonograms*, *voiceprints*, atau *voicegrams*. *Spectrogram* biasanya dipergunakan untuk mengidentifikasi suara fonetik, banyak dipergunakan dalam berbagai bidang misalnya musik, radar/sonar, pemrosesan suara, seismologi, dan sebagainya. Alat yang membangkitkan *spectrogram* dinamakan *spectrograph* atau *sonograph*.

Format yang umum untuk menunjukkan *spectrogram* adalah sebuah grafik dengan dua dimensi geometris, sumbu  $y$  merepresentasikan waktu, sumbu  $x$  merepresentasikan frekuensi, dimensi ketiga menunjukkan amplitudo frekuensi tertentu pada waktu tertentu yang ditunjukkan oleh intensitas warna dari setiap titik pada gambar. Ada banyak variasi dari format *spectrogram*, terkadang parameter sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  ditukar, terkadang juga amplitudo direpresentasikan sebagai tinggi permukaan tiga dimensi disamping warna atau intensitas. Sumbu yang menunjukkan frekuensi atau amplitudo dapat linier ataupun logaritmik. Biasanya sebuah *spectrogram* dilengkapi dengan *colorbar* yang merepresentasikan persebaran energi yang terjadi. Warna merah memperlihatkan energi yang paling kuat, kemudian warna *orange*, kuning, hijau dan biru berturut-turut menunjukkan energi yang lebih lemah.

Plot sinyal terekam yang merupakan dasar pembuatan *spectrogram* akan menunjukkan besaran amplitudo masing-masing

sinyal dalam satuan volt. Untuk mendapatkan hubungannya dengan energi maka :

$$W = V \cdot I \cdot t \quad 2.11$$

dimana  $W$  = energi (joule)                       $V$  = tegangan (volt)  
 $I$  = arus (Ampere)                                 $t$  = waktu (detik)  
 sedangkan  $I$  sendiri adalah :

$$I = \frac{V}{R} \quad 2.12$$

dengan  $R$  adalah hambatan dalam satuan ohm. Sehingga apabila persamaan 2.11 dimasukkan ke dalam persamaan 2.12 menghasilkan :

$$W = \frac{V^2}{R} \cdot t \quad 2.13$$

sehingga apabila diasumsikan bahwa pada pengambilan data hambatan dan waktunya sama, maka diperoleh hubungan :

$$W \propto V^2 \quad 2.14$$

Persamaan 2.14 menunjukkan bahwa semakin besar amplitudo, maka semakin besar pula energi yang dihasilkan.

## 2.6 Discrete Wavelet Transform

*Discrete Wavelet Transform* atau yang biasa disingkat DWT menguraikan sinyal satu atau multi dimensi  $z(t)$  menjadi atom-atom dari fungsi *bandpass wavelet*  $\psi(t)$  yang digeser dan didilasikan dan versi yang digeser dari fungsi *lowpass scaling*  $\varphi(t)$ , yaitu sinyal yang direpresentasikan pada skala waktu  $K$  dan skala frekuensi  $J$  yang berlapis.

$$\begin{aligned} \psi_{J,K}(t) &\equiv 2^{-\frac{J}{2}} \psi(2^{-J}t - K) \\ \varphi_{J_0,K}(t) &\equiv 2^{-\frac{J_0}{2}} \varphi(2^{-J_0}t - K) \\ J, K &\in \mathbb{Z} \end{aligned} \quad 2.15$$

Ketika didesain dengan pembatas tertentu, fungsi wavelet dan penskalaan akan membentuk basis orthonormal dengan representasi sinyal sebagai berikut:

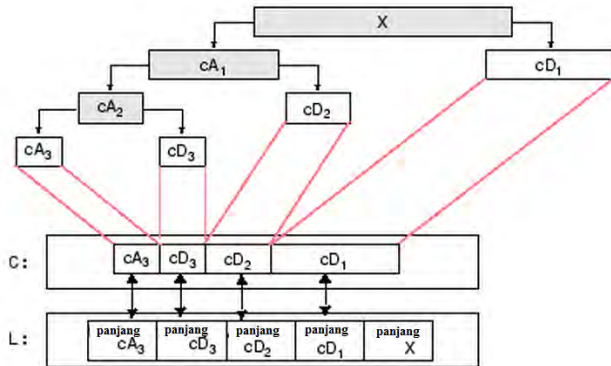
$$\begin{aligned}
 z(t) &= \sum_K u_K \varphi_{J_0, K}(t) + \sum_{J=0}^{J_0} \sum_K w_{J, K} \psi_{J, K}(t) \\
 u_K &= \int z(t) \varphi_{J_0, K}^*(t) dt \\
 w_{J, K} &= \int z(t) \psi_{J, K}^*(t) dt
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

Dimana \* merupakan konjugasi kompleks.  $u_K$  dan  $w_{J, K}$  masing-masing disebut koefisien penskalaan dan detail. Dalam persamaan 2.15 dan 2.16,  $J$  menandakan skala atau resolusi dari analisis – makin kecil  $J$ , makin tinggi resolusinya.  $J_0$  adalah level terendah dari resolusi, di mana dihasilkan masing-masing koefisien detail dan koefisien penskalaan. Pada kasus sinyal audio,  $K$  menunjukkan dukungan temporal terhadap analisis, yaitu jumlah waktu sebuah wavelet  $\psi(t)$  digeser dari dukungannya pada nol waktu. Koefisien detail  $w_{J, K}$  mengukur isi sinyal pada waktu  $2^J K$  dan frekuensi  $2^{-J} f_0$ , di mana  $f_0$  adalah frekuensi tengah dari wavelet. Koefisien perkiraan  $u_K$  mengukur rata-rata lokal pada waktu  $2^{J_0} K$ . Mengikuti [12] dan untuk mengurangi kebanyakan *overhead*, kita mengadopsi skema pengindeksan yang disederhanakan untuk fungsi basis dari penguraian dan koefisien yang dihasilkan: daripada mengindekskan dengan skala  $J$  dan pergeseran  $K$ , kita menggunakan sebusah pemetaan dimensional  $J, K \mapsto \mathbb{Z}$ , dimana indeks  $i \in \mathbb{Z}$  punya order tetap namun tidak ditentukan.

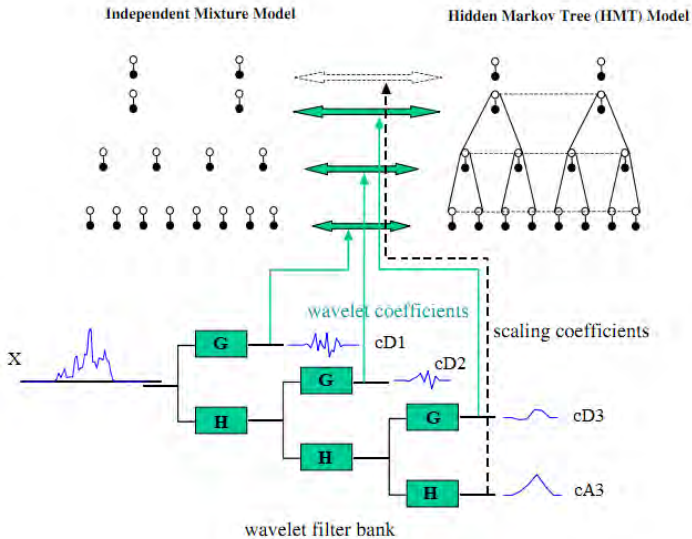
Dalam prakteknya, DWT dapat diimplementasikan dengan algoritma filterbank berbentuk pyramids, di mana sinyal secara rekursif dibagi ke dalam respon filter *lowpass* dan *highpass*, yang secara bersamaan membentuk sebuah pasangan filter cermin kuadratur. Kedua respon *downsample* oleh dua: respon *highpass* membentuk koefisien detail, sedangkan respon *lowpass* digunakan untuk analisis rekursif yang lebih jauh sampai kedalaman maksimum dicapai.

Sebuah sinyal  $X$  ketika ia melalui DWT sebanyak  $N$  level akan menghasilkan struktur penguraian yang berisi vektor penguraian wavelet  $C$  dan vektor panjang  $L$ . Vektor  $C$  diorganisasikan dari koefisien *approximation* level kasar  $cA_N$ , lalu koefisien detail level kasar  $cD_N$

setelahnya  $CD_{N-1}$  sampai yang paling halus  $CD_1$ . Pada Gambar 2.6 struktur DWT diatur sebagai contoh penguraian wavelet 3 level.



**Gambar 2.6** Struktur vektor koefisien wavelet hasil DWT



**Gambar 2.7** Penguraian wavelet hasil DWT dan struktur *tree* hasil DWT

Sesuai dengan struktur dari DWT dan hubungan pergeseran dan dilasi berdasarkan perpangkatan dua, penguraian dapat direpresentasikan sebagai sebuah hutan (daftar) dari pohon-pohon biner, di mana tiap koefisien pada skala  $J$  punya dua anak pada skala resolusi yang lebih halus seperti digambarkan pada Gambar 2.7. Pada detail level paling kasar, sinyal direpresentasikan sebagai pasangan koefisien detail dan perkiraan, di mana sebuah pohon biner dari koefisien detail berakar. Penguraian bidang waktu-frekuensi menjadi beberapa pohon wavelet.

## 2.7 Pemodelan berbasis *Hidden Markov Tree* (HMT)

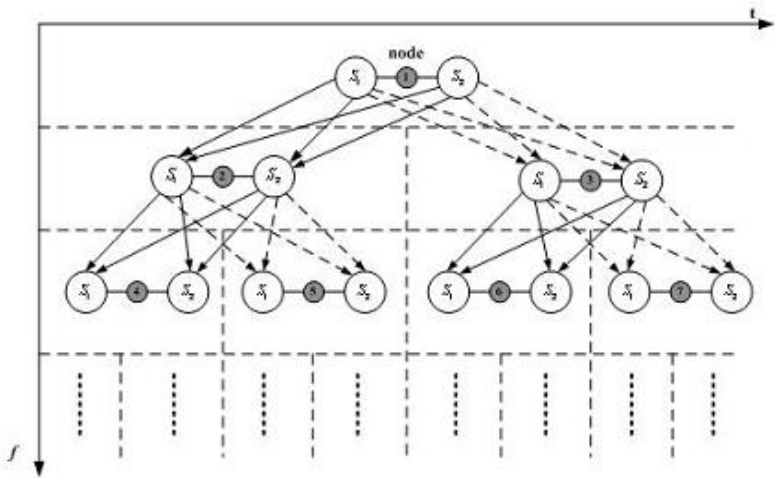
Terdapat dua metode untuk memodelkan SRN. Yang pertama pemodelan mekanisme, berdasar bukan hanya pada mekanisme tiap sumber akustik pada kapal, namun juga pada pola propagasi suara di laut. Sedangkan yang kedua adalah berdasarkan pemrosesan sinyal statistik. Yang disebut terakhir adalah yang banyak dipakai, karena yang pertama tidak kuat dan sulit diuji.

