



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK SENSOR TSUNAMI
DENGAN TEKNIK HIDDEN MARKOV MODEL**

SKRIPSI

**SAADDATUDDAROIN
0706199893**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK SENSOR TSUNAMI
DENGAN TEKNIK HIDDEN MARKOV MODEL**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar menjadi
Sarjana Teknik**

SAADDATUDDAROIN

0706199893

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK
JUNI 2009**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK SENSOR TSUNAMI DENGAN TEKNIK HIDDEN MARKOV MODEL

**Adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip
maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Saaddatuddaroin
NPM : 0706199893
Tanda Tangan : _____
Tanggal : 16 juni 2009

PENGESAHAN

Seminar ini diajukan oleh :

Nama : Saaddatuddaroin
NPM : 0706199893
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK
SENSOR TSUNAMI DENGAN TEKNIK HIDDEN
MARKOV MODEL**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo M.Sc.** (_____)
Pembimbing : **Dr. Ir. Arman D.Diponegoro** (_____)
Penguji : _____ (_____)
Penguji : _____ (_____)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 08 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada ALLOH SWT, karena atas Berkah dan Rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan seminar ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan seminar ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo M.Sc, selaku dosen pembimbing I telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan skripsi ini ;
2. Kedua Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
3. Teman dan sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan seminar ini.

Akhir kata, saya berharap ALLOH SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga seminar ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmupengetahuan.

Depok, 08 Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : Saaddatuddaroin
NPM : 0706199893
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : TEKNIK ELEKTRO
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Perancangan Perangkat Lunak Sensor Tsunami Dengan Teknik Hidden Markov Model**. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, Mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 08 Juni 2009
Yang menyatakan

(Saaddatuddaroin)

ABSTRAK

Nama : Saaddatuddaroin
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Perancangan Perangkat Lunak Sensor Tsunami Dengan Teknik Hidden Markov Model

Seminar ini berisi tentang sistem pendeteksian gelombang gempa penyebab tsunami dengan menggunakan metoda *Hidden Markov Models (HMM)* dengan membandingkan keseluruhan sistem terhadap perubahan ukuran *codebook*, besarnya *iterasi* dan durasi sinyal.

Pada sistem pendeteksian ini, gelombang gempa yang diterima disampling terlebih dahulu kedalam bentuk diskrit. Sinyal diskrit ini diekstraksi agar diperoleh karakteristiknya dengan menggunakan MFCC (*Mel Frequency Cepstrum Coefficient*). Vektor data yang terbentuk kemudian dikuantisasi dengan algoritma *General Lloyd Algorithm (GLA)* yang selanjutnya akan ditraining dengan metoda HMM dan diidentifikasi. Pada tahap identifikasi gelombang perubahan fase (*recognition*), ketiga jenis parameter ini diteliti unjuk kerjanya berdasarkan tingkat akurasi yang diperoleh. Peningkatan ukuran *codebook*, besar repetisi dan durasi sinyal memberikan peningkatan pada persentasi keberhasilan ini.

ABSTRACT

Name : Saaddatuddaroin
Study Program : Electrical Engineering
Title : Design Software Sensor Tsunami With Hidden Markov Model Technique

This seminar contains a system of earthquake causes tsunami waves by using the method of *Hidden Markov Models (HMM)* compare with the whole system to change the size of *codebook*, the size of the *Iterations* and the duration of the signal.

On this system, the earthquake waves which received then take sampling into diskrit form. Diskrit signal is extracted so that the characteristics obtained by using the *MFCC (Mel Frequency Cepstrum Coefficient)*. Vector data and that the algorithm quantized by *General Lloyd algorithm (GLA)*, which will then be trained with the methods and identified HMM. At the identification stage, the wave changes phase (*recognition*), this third type of parameters are based on the performance of the level of accuracy obtained. Increasing the *codebook* size, duration and repetition of the signal gives an increase in the percentage success.

Keyword : Tsunami, early warning system, Hidden Markov Model.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Gempa Bumi	4
2.2 Tsunami	6
2.3 Voice Recognition	14
2.4 Proses-proses dalam Pengenalan Gelombang Gempa	15
2.4.1 Sampling Sinyal Analog	15
2.4.2 Feature Extraction	16
2.4.3 Mel-Freq Ceptrum Coefficient Processor.....	17
2.4.4 Frame Blocking	18
2.4.5 Fast Fourier Transform (FFT)	18
2.4.6 Windowing	18
2.4.6 Mel-frek Wrapping	19
2.4.7 Cepstrum	20
2.4.8 Vector Quatization	21
2.5 Hidden Markov Model (HMM)	23
3. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK PENGENALAN GELOMBANG GEMPA	29
3.1 Prinsip Kerja Sistem	29
3.2 Blok Diagram Dan Fungsinya	29
3.3 Membuat Label Database, Codebook dan HMM	36
3.4 Recognition	38
4. UJI COBA PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK PENGENALAN GELOMBANG GEMPA	37
4.1 Uji coba sistem	37
4.1.1 Uji coba ukuran codebook 32 dan durasi sinyal 0,1 detik	42

4.1.2 Uji coba ukuran codebook 64 dan durasi sinyal 0,1 detik	43
4.1.3 Uji coba ukuran codebook 128 dan durasi sinyal 0,1 detik	44
4.1.4 Uji coba ukuran codebook 32 dan durasi sinyal 0,5 detik	45
4.1.5 Uji coba ukuran codebook 64 dan durasi sinyal 0,5 detik	46
4.1.6 Uji coba ukuran codebook 128 dan durasi sinyal 0,5 detik	47
4.1.7 Uji coba ukuran codebook 32 dan durasi sinyal 1 detik	48
4.1.8 Uji coba ukuran codebook 64 dan durasi sinyal 1 detik	49
4.1.9 Uji coba ukuran codebook 128 dan durasi sinyal 1 detik	50
4.2 Analisa sistem	51
4.1.1 Rangkuman data hasil ujicoba	51
4.1.2 Analisis pengaruh perubahan ukuran <i>codebook</i> terhadap sistem ...	52
4.1.3 Analisis pengaruh perubahan besar iterasi terhadap sistem	53
4.1.4 Analisis pengaruh perubahan durasi pencuplikan terhadap sistem	54
5. KESIMPULAN	55
DAFTAR ACUAN	56
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Terjadinya Tsunami	6
Gambar 2.2	Peta Sumber Gempa Bumi Sepanjang Barat Sumatera	8
Gambar 2.3	Peta Teknotik Kepulauan Indonesia tampak zona suduksi dan sesar aktif	12
Gambar 2. 4	Model terbentuknys Gelombang tsunami yang diakibatkan