Seiring dengan perkembangan teknologi pemrosesan sinyal modern, banyak teori baru dikembangkan, seperti teori wavelet dan lain-lain. Karena domain wavelet menyediakan pengaturan alami untuk banyak penerapan termasuk sinyal dunia-nyata, transformasi wavelet dianggap sebagai sebuah alat baru yang menarik untuk pemrosesan statistik, sinyal dan gambar. Oleh karena itu, topik analisis SRN dalam domain wavelet merupakan bidang riset aktif.

Meski transformasi wavelet mempunyai properti dekorelasi, ketergantungan antar koefisien wavelet diantara dua skala yang berdekatan tidak dapat diabaikan. Demikian, model HMT pada domain wavelet diperlakukan sebagai model yang lebih efektif, yang dapat cocok baik ketergantungan statistik dan properti non-Gaussian dari suara bawah air[12].

*Hidden Markov Tree* adalah perpanjangan pada domain waktu pada struktur rantai dari *Hidden Markov Model* (HMM). Bila HMM tradisional hanya mempertimbangkan pengukuran dan analisa pada satu resolusi, HMT memodelkan distribusi sinyal yang diinginkan yang terletak dan dikelompokkan pada skala yang berbeda[11].

HMT adalah sebuah pohon yang terdiri dari sekumpulan *node* bertingkat (Gambar.2.6), yang mirip dengan penguraian *wavelet* dari sinyal pada pengaturan ini. Tiap koefisien *wavelet* (atau *node*) punya sebuah *hidden state* yang mengandung sejumlah *state* terbatas, dimana *state* dari sebuah *node* hanya tergantung pada induk langsung dan anak-



**Gambar.2.8.** Struktur HMT

anak mana saja yang dipunyainya. Pohon tersebut mengandung proses stokastik pokok yang tidak bisa diamati. Hal tersebut dimodelkan sebagai sebuah proses transisi *state* yang digambarkan dengan probabilitas transisi *state*, yang memberikan probabilitas transisi dari satu *state* menuju dirinya sendiri atau *state* lain mana saja pada sebuah *single step*.

Dengan menganggap bahwa koefisien-koefisien *wavelet* dibagi menjadi *state* sebanyak  $M$ , tiap koefisien *wavelet*  $\{w_i\}$  dihubungkan menuju sebuah *hidden state* diskrit  $S_i = m$ , dimana  $m \in \{1, \dots, M\}$ . Kepadatan Gaussian kondisional  $p(w_i|S_i = m)$  didefinisikan sebagai *state*  $S_i$  dengan rata-rata  $\mu_{i,m}$  dan variansi  $\sigma_{i,m}$  :

$$p(w_i|S_i = m) = \frac{1}{(2\pi\sigma_{i,m}^2)^{\frac{1}{2}}} \exp\left(-\frac{(w_i - \mu_{i,m})^2}{2\sigma_{i,m}^2}\right) \quad 2.17$$

Maka probabilitas marjinal dari koefisien  $w_i$  diberikan sebagai berikut

$$pw_i = \sum_{m=1}^M p(S_i = m)p(w_i|S_i = m) \quad 2.18$$

Dimana  $p(S_i = m)$  menyatakan probabilitas bahwa tiap koefisien berhubungan dengan *state*  $S_i = m$  dan menghasilkan  $\sum_{m=1}^M p(S_i = m) = 1$ .

Jika diasumsikan bahwa hanya koefisien-koefisien *wavelet* diketahui. Probabilitas marjinal dari  $p(w_i)$  ditemukan dengan menjumlahkan semua urutan *state* yang mungkin:

$$p(w_i|\theta) = \sum_{m=1}^M p(S_i = m)p(w_i|S_i = m|\theta) \quad 2.19$$

Dimana  $\theta$  adalah parameter-parameter dari HMT, termasuk rata-rata  $\mu_{i,m}$ , variansi  $\sigma_{i,m}$ , probabilitas transisi  $\varepsilon_{i,parent(i)}^{mn}$  dan probabilitas *state*  $p(S_i = m)$ .

$$\theta = \{p_{s_1}, \varepsilon_{i,parent(i)}^{mn}, \mu_{i,m}, \sigma_{i,m}\} \quad 2.20$$

$$m, n \in \{H, L\}$$

Algoritma “*upward-downward*” atau “ke atas-ke bawah” dapat dipakai secara berulang untuk menyelesaikan masalah tersebut. Hal tersebut mengarah ke sebuah prosedur yang sangat sederhana dan efisien untuk mencari estimasi *maximum-likelihood* dari kumpulan parameter HMT dan probabilitas dari *hidden state*. Hasilnya, sekumpulan parameter HMT  $\Theta$  dapat dihitung sebagai representasi tiap sinyal.

## 2.8 Pengambilan Keputusan Deteksi (*Detection Decision*)

Setelah data sinyal akustik diperoleh, tahap selanjutnya adalah pengolahan data tersebut. Hal ini meliputi desain filter dan pengambilan keputusan deteksi (*detection decision*). Teori deteksi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melihat informasi dari energi yang bersifat random dengan pengaruh gangguan (*noise*), aktivitas mesin yang random, dan kemampuan deteksi. Menurut teori ini, ada beberapa hal yang menjadi variabel bagaimana suatu sinyal akan dideteksi, sehingga deteksi dilakukan dengan membandingkan letak dari batas ambangnya (*threshold*). Pengambilan keputusan deteksi dipilih berdasar pada teori-teori yang umum dipergunakan pada deteksi obyek, baik melalui radar, sonar, maupun dalam hal ini hidrofons yang merekam suara secara pasif. Berikut akan dijelaskan beberapa teori pengambilan keputusan yang dipergunakan di dalam buku ini, yaitu Hipotesis Neyman Pearson, *Likelihood Ratio Test* (LRT), dan analisis *spectrogram*.

### 2.8.1 Uji Hipotesis Neyman – Pearson [9]

Skenario yang sering dipergunakan dalam pengambilan output suatu deteksi adalah membuat keputusan di antara dua output yang muncul tentang dua kondisi yang berbeda. Keadaan alam pada saat pengambilan data tidak dapat langsung bisa diamati, dan baru dapat disimpulkan setelah mengolah data yang diperoleh. Karena data tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor yang tidak bisa diprediksi, pengambilan keputusan suatu deteksi membutuhkan teori statistik. Tujuannya adalah untuk merumuskan suatu kriteria sehingga pemilihan antara dua hipotesis akan memiliki dasar kriteria yang optimal.

Karakteristik kerja *Neyman-Pearson* adalah berdasarkan distribusi probabilitas. Hipotesis ini menentukan probabilitas mana yang digunakan untuk observasi data yang diperoleh. Dalam deteksi sinyal, formula yang paling sering digunakan adalah bahwa ketika data berada di bawah hipotesis *null*, data tersebut terdiri hanya dari *noise*. Di bawah hipotesis alternatif, data terdiri dari sinyal deterministik ditambah *noise*. Sebagai contoh :

$$\text{shipabsent} \quad H_0 : X(t) = N(t) \quad 2.21$$

$$\text{shippresent} \quad H_0 : X(t) = N(t) + S(t)$$

dimana  $N$  adalah urutan variabel random yang diambil dari distribusi ambient noise dan  $S$  adalah sinyal deterministik SRN yang diketahui.

Sedangkan  $X$  merupakan sinyal akustik bawah air.

Ada dua kemungkinan kondisi penting dalam skenario ini :

- Probabilitas data yang ditentukan terdiri dari sinyal dan *noise* ketika hanya *noise* yang muncul. Kondisi ini dinamakan '*false alarm*'.
- Probabilitas data yang ditentukan hanya terdiri dari *noise* ketika kondisi sebenarnya terdapat sinyal. Kondisi ini dinamakan '*miss*'. Komplemen dari probabilitas *miss* adalah probabilitas dari deteksi, probabilitas yang ditentukan di sini adalah ketika sinyal terdeteksi, nyatanya sinyal memang ada.

Standar *Neyman-Pearson* memilih aturan yang memaksimalkan probabilitas deteksi batas *false alarm* pada angka yang paling ditentukan. Distribusi probabilitas di bawah *null* dan hipotesis alternatif tidak memiliki kemampuan *disjoint*. Dengan demikian, semakin kecil



kemungkinan maksimum *false alarm*, semakin kecil kemungkinan deteksi.

Selanjutnya kita menggunakan parameter HMT OCN  $\Theta$  untuk mendeteksi dua kondisi dari akustik:

$$\text{shipabsent} \quad H_0 : p(X = N|\theta) \quad 2.22$$

$$\text{shippresent} \quad H_0 : p(X = N + S|\theta)$$

## 2.8.2 Likelihood Ratio Test [10]

Di bawah standar *Neyman – Pearson*, aturan optimal berasal dari *Likelihood Ratio Test* (LRT). LRT memilih antara *null* dan alternatif hipotesis berdasarkan probabilitas kondisional. Ditentukan probabilitas yang diamati adalah vektor  $X$  berdasarkan alternatif  $p(X|H_1)$ . Demikian pula, diyatakan probabilitas berdasar hipotesis *null* sebagai  $p(X|H_0)$ . Detektor *Neyman-Pearson* membentuk rasio probabilitas ini dan menentukan antara dua hipotesis berdasarkan *threshold*  $\gamma$ . Jika rasio *likelihood* melebihi  $\gamma$  pilih  $H_1$ , jika tidak memilih  $H_0$ . LRT ini diberikan sebagai berikut:

$$L(X) = \frac{p(X|H_1)}{p(X|H_0)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \gamma \quad 2.23$$

dimana  $\gamma$  ditentukan oleh :

- Membuat  $p(X|H_0)$  yang ditentukan sebagai probabilitas kepadatan menurut hipotesis *null*.
- Membuat  $\gamma$  sama dengan nilai integral  $p(X|H_0)$  dari  $L(X) > \gamma$  sampai  $\infty$  adalah sama dengan probabilitas *false-alarm* yang diinginkan.

LRT memaksimalkan probabilitas deteksi  $Pd$  pada batas false alarm  $Pfa$  yang ditentukan. Setelah menentukan  $Pfa$ , maka *threshold*  $\gamma$  adalah nilai ambang batas yang menghasilkan nilai  $Pfa$  tersebut. Nilai *threshold* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\int_{\gamma}^{\infty} p(X|H_0)dX = Pfa \quad 2.24$$

Perhitungan  $\gamma$  bisa didapat dengan melakukan *inverse cumulative distribution function* (ICDF) dari  $p(X|H_0)$  dengan *Pfa* yang telah ditentukan

$$Pd = \int_{\gamma}^{\infty} p(X|H_1)dX \quad 2.25$$

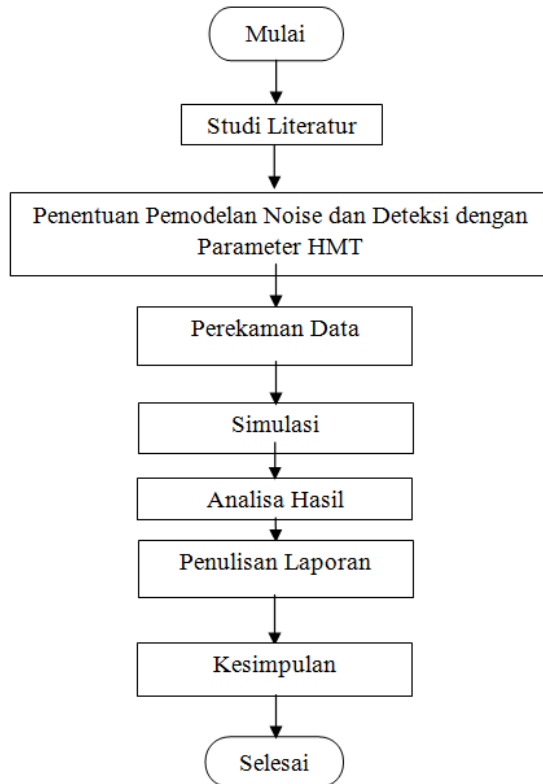
Sedangkan  $Pd$  bisa dicari dengan *cumulative distribution function* (CDF) dari  $p(X|H_1)$  setelah didapat *threshold*  $\gamma$

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

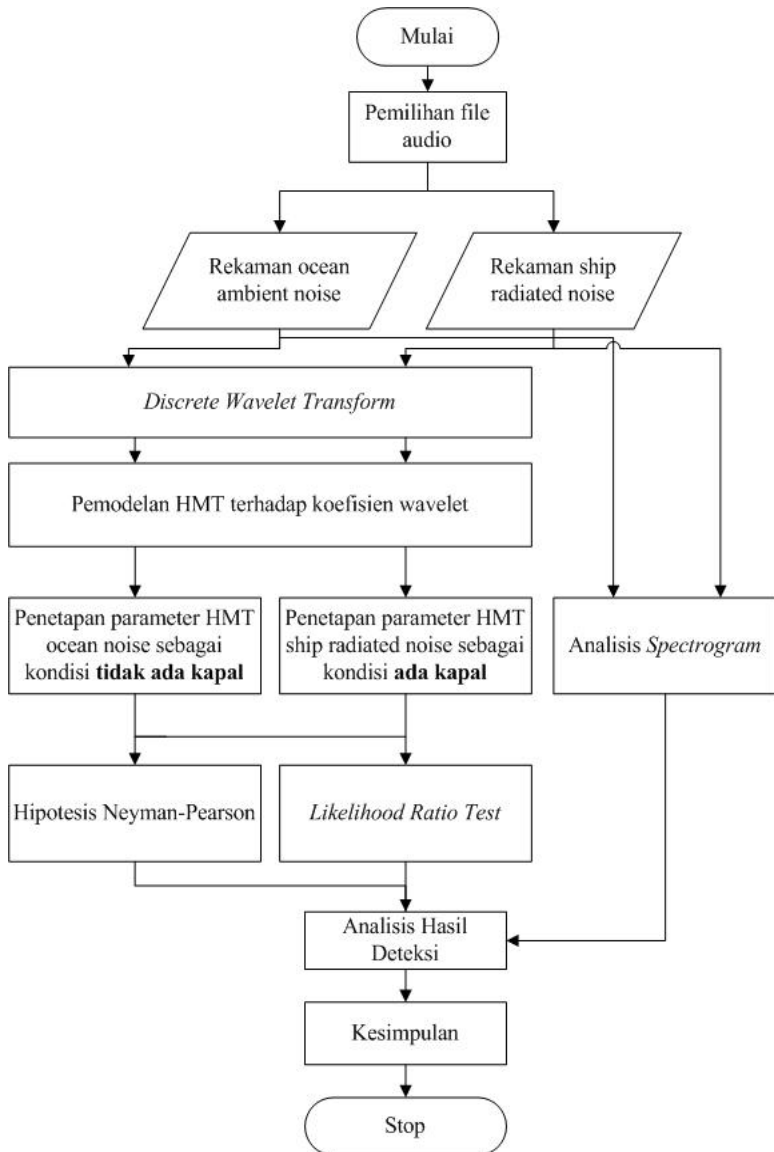
### BAB III

## PEMODELAN DAN SIMULASI

Pada bab ini akan dibahas tentang sistematika pengerjaan Tugas Akhir. Sistematika pengerjaan Tugas Akhir dimulai dengan studi literatur untuk menentukan data yang akan dipakai dalam tugas akhir ini, kemudian membuat model dan simulasi. Setelah itu data direkam dan dijalankan dalam simulasi. Data hasil simulasi lalu dianalisa lebih lanjut untuk dapat menarik kesimpulan. Keseluruhan diagram alir pengerjaan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir pengerjaan



**Gambar 3.2** Diagram alir proses pemodelan dan simulasi

Adapun secara rinci tahap-tahap pemodelan dan simulasi yang harus dilalui untuk sampai pada tahap analisis, ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.2.

Proses pemodelan diawali dengan pemilihan data rekaman ocean ambient noise dan data rekaman ship radiated noise. Kemudian kedua data tersebut dilakukan *discrete wavelet transform* untuk mendapatkan nilai koefisien wavelet kedua data. Setelah mendapatkan nilai koefisien tersebut maka dilaksanakan pemodelan HMT terhadap nilai koefisien wavelet yang ada sehingga didapatkan parameter HMT kedua data tersebut dimana HMT *ocean noise* sebagai kondisi tidak ada kapal dan HMT *ship-radiated noise* sebagai kondisi adanya kapal. Proses berikutnya adalah proses penentuan nilai threshold yang sesuai, diawali dengan menentukan likelihood ratio test dengan cara membandingkan kedua parameter yang ada. Dan dengan menggunakan hipotesis Neyman-Pearson kita dapat menentukan nilai threshold yang diharapkan.

### **3.1 Tahapan Pengambilan Data**

Sebelum dilakukan penelitian, telah direncanakan bahwa data yang akan dipergunakan adalah data yang diambil dari perekaman. Data awal yang akan digunakan adalah data dari hasil pengukuran di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia. Namun ternyata terdapat kendala, sehingga perlu dicari alternatif data rekaman lain yang memenuhi kriteria seperti yang telah ditentukan.

Akhirnya, data yang dipilih adalah data dari situs resmi Taman Nasional Teluk Glacier, Alaska, Amerika Utara[14]. Contoh data file audio yang tersedia di situs tersebut direkam oleh bagian Layanan Taman Nasional tersebut, menggunakan hidrofons yang ditanam di dekat mulut Teluk Glacier, Alaska untuk tujuan pemantauan *ambient noise*.

Hasil rekaman dimaksudkan untuk memberikan contoh jenis suara alam dan buatan manusia yang terjadi di Taman Nasional Teluk Glacier. Sebagian besar sampel yang tersedia adalah sepanjang 30 detik, namun ada juga yang lebih panjang atau lebih pendek. Rekaman tersedia sebagai *file* audio berekstensi mp3, dari berbagai ukuran mulai 94-650 KB.

### **3.2 Pemilihan Data**

Data hasil rekaman berupa *file* audio dengan ekstensi .mp3. Untuk itu, perlu dirubah dulu ke format wav (*waveform audio format*)

menggunakan software konverter. Software converter bisa didapat dari situs-situs yang menyediakan aplikasi gratis untuk perubahan format file audio.

Dari berbagai rekaman yang tersedia di situs Taman Nasional Teluk Glacier [14], dipilih hasil rekaman *ambient noise* “*Light Winds*” yaitu *ambient noise* yang diakibatkan oleh angin yang berkecepatan sedang. Dan untuk suara kapal dipilih *ship-radiated noise* “*State Ferry*”. Selanjutnya data yang didapat akan digunakan untuk diolah dalam simulasi.

### 3.3 Proses Pengolahan Data

Data yang didapatkan selanjutnya disimulasikan dengan menggunakan software Matlab dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Software Name*: MathWorks MATLAB
- *Version*: 7.12.0.635 (R2011a)
- *Platform*: Windows
- *Developer*: The Mathworks, Inc

System requirements:

- *Operating System*:
- Windows XP Service Pack 3, Server 2003 R2 with Service Pack 2, Vista Service Pack 1 or 2, Server 2008 Service Pack 2 or R2
- Windows 7

Processor:

- Any Intel or AMD x86 processor supporting SSE2 instruction set Space:
- 1 GB for MATLAB only,
- 3-4 GB for a typical installation

RAM : 1024 MB (At least 2048 MB recommended)

Setelah melalui tahap persiapan dan pengambilan data, tahap selanjutnya adalah proses pengolahan data. Tahap-tahap pengolahan data dapat digambarkan sebagai diagram alir berikut.

### 3.4 Plot Data

Data yang telah dipilih adalah berupa *ambient noise* dan *ship-radiated noise*. Sebelum melakukan *plotting* data, proses pertama adalah akuisisi data, yaitu mengakuisisi data hasil pengukuran (dalam sinyal analog) dan mengubahnya menjadi sinyal digital. Caranya adalah dengan menggunakan *command* ‘wavread’ pada program *Matlab*. Dari

proses ini didapatkan hasil data yang mencerminkan karakteristik dari data asli (hasil rekaman). Dari proses ini dapat diketahui bahwa frekuensi sampling sinyal adalah sebesar 44.100 sampling/detik. Secara *default* plot dari grafik hasil proses *wavread* menunjukkan sumbu  $x$  sebagai jumlah sampel dan sumbu  $y$  menunjukkan amplitudo. Apabila suatu saat dibutuhkan pengolahan sinyal terhadap domain waktu, parameter sumbu  $x$  bisa diubah dalam satuan waktu. Begitu pula apabila dibutuhkan domain frekuensi, sumbu  $x$  bisa diubah ke dalam domain frekuensi, tentu saja dengan melalui tahapan FFT terlebih dahulu.

### 3.5 Discrete Wavelet Transform

Sinyal yang diperoleh lalu ditransformasikan ke dalam bentuk wavelet dengan menggunakan perintah Matlab sebagai berikut:

```
% perform dwt at level j
[tree,l] = wavedec (s,j,'haar');
```

Dari sintaks di atas sinyal input  $s$  akan ditransformasikan ke dalam domain wavelet sejauh  $j$  level menggunakan wavelet Haar. Struktur output adalah *tree* yang berisi deretan koefisien *scaling* pada skala terkasar  $j$ , lalu berturut-turut deretan koefisien *wavelet* mulai dari skala terkasar sampai terhalus. Sedangkan  $l$  merupakan panjang dari masing-masing deretan koefisien *scaling* dan koefisien wavelet pada *tree* serta panjang  $s$ .

Selanjutnya setelah sinyal di transformasikan ke bentuk wavelet dengan menerapkan DWT, Kita bisa mengambil nilai dari masing-masing koefisien pada hasil DWT tersebut. Untuk selanjutnya digunakan untuk pemodelan berbasis HMT.

### 3.6 Pemodelan HMT terhadap Koefisien Wavelet

Koefisien wavelet yang didapat dari hasil DWT, adalah koefisien yang multi skala. Tiap koefisien wavelet pada level yang berbeda tersebut lalu dihubungkan antar levelnya yang berdekatan dan diberi hidden state seperti pada Gambar 2.6 sehingga membentuk struktur HMT.

Selanjutnya pada model HMT diperlukan *training* untuk menghasilkan parameter HMT dengan menggunakan sintaks Matlab sebagai berikut:



```
%training HMT
[ES, POS, MU, SI] = trainEM_tree(tree, m, maxIter);
```

Input dari fungsi di atas adalah *tree* yang merupakan hasil dari DWT,  $m$  merupakan jumlah *hidden state*, *maxIter* merupakan jumlah iterasi. Sedangkan output ES merupakan matriks transisi state tiap level, POS merupakan *mass function* untuk *hidden state* pada node akar (skala kasar), MU adalah *mixture mean* untuk tiap level, dan SI adalah *mixture variance* untuk tiap level.

Hasil dari parameter HMT sinyal *ocean* dijadikan sebagai acuan model distribusi ketika kondisi sedang tidak ada kapal, sedangkan hasil dari parameter HMT sinyal *ship* dijadikan sebagai acuan model distribusi ketika kondisi ada kapal

### 3.7 Simulasi Hipotesis Neyman-Pearson

Telah dibahas dalam bab sebelumnya mengenai teori hipotesis ini, selanjutnya adalah memodelkannya di dalam *Matlab*.

OCN menunjukkan bahwa kondisi sedang tidak ada target, sehingga hanya terdapat noise OCN. Sedangkan target akan muncul ketika OCN+SRN, dimana SRN adalah sinyal kapal.

Simulasi ini selanjutnya akan menghasilkan nilai  $Pd$  (*Probability of Detection*) dan  $Pfa$  (*Probability of False Alarm*).  $Pd$  menunjukkan bahwa target memang ada, dan  $Pfa$  menunjukkan bahwa hanya terdapat *noise* dalam kondisi tersebut.

### 3.8 Simulasi Likelihood Ratio Test

Setelah mengaplikasikan uji hipotesis Neyman Pearson, selanjutnya adalah mencari nilai ambang (*threshold*) melalui *Likelihood Ratio Test*. Teori ini menentukan antara dua hipotesis berdasarkan nilai *threshold*. Sesuai dengan persamaan 2.22, dua kondisi hipotesis dihadirkan, dengan nilai *threshold* sebagai acuan pembatasnya. Jika rasio *likelihood* melebihi nilai *threshold*, maka dapat dipilih hipotesis pertama  $H_1$  atau biasa disebut hipotesis alternatif yang berarti terdapat target, jika tidak maka dipilih hipotesis  $H_0$  atau biasa disebut hipotesis *null* yang berarti hanya terdapat noise di lingkungan nyata. Hal ini menjadi penting karena situasi deteksi tidak luput dari *noise* yang diakibatkan oleh berbagai hal, oleh karena itu tes simulasi ini dipandang perlu sebagai acuan untuk membedakan *noise* dan target yaitu kapal.

### **3.9 Pembuatan *Spectrogram***

*Spectrogram* merepresentasikan spektral variasi waktu yang menunjukkan kepadatan spektral suatu sinyal. Sumbu  $y$  dalam *spectrogram* yang dibuat menunjukkan nilai frekuensi, sedangkan sumbu  $x$  menunjukkan waktu. Warna yang tampak pada *spectrogram* menunjukkan persebaran energi pada sinyal tersebut. Warna merah menunjukkan intensitas kepadatan energi yang tertinggi, dan diikuti oleh warna lain seperti oranye, kuning, hijau, *cyan*, biru, dan magenta [13]. Setelah *spectrogram* dibuat, dapat dianalisis persebaran energi dari masing-masing sinyal yang telah direkam, dan diperhitungkan sesuai dengan kondisi nyata pada saat pengambilan data.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

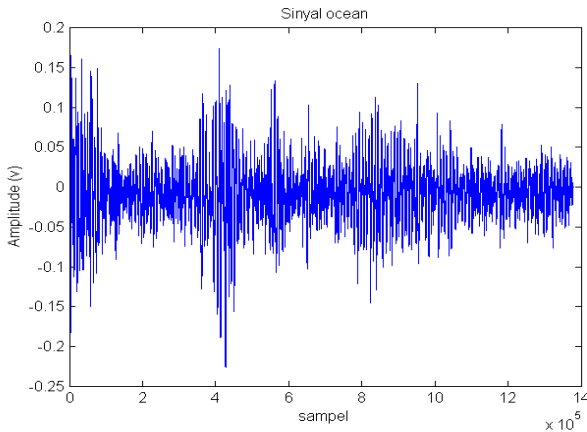
## BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hasil dan analisis simulasi yang dilakukan terhadap sinyal audio. Analisis yang dilakukan juga meliputi karakteristik sinyal, juga dalam hubungannya dengan metode uji hipotesis Neyman - Pearson, *Likelihood Ratio Test*, dan analisis *spectrogram*.

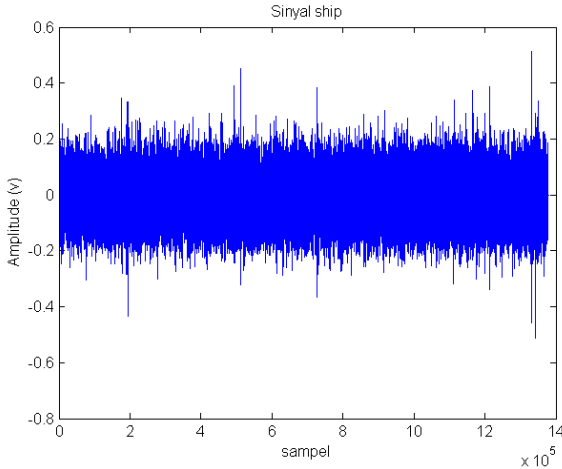
### 4.1 Plot Data Sinyal

Data yang diperoleh adalah sebagai berikut, kemudian diplot menggunakan perintah di dalam Matlab. Sesuai dengan judul, maka sinyal yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu sinyal dengan OCN (Ocean Ambient Noise) dan sinyal SRN (Ship-Radiated Noise).

Dari hasil plotting, pada Gambar 4.1. terlihat sinyal OCN yang memiliki amplitude pada rentang minimum dan maksimum masing-masing bernilai  $-0,23$  dan  $0,17$ . Pada gambar terlihat bahwa amplitudo sinyal tidak merata, sehingga nilai rentang amplitudo sinyal OCN cukup bervariasi. Nilai mean  $-0,0073$ , variansi  $0,0011$ , dan standard deviasi  $0,00326$ .



**Gambar 4.1** Sinyal *ocean ambient noise* (OCN)

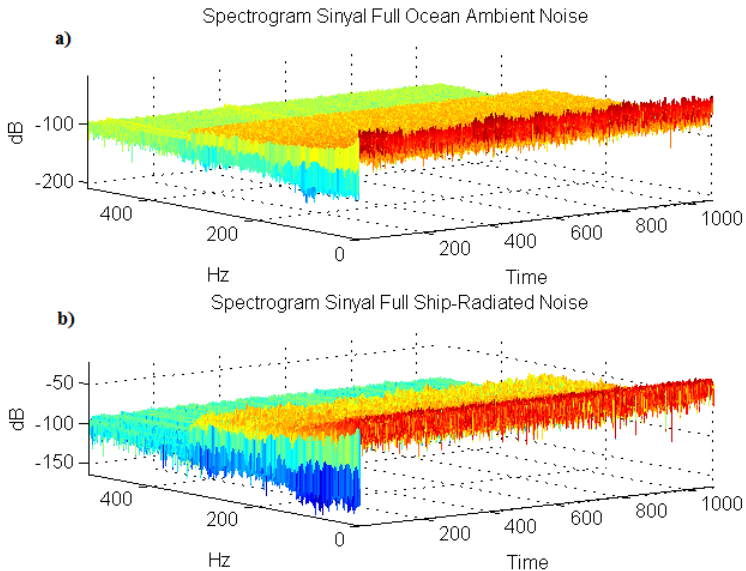


**Gambar4.2** Sinyal *ship-radiated noise* (SRN)

Sedang sinyal SRN seperti pada Gambar 4.2 memiliki amplitudo pada rentang minimum dan maksimum masing-masing bernilai -0,43 dan 0,45. Pada gambar terlihat bahwa nilai amplitudo hampir merata di tiap waktu. Ini menunjukkan bahwa sinyal SRN stabil. Nilai mean -0,0081, variansi 0,0041 dan standard deviasi 0,00643. Nilai distribusi statistik sinyal SRN lebih besar dari OCN.

## 4.2 Plot Spectrogram

Dari hasil plotting Spectrogram pada Gambar 4.3 tampak pada *spectrogram* persebaran energi kedua sinyal berbeda. Pada Gambar 4.3.a Sinyal OCN dari waktu 0-1024 pada frekuensi 0-300 Hz berwarna orange bernilai -100 sampai 0 dB dan pada frekuensi 300-500 Hz berwarna kuning bernilai -125 sampai -100 dB. Sedangkan pada Gambar 4.3.b dari waktu 0-1024 saat frekuensi 0-100 Hz sinyal SRN berwarna merah bernilai -50 sampai 0 dB, pada frekuensi 100-300 Hz berwarna orange bernilai -100 sampai -50 dB dan pada frekuensi 300-500 Hz berwarna biru bernilai -150 sampai -100 dB. Berarti sinyal SRN mempunyai energy yang tertinggi dibandingkan SRN pada 0-100 Hz, lalu relatif sama pada 100-300 Hz, dan pada 300-500 Hz energi OCN lebih tinggi dari SRN.

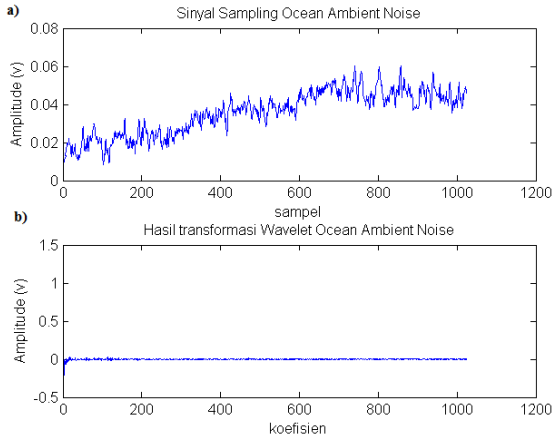


**Gambar 4.3** Spectrogram (a) Sinyal OCN dan (b) Sinyal SRN

### 4.3 Plot Hasil Sampling dan Hasil DWT

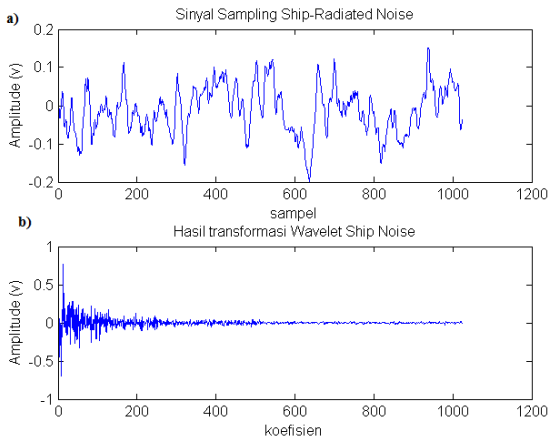
Setelah sinyal input baik ship noise maupun ambient noise didapat, langkah selanjutnya adalah memotong dengan panjang tertentu, lalu sinyal tersebut diproses ke dalam wavelet domain dengan cara melakukan DWT dahulu terhadap sinyal. Sinyal yang telah di-DWT akan menghasilkan deretan koefisien wavelet yang memiliki struktur penguraian level mulai dari yang rendah sampai yang tinggi, dari kiri ke kanan. Dalam arti level rendah adalah sebelah paling kiri dan semakin ke kanan levelnya semakin naik sampai ke level yang paling tinggi.

Hasil sampling dan transformasi sinyal OCN ditunjukkan pada Gambar 4.4.a Terlihat pada sinyal OCN sampel sinyal memiliki kerapatan frekuensi yang lebih tinggi dan amplitudo yang berkisar antara 0,0084 sampai 0,0604. Dan ditunjukkan pada Gambar 4.4.b hasil transformasi sinyal OCN memiliki amplitudo yang relatif sama antara koefisien berbagai level yaitu di sekitar nilai 0.



**Gambar 4.4** Sinyal (a) hasil sampling dan (b) hasil DWT OCN

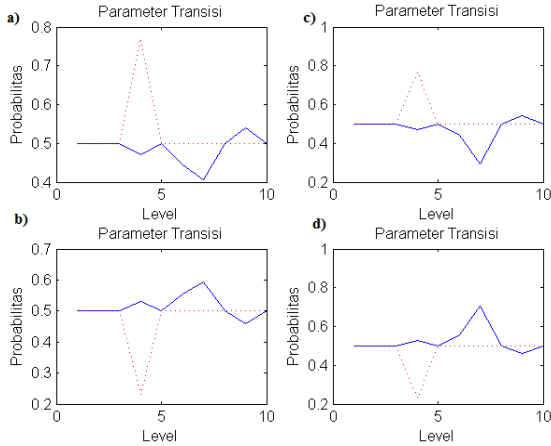
Sedangkan pada Gambar 4.5.a sinyal SRN sampel sinyal memiliki kerapatan frekuensi yang lebih rendah dan amplitudo yang berkisar antara -0.1990 sampai 0,1517. Dan hasil transformasi sinyal SRN.amplitudonya tinggi sekali untuk level yang kasar koefisien 0-256 dibanding level yang halus (level naik dari kiri ke kanan) ditunjukkan pada Gambar 4.5.b



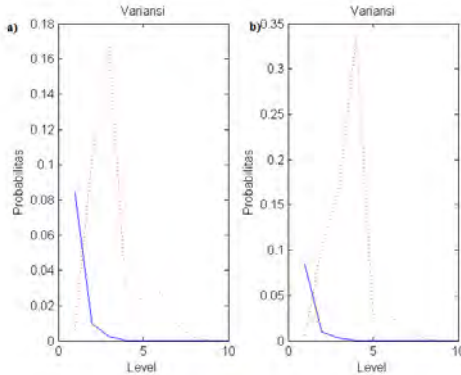
**Gambar 4.5** Sinyal (a) hasil Sampling dan (b) hasil DWT SRN

#### 4.4 Plot Probabilitas Transisi dan Variansi HMT

Sinyal hasil DWT kemudian dimodelkan secara HMT. Berikut merupakan plot probabilitas transisi dan variansi HMT



**Gambar 4.6** Probabilitas transisi HMT  $\varepsilon_{i,parent(i)}^{mn}$  tiap level  $S_i$  ketika state  $m$  dengan  $S_{parent(i)}$  ketika state  $n$  (a)  $m,n=H,H$  (b)  $m,n=H,L$  (c)  $m,n=L,H$  dan (d)  $m,n=L,L$



**Gambar 4.7** Probabilitas variansi HMT  $\sigma_{i,m}$  tiap level  $S_i$  ketika state  $m$  (a)  $m=H$  dan (b)  $m=L$



Probabilitas transisi HMT sinyal OCN (warna biru) dan SRN (warna merah) ditunjukkan pada Gambar .4.6, hasil pada level 4 terjadi perbedaan mencolok nilai dari probabilitas transisi dari sinyal OCN dan sinyal SRN.

Probabilitas variansi HMT sinyal OCN (warna biru) dan SRN (warna merah) ditunjukkan pada Gambar .4.7, untuk sinyal SRN cenderung meningkat pada level 1-3 lalu menurun nilainya pada level 4-10, sedangkan variansi sinyal OCN cenderung menurun dari level ke level berikutnya.

#### **4.5 Analisis Probability of Detection (Pd) dan Probability of False Alarm (Pfa)**

Hal yang patut diperhatikan dalam teori deteksi adalah nilai statistik yang menunjukkan bahwa target obyek terdeteksi ada, dan target tersebut tidak ada (hanya terdapat *noise*). Dengan menggunakan Neyman Pearson maka didapat *Probability of Detection (Pd)* menunjukkan performa detektor ketika target tersebut ada. Sedangkan *Probability of False Alarm (Pfa)* menunjukkan kondisi ketika di lingkungan hanya terdapat noise, tanpa munculnya target. Pfa ditentukan sebesar konstan 0,1.

#### **4.6 Likelihood Ratio Test**

Hasil *Likelihood Ratio Test* didapat dari perbandingan probabilitas kepadatan sinyal uji dan sinyal *ocean*. Jika rasio *likelihood* sinyal uji melebihi threshold maka dinyatakan bahwa benar terdapat kapal yaitu kondisi “present”, dan selainnya dinyatakan tidak terdapat kapal yaitu kondisi “absent”.

#### **4.7 Penentuan Treshold**

Dengan menggunakan rumus 2.24, setelah kita menentukan *Pfa* yaitu sebesar 0,1 dan menentukan probabilitas kepadatan menurut hipotesis *null* yaitu  $p(X|H_0)$ .

$$\int_Y^{\infty} p(X|H_0)dX = 0,1$$

Dengan menggunakan *inverse cumulative distribution function* (ICDF) didapatkan *threshold* sebesar 0,034.

#### **4.8 Analisis Hasil Simulasi**

Diberikan 150 sinyal uji masing-masing 30 sinyal *ocean noise*, 30 sinyal suara kapal *ferry*, 30 sinyal suara kapal barang, 30 sinyal suara kapal kecil dan 30 sinyal suara baling-baling kapal.

Masing-masing sampel sinyal uji tersebut dihitung rasio *likelihood*nya terhadap sinyal ocean dan dibandingkan dengan *threshold*. Hasil deteksi berbagai sinyal kapal dianggap benar jika sinyal yang diujikan adalah suara kapal dan hasilnya menyatakan kondisi “present” dan dianggap salah jika menyatakan kondisi “absent”. Sedangkan untuk sinyal ocean adalah sebaliknya yaitu dianggap benar jika sinyal yang diujikan adalah suara ocean ambient noise dan hasilnya menyatakan kondisi “absent” dan dianggap salah jika menyatakan kondisi “present”.

**Tabel 4.1** Hasil Deteksi Sampel Sinyal Uji *Ocean Noise*

<b>Sinyal Uji</b>	<b>Likelihood</b>	<b>Treshold</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Deteksi</b>
ocean01	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean02	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean03	1,0287	0,0341	present	salah
ocean04	0,0061	0,0341	absent	benar
ocean05	0,0057	0,0341	absent	benar
ocean06	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean07	1,1292	0,0341	present	salah
ocean08	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean09	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean10	0,1988	0,0341	present	salah
ocean11	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean12	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean13	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean14	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean15	0,8968	0,0341	present	salah
ocean16	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean17	0,0000	0,0341	absent	benar

<b>Sinyal Uji</b>	<b>Likelihood</b>	<b>Treshold</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Deteksi</b>
ocean18	0,2912	0,0341	present	salah
ocean19	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean20	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean21	0,0023	0,0341	absent	benar
ocean22	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean23	0,4903	0,0341	present	salah
ocean24	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean25	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean26	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean27	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean28	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean29	0,0000	0,0341	absent	benar
ocean30	0,0000	0,0341	absent	benar
PD				0,8

**Tabel 4.2** Hasil Deteksi Sampel Sinyal Kapal *Ferry*

<b>Sinyal Uji</b>	<b>Likelihood</b>	<b>Treshold</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Deteksi</b>
ferry01	0,0091	0,0341	absent	salah
ferry02	0,0692	0,0341	present	benar
ferry03	0,0868	0,0341	present	benar
ferry04	0,0695	0,0341	present	benar
ferry05	0,1633	0,0341	present	benar
ferry06	0,1108	0,0341	present	benar
ferry07	0,0850	0,0341	present	benar
ferry08	0,1070	0,0341	present	benar
ferry09	0,0150	0,0341	absent	salah
ferry10	0,1380	0,0341	present	benar

<b>Sinyal Uji</b>	<b>Likelihood</b>	<b>Treshold</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Deteksi</b>
ferry11	0,1002	0,0341	present	benar
ferry12	0,0896	0,0341	present	benar
ferry13	0,0941	0,0341	present	benar
ferry14	0,0417	0,0341	present	benar
ferry15	0,2066	0,0341	present	benar
ferry16	0,0741	0,0341	present	benar
ferry17	0,0370	0,0341	present	benar
ferry18	0,0997	0,0341	present	benar
ferry19	0,1179	0,0341	present	benar
ferry20	0,1307	0,0341	present	benar
ferry21	0,0016	0,0341	absent	salah
ferry22	0,1438	0,0341	present	benar
ferry23	0,1597	0,0341	present	benar
ferry24	0,1610	0,0341	present	benar
ferry25	0,0673	0,0341	present	benar
ferry26	0,0561	0,0341	present	benar
ferry27	0,0310	0,0341	absent	salah
ferry28	0,0947	0,0341	present	benar
ferry29	0,0702	0,0341	present	benar
ferry30	0,1210	0,0341	present	benar
PD				0,866667

**Tabel 4.3** Hasil Deteksi Sampel Sinyal Kapal Barang

<b>Sinyal Uji</b>	<b>Likelihood</b>	<b>Treshold</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Deteksi</b>
freighter01	0,0370	0,0341	present	benar
freighter02	0,1442	0,0341	present	benar
freighter03	0,0608	0,0341	present	benar
freighter04	0,0593	0,0341	present	benar

Sinyal Uji	Likelihood	Treshold	Kondisi	Deteksi
freighter05	0,0532	0,0341	present	benar
freighter06	0,0848	0,0341	present	benar
freighter07	0,0706	0,0341	present	benar
freighter08	0,0762	0,0341	present	benar
freighter09	0,0448	0,0341	present	benar
freighter10	0,0802	0,0341	present	benar
freighter11	0,0360	0,0341	present	benar
freighter12	0,1366	0,0341	present	benar
freighter13	0,0558	0,0341	present	benar
freighter14	0,0516	0,0341	present	benar
freighter15	0,1202	0,0341	present	benar
freighter16	0,0514	0,0341	present	benar
freighter17	0,0871	0,0341	present	benar
freighter18	0,0436	0,0341	present	benar
freighter19	0,0476	0,0341	present	benar
freighter20	0,1099	0,0341	present	benar
freighter21	0,0860	0,0341	present	benar
freighter22	0,0269	0,0341	absent	salah
freighter23	0,0880	0,0341	present	benar
freighter24	0,0572	0,0341	present	benar
freighter25	0,0962	0,0341	present	benar
freighter26	0,0446	0,0341	present	benar
freighter27	0,0409	0,0341	present	benar
freighter28	0,0642	0,0341	present	benar
freighter29	0,0910	0,0341	present	benar
freighter30	0,0634	0,0341	present	benar
PD				0,966667

**Tabel 4.4** Hasil Deteksi Sampel Sinyal Kapal Kecil

<b>Sinyal Uji</b>	<b>Likelihood</b>	<b>Treshold</b>	<b>Kondisi</b>	<b>Deteksi</b>
small_diesel01	0,4643	0,0341	present	benar
small_diesel02	0,1706	0,0341	present	benar
small_diesel03	0,1181	0,0341	present	benar
small_diesel04	0,2227	0,0341	present	benar
small_diesel05	0,7363	0,0341	present	benar
small_diesel06	0,0021	0,0341	absent	salah
small_diesel07	0,1288	0,0341	present	benar
small_diesel08	0,3114	0,0341	present	benar
small_diesel09	0,0123	0,0341	absent	salah
small_diesel10	0,4592	0,0341	present	benar
small_diesel11	0,0568	0,0341	present	benar
small_diesel12	0,3377	0,0341	present	benar
small_diesel13	0,2752	0,0341	present	benar
small_diesel14	0,0369	0,0341	present	benar
small_diesel15	0,5829	0,0341	present	benar
small_diesel16	0,0138	0,0341	absent	salah
small_diesel17	0,3680	0,0341	present	benar
small_diesel18	0,6087	0,0341	present	benar
small_diesel19	0,0266	0,0341	absent	salah
small_diesel20	0,5410	0,0341	present	benar
small_diesel21	0,2874	0,0341	present	benar
small_diesel22	0,1179	0,0341	present	benar
small_diesel23	0,3965	0,0341	present	benar
small_diesel24	0,3949	0,0341	present	benar
small_diesel25	0,0008	0,0341	absent	salah
small_diesel26	0,1395	0,0341	present	benar
small_diesel27	0,2680	0,0341	present	benar
small_diesel28	0,4287	0,0341	present	benar
small_diesel29	0,4628	0,0341	present	benar

Sinyal Uji	Likelihood	Treshold	Kondisi	Deteksi
small diesel30	0,0284	0,0341	absent	salah
PD				0,8

**Tabel 4.5** Hasil Deteksi Sampel Sinyal Baling-baling Kapal

Sinyal Uji	Likelihood	Treshold	Kondisi	Deteksi
propeller01	0,1415	0,0341	present	benar
propeller02	0,4472	0,0341	present	benar
propeller03	0,4003	0,0341	present	benar
propeller04	0,1055	0,0341	present	benar
propeller05	0,4415	0,0341	present	benar
propeller06	0,4343	0,0341	present	benar
propeller07	0,1751	0,0341	present	benar
propeller08	0,3452	0,0341	present	benar
propeller09	0,1161	0,0341	present	benar
propeller10	0,1318	0,0341	present	benar
propeller11	0,5950	0,0341	present	benar
propeller12	0,1974	0,0341	present	benar
propeller13	0,1769	0,0341	present	benar
propeller14	0,1140	0,0341	present	benar
propeller15	0,1029	0,0341	present	benar
propeller16	0,2397	0,0341	present	benar
propeller17	0,5717	0,0341	present	benar
propeller18	0,0512	0,0341	present	benar
propeller19	0,0182	0,0341	absent	salah
propeller20	0,0239	0,0341	absent	salah
propeller21	0,2593	0,0341	present	benar
propeller22	0,1490	0,0341	present	benar
propeller23	0,4724	0,0341	present	benar

Sinyal Uji	Likelihood	Treshold	Kondisi	Deteksi
propeller24	0,1385	0,0341	present	benar
propeller25	0,1023	0,0341	present	benar
propeller26	0,2082	0,0341	present	benar
propeller27	0,0290	0,0341	absent	salah
propeller28	0,1438	0,0341	present	benar
propeller29	0,1213	0,0341	present	benar
propeller30	0,0195	0,0341	absent	salah
PD				0,866667

Setelah dilakukan simulasi di atas, terlihat dari Tabel 4.1 sampai Tabel 4.5 bahwa dari 30 sinyal *ocean noise* menghasilkan tingkat kebenaran sebesar 80%, 30 sinyal suara kapal *ferry* menghasilkan tingkat kebenaran sebesar 86,67%, 30 sinyal suara kapal barang menghasilkan tingkat kebenaran sebesar 96,67%, 30 sinyal suara kapal kecil menghasilkan tingkat kebenaran sebesar 80% dan 30 sinyal suara baling-baling kapal menghasilkan tingkat kebenaran sebesar 86,67%. Hal tersebut dirangkum dalam Tabel 4.6 dan menunjukkan bahwa tingkat kebenaran deteksi cukup tinggi yaitu total 86%

**Tabel 4.6** Rangkuman Hasil Deteksi Macam-macam Suara

Tipe Sinyal	Jumlah Sampel	Tes Benar	Tingkat Kebenaran (%)
ocean	30	24	80,00
ferry	30	26	86,67
freighter	30	29	96,67
small diesel	30	24	80,00
propeller	30	26	86,67
Total	150	129	86



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan analisis terhadap sinyal terekam dan hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan kesimpulan yaitu:

1. Hasil plot spectrogram menunjukkan perbedaan yang menonjol, dimana nilai dari SRN lebih tinggi intensitas kepadatan energinya pada 0-100 Hz.
2. Hasil plot DWT menunjukkan perbedaan mencolok pada level yang paling kasar, dimana pada SRN amplitudonya tinggi, sedangkan OCN relatif sama di tiap level.
3. Pada deteksi menggunakan parameter HMT, perbedaan yang paling menonjol antara data OCN dan SRN terletak pada parameter variansi HMT.
4. Hasil deteksi simulasi pada sistem menunjukkan tingkat kebenaran 86 % dari 150 data uji.

#### **5.2 Saran**

Dari hasil pengamatan dan analisis yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan tugas akhir berikutnya :

1. Pengambilan data sebaiknya dilakukan juga di dalam kondisi nyata (dalam hal ini lautan atau sungai), agar diperoleh parameter deteksi yang nyata.
2. Penggunaan metode deteksi sebaiknya dilengkapi pula dengan metode lain, agar keputusan deteksi lebih akurat.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] “*Ocean Acoustics*”, <URL: <http://venus.uvic.ca/research/ocean-processes/ocean-acoustics/>>, diambil pada tanggal 28 Desember 2013.
- [2] “*How fast does sound travel?*”, <URL: <http://www.dosits.org/science/soundmovement/speedofsound/>>, diambil pada tanggal 28 Desember 2013.
- [3] Etter, P. C., “*Underwater Acoustic Modelling*”, 2nd edition, Chapman & Hall, London, 1996.
- [4] Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B. and Schmidt, H., “*Computational Ocean Acoustics*”, American Institute of Physics, New York, Chapter 1, 1994.
- [5] Brekhovskikh, L. M., Lysanov, Y. P., “*Fundamental of Ocean Acoustic*”, American Institute of Physics, New York, 2003.
- [6] “*What are common underwater sounds?*”, <URL: <http://www.dosits.org/science/soundsinthesea/commonsounds/>>, diambil pada tanggal 28 Desember 2013.
- [7] Flanagan, J. L., “*Speech Analysis, Synthesis and Perception*”, Springer- Verlag, New York, 1972.
- [8] Haykin, S., “*Advances in Spectrum Analysis and Array Processing*”, vol.1, Prentice-Hall, 1991.
- [9] Nowak, R. D., “*Lecture 6: Neyman-Pearson Detectors*”, University of Wisconsin, Madison, 2011.
- [10] Nowak, R. D., “*Lecture 5: Introduction to Detection Theory*”, University of Wisconsin, Madison, 2011.
- [11] Yue Z., Zhibin N., Chenghao W., “*A Novel Approach to Detect Ship-Radiated Signal Based on HMT*”, 20th International Conference on Pattern Recognition, pp.4601-4604, 2010.
- [12] Crouse M. S., Nowak R.D., Baraniuk R.G., “*Wavelet-Based Statistical Signal Processing Using Hidden Markov Models*”, IEEE Trans. Signal Processing , vol. 46, pp.886-902, 1998.
- [13] “*Spectrogram Reading : What are Spectrograms?*”, <URL: <http://www.cslu.ogi.edu/tutordemos/SpectrogramReading/spectrogram.html>>, diambil pada tanggal 29 Desember 2013.
- [14] “*Underwater Sounds Recorded in Glacier Bay*”, <URL: <http://www.nps.gov/glba/naturescience/soundclips.htm>>, diambil pada tanggal 29 Desember 2013.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## RIWAYAT PENULIS



**Musa Ibrahim** dilahirkan di Banyuwangi pada tanggal 01 April 1990. Merupakan putra pertama dari dua bersaudara pasangan Mustafa, S.H. dan Hakimah. Lulus dari SD Unggulan Habibulloh Giri Banyuwangi pada tahun 2002 dan melanjutkan ke SMP Unggulan Habibulloh Giri Banyuwangi. Kemudian melanjutkan jenjang pendidikan ke SMA Negeri 1 Glagah Banyuwangi pada tahun 2005 dan lulus pada tahun 2008.

Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studinya ke Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN pada tahun 2008. Pada bulan Juni 2014 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro FTI - ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## LAMPIRAN

### LISTING MATLAB

#### Simulasi\_Deteksi\_HMT.m

```
clc, clear all, close all
% % % % % % % % % % % % % % % %
% input sinyal ocean ambient noise

[oce,fso,nbitso]= wavread ...
('D:\Dropbox\mu\trim\light_north_wind_Aug_31_200
0@103356.wav');
oce=oce(:,1);
oce=oce';
figure (1);
plot (oce');
title ('Sinyal Suara Ocean Ambient Noise');
xlabel('sampel');
ylabel('Amplitude (v)');

% % % % % % % % % % % % % % % %
% input sinyal ship-radiated noise
[shi,fss,nbitss]= wavread...
('D:\Dropbox\mu\trim\Alaska state
ferry_Oct_02_2000@101413.wav');
shi=shi(:,1);
shi=shi';
figure (2);
plot (shi');
title ('Sinyal Suara Ship-Radiated Noise');
xlabel('sampel');
ylabel('Amplitude (v)');

b1=10001;
b2=11024;
b3=550001;
b4=551024;
```



```

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% sampling sinyal ocean ambient noise
o=oce (b1:b2);

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% sampling sinyal ship radiated noise
s=shi (b1:b2);

lvl_dwt=round(log2 (b2-b1+1));
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % %
% perform dwt pada level untuk sinyal ocean
ambient noise
[ocn,lo] = wavedec (o,lvl_dwt,'haar');
figure(3);
subplot(2,1,1);
plot (o);
title ('Sinyal Sampling Ocean Ambient Noise');
xlabel ('sampel');
ylabel ('Amplitude (v)');
subplot(2,1,2); plot (ocn);
title ('Hasil transformasi Wavelet Ocean Ambient
Noise');
xlabel ('koefisien');
ylabel ('Amplitude (v)');

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % %
% perform dwt pada level untuk sinyal ship
radiated noise
[srn,ls] = wavedec (s,lvl_dwt,'haar');
figure(4);
subplot(2,1,1);
plot (s);
title ('Sinyal Sampling Ship-Radiated Noise');
xlabel ('sampel');
ylabel ('Amplitude (v)');
subplot(2,1,2); plot (srn);

```

```

title ('Hasil transformasi Wavelet Ship Noise');
xlabel('koefisien');
ylabel('Amplitude (v)');

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% pemodelan HMT untuk sinyal ocean ambient noise
[ESo, PSo, MUo, SIo] = trainEM_tree(ocn,2);

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% pemodelan HMT untuk sinyal ship radiated noise
[ESs, PSs, MUs, SIs] = trainEM_tree(srn,2);

for i=1:lvl_dwt
    Eso_11(i)=ESo(1,1,i);
    Eso_12(i)=ESo(1,2,i);
    Eso_21(i)=ESo(2,1,i);
    Eso_22(i)=ESo(2,2,i);

    Ess_11(i)=ESs(1,1,i);
    Ess_12(i)=ESs(1,2,i);
    Ess_21(i)=ESs(2,1,i);
    Ess_22(i)=ESs(2,2,i);
end

figure(5);
subplot(2,2,1); plot (Eso_11, '-b');
hold on; subplot(2,2,1); plot(Ess_11, ':r');
title ('Parameter Transisi');
xlabel('Level');
ylabel('Probabilitas');
subplot(2,2,2); plot (Eso_12, '-b');
hold on; subplot(2,2,2); plot(Ess_12, ':r');
title ('Parameter Transisi');
xlabel('Level');
ylabel('Probabilitas');
subplot(2,2,3); plot (Eso_21, '-b');
hold on; subplot(2,2,3); plot(Ess_21, ':r');

```

```

title ('Parameter Transisi');
xlabel('Level');
ylabel('Probabilitas');
subplot(2,2,4); plot (Eso_22, '-b');
hold on; subplot(2,2,4); plot (Ess_22, ':r');
title ('Parameter Transisi');
xlabel('Level');
ylabel('Probabilitas');

figure(6);
subplot(1,2,1); plot (SIo(1,:), '-b');
hold on; subplot(1,2,1); plot (SIs(1,:), ':r');
title ('Variansi');
xlabel('Level');
ylabel('Probabilitas');
subplot(1,2,2); plot (SIo(2,:), '-b');
hold on; subplot(1,2,2); plot (SIs(2,:), ':r');
title ('Variansi');
xlabel('Level');
ylabel('Probabilitas');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%parameter HMT sinyal
ocean%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
m_o = mean(o); %mean
var_o = var(o); %varian
PDF0 = normpdf(o,m_o,var_o); %pdf
ocean

sig_uji=shi(440001:441024);%ganti
u=sig_uji;

%parameter HMT sinyal uji
m_u = mean(u); %mean
var_u = var(u); %varian
PDF1 = normpdf(u,mean(u),var(u)); %pdf
uji

```

```

L=PDF1/PDF0;

%Penentuan Probability False Alarm
Pfa=0.1;
%Penentuan Treshold
thr=(icdf('norm',1-Pfa,mean(o),var(o)))
Pd=1-cdf('norm',thr,mean(u),var(u))

%Uji Sinyal dengan Treshold
if L>(thr)
    kondisi='present'
else
    kondisi='absent'
end

% trainEM_tree.m
%
% Fit a coarse to fine scale HMT model to the
given data using the EM
% algorithm. Based on the Crouse, Nowak,
Baraniuk paper.
% Usage : [ES, POS, MU, SI] = trainEM_tree(w, M,
maxIter)
% w - wavelet transform to model, row vector
% M - number of states (mixture components)
% maxIter (optional) - maximum number of
iterations to run
% ES, POS, MU, SI - HMT model parameters,
constant by scale
%
% Written by : Justin Romberg
% Created : 1/14/99

function [ES, POS, MU, SI] = trainEM_tree(w, M,
maxIter)

% number of data points and resolutions

```

```

N = length(w);
L = log2(N);

% make sure maxIter is defined
if nargin<3
    maxIter = 30;
end

% get starting points for model parameters
[ES, POS, MU, SI] = startPoints(w, L, M);

% loop until we have converged
pS = zeros(M,L);
pSi = zeros(M,N);
converged = 0;
iter = 0;
while (converged == 0)

    pSio = pSi;

    % "E step"
    [pSi, alpha, beta, btpni] = updown_tree(w, ES,
    POS, MU, SI, 1);

    % "M step"
    ESo = ES; POSo = POS; MUo = MU; SIo = SI; pSo
    = pS;
    for ll = 1:L
        % temporary variables to make notation more
        managable
        inds1 = 2^(ll-1)+1;
        inds2 = 2^ll;
        Nll = inds2-inds1+1;
        pSiSp = zeros(M,M,Nll);
        bt1 = beta(:,inds1:inds2);
        al = alpha(:,inds1:inds2);
        alp1 = alpha(:,parent(inds1:inds2));
        btpil = btpni(:,inds1:inds2);
    end
end

```

```

    % update the scale constant mixture
probabilities
    pS(:,ll) = mean(pSi(:,inds1:inds2),2);

    % calculate joint pmf between child and
parent states to update the
    % transition matrix
    % inefficient right now, change later
    if (ll > 1)
        for mm = 1:M
            for nn = 1:M

pSiSp(mm,nn,:) = ESo(mm,nn,ll) * btl(mm,:) .* alpl(nn,
:). * btpil(nn,:);
                %./...sum(al.*btl,1);
            end
            end
            pSiSp =
pSiSp ./ repmat(sum(sum(pSiSp,1),2), [M M 1]);
            ES(:, :, ll) =
mean(pSiSp,3) ./ repmat(pS(:,ll-1)', [M 1]);
            end

    % update the transition matrix
    %if (ll > 1)
    % ES(:, :, ll) =
mean(pSiSp,3) ./ repmat(pS(:,ll-1)', [M 1]);
    %end

    % update the mixture means
    %MU(:,ll) = mean(repmat(w(inds1:inds2), [M
1]). * pSi(:,inds1:inds2)). / ...
    %pS(:,ll);
    MU(:,ll) = zeros(M,1);

    % update the mixture variances
    SI(:,ll) = mean(pSi(:,inds1:inds2). * ...
    (repmat(w(inds1:inds2), [M 1]) - ...

```

```

    repmat(MU(:,11), [1 N11])).^2, 2)./pS(:,11);

end

% update the initial state distribution
POS = pS(:,1);

% test for convergence
iter = iter + 1;
if (iter >= maxIter)
    converged = 1;
    err1 = abs(SI-SIo);
    err2 = abs(pS-pSo);
    err3 = abs(pSi-pSio);
    max(err1(:));
    max(err2(:));
    max(err3(:));
end

%keyboard
end % while loop

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% quick function to calculate the parents of
given nodes
function p = parent(ii)
p = ceil(ii/2);

% function to pick starting points for the EM
alg by fitting independent
% mixture models
function [ES, POS, MU, SI] = startPoints(w, L,
M)

```

```

% allocate space for model parameters
ES = zeros(M,M^2,L);
POS = zeros(M,1);
MU = zeros(M,L);
SI = zeros(M,L);

% pick starting points for the EM alg by fitting
independent mixture models
for ll = 2:L
    inds1 = 2^(ll-1)+1;
    inds2 = 2^ll;
    [ps,mu,si] = indmixmod(w(inds1:inds2), M, 30,
1);
    MU(:,ll) = mu;
    SI(:,ll) = si;
end
SI(:,1) = SI(:,2);
POS = .5*ones(M,1);
es = .5*ones(M,M);
ES = repmat(es,[1 1 L]);

% indmixmod.m
%
% Uses the EM algorithm to fit an independent,
zero mean, mixture model to
% the input data with the specified number of
states.
%
% function [epsi,mui,vari] =
indmixmod(dat,nmix,niter,zeromean)
%
% Outputs:
%   epsi --- mixture probabilities
%   mui   --- mixture means
%   vari  --- mixture variances
%
%
```



```

% Inputs:
% dat --- data to be fit
% nmix --- number of mixture components
% niter --- max number of iters for em
algorithm
% zeromean -- if ~= 0, constrains means to be
0
%
% Written by : Matt Crouse and Justin Romberg

function [epsi, mui, vari] = indmixmod(dat,
nmix, niter, zm)

L = length(dat);
[epsi,mui,vari]=initem(dat,nmix);

% default is zero mean
if (nargin < 4)
    zm = 1;
end

datmat= repmat (dat',1,nmix);
varimat=repmat (vari,L,1);
muimat=repmat (mui,L,1);
epsimat=repmat (epsi,L,1);
%keyboard

for iter=1:niter
    pst= exp(-(datmat-
muimat).^2.0./(2*varimat))./sqrt (varimat) .*epsim
at;
    scale = sum(pst',1)' + eps;
    scalemat=repmat (scale,1,nmix);

    %keyboard

    pst = pst./scalemat;

```

```

    epsi = mean(pst)+eps;
    epsimat = repmat(epsi,L,1);

    % For denoising, constraint mui to be 0 so
    skip next statement
    if (zm ~= 0)
        mui = zeros(1,nmix);
    else
        mui = mean(pst.*datmat)./epsi;
    end

    muimat=repmat(mui,L,1);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%

    vari = mean(pst.*(datmat-muimat).^2)./epsi;

    % Constrain variances > 0, so no singular
    solutions
    % Minimum value depends on application
    vartol = 1e-5;
    vari = vari .* (vari > vartol) +vartol
    .* (vari<=vartol);
    varimat=repmat(vari,L,1);

    %keyboard
end

% return columns
epsi = epsi';
vari = vari';
mui = mui';

% sort the states by size of variance
[vari,ind] = sort(vari);
epsi = epsi(ind);
mui = mui(ind);

```

```

% initialization
function [p, mui, sig] = initem(dat,nmix)
%p = (1/nmix)*ones(1,nmix);
maxdat = max(dat);
mindat = min(dat);
div = linspace(mindat, maxdat, nmix+1);
mui = diff(div)/2 + div(1:end-1);
div(end) = div(end) + 1e-3;
if (length(mui) < 2)
    sig = diff(div);
else
    sig = (mui(2) - mui(1))^2*ones(1,nmix);
end

for ii = 1:nmix
    p(ii) = sum((dat>=div(ii)) &
(dat<div(ii+1)))/length(dat);
end

%keyboard

% updown_tree.m
%
% Upwards-Downwards probability propogation
routine for coarse to fine
% trees. Assumes the the model is scalewise
constant. Based on the Crouse,
% Nowak, Baraniuk paper.
% Usuage : [gamma,alpha,beta,btpni,lk] =
updown_tree(w, ES, POS, MU, SI, scl)
% w - wavelet coefficients of the signal to be
analyzed, row vector 1xN
% ES, POS, MU, SI - HMT model parameters
% scl - if ~=0, scale alpha and beta to prevent
underflow. Default = 0;
% alpha - downward parameter (likelihood)
% beta - upward parameter (likelihood)

```

```

% btpni - upward parameter of parent without
current subtree (likelihood)
% lk - likelihood of w given the model (log
likelihood if scl~=0)
%
% Written by : Justin Romberg
% Created : 1/14/99

function [gamma,alpha,beta,btpni,lk] =
updown_tree(w, ES, POS, MU, SI, scl)

% make sure that scl is defined
if (nargin < 6)
    scl = 0;
end

% number of data "nodes", number of levels in
tree, and number of states
N = length(w);
L = size(MU,2);
M = size(MU,1);

% initialize posterior probs
gamma = zeros(M,N);

% upward (beta) and downward (alpha) parameters
alpha = zeros(M,N);
beta = zeros(M,N);
btpni = zeros(M,N);
betaipi = zeros(M,N);

% scaling coefficients, not in the wavelet
sense, but in the preventing
% arithmetic underflow sense
c = zeros(1,N);

% ind. likelihood values for each wavelet
coefficient in each state

```

```

f = zeros(M,N);

% "up" step

% initialization
inds1 = 2^(L-1)+1;
inds2 = 2^L;
for ii = inds1:inds2
    f(:,ii) = gaussian(repmat(w(ii), [M 1]),
MU(:,L), SI(:,L));
    beta(:,ii) = f(:,ii);
    c(ii) = sum(beta(:,ii),1);
    if (scl ~= 0)
        beta(:,ii) = beta(:,ii)/c(ii);
    end
end
betaapi(:,inds1:inds2) =
ES(:, :, L)'*beta(:,inds1:inds2);

% induction
for ll = (L-1):-1:1
    inds1 = 2^(ll-1)+1;
    inds2 = 2^ll;
    for ii = inds1:inds2
        f(:,ii) = gaussian(repmat(w(ii), [M 1]),
MU(:,ll), SI(:,ll));
        beta(:,ii) =
f(:,ii).*betaapi(:,leftChild(ii)).*...
betaapi(:,rightChild(ii));
        btpni(:,leftChild(ii)) =
beta(:,ii)./betaapi(:,leftChild(ii));
        btpni(:,rightChild(ii)) =
beta(:,ii)./betaapi(:,rightChild(ii));
        c(ii) = sum(beta(:,ii),1);
        if (scl ~= 0)
            beta(:,ii) = beta(:,ii)/c(ii);
        end
    end
end

```

```

    betaipi(:,inds1:inds2) =
ES(:, :, ll)'*beta(:,inds1:inds2);
end

% "down" step

% initialization
alpha(:,2) = POS;
if (scl ~= 0)
    alpha(:,2) = alpha(:,2)/c(2);
end

% induction
for ll = 2:L
    inds1 = 2^(ll-1)+1;
    inds2 = 2^ll;
    for ii = inds1:inds2
        alpha(:,ii) =
ES(:, :, ll)*(alpha(:,parent(ii)).*btpni(:,ii));
        if (scl ~= 0)
            alpha(:,ii) = alpha(:,ii)/c(ii);
        end
    end
end
end

% calculate posterior distribution on the states
gamma(:,2:N) = (alpha(:,2:N).*beta(:,2:N))./...
    repmat(sum(alpha(:,2:N).*beta(:,2:N),1), [M
1]);
gamma(:,1) = zeros(M,1);
%disp('Ignore preceding divide by 0 error');

if (scl ~= 0)
    lk = sum(log10(c(2:end))) - log10(2);
else
    lk = sum(alpha(:,2).*beta(:,2));
end

```

```
%keyboard
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% function that returns the left child of a  
given node
```

```
function lc = leftChild(ii)  
lc = 2*ii - 1;
```

```
% function that returns the right child of a  
given node
```

```
function rc = rightChild(ii)  
rc = 2*ii;
```

```
% function that returns the sibling of a given  
node
```

```
function s = sibling(ii)  
if (rem(ii,2)==1)  
    s = ii+1;  
else  
    s = ii-1;  
end
```

```
% function that returns the parent of a given  
node
```

```
function p = parent(ii)  
% robust?????  
p = ceil(ii/2);
```

```
% "robust" normpdf function. It takes the mean  
and VARIANCE and returns the  
distribution value. The variance is  
thresholded at 1e-5. The return  
value is thresholded at 1e-20.
```

```
function f = gaussian(x, mui, vari)
```

```
inds1 = find(vari < 1e-5);  
vari(inds1) = (1e-5)*ones(size(inds1));  
f = normpdf(x, mui, sqrt(vari));  
inds2 = find(f < 1e-20);  
f(inds2) = (1e-20)*ones(size(inds2));
```



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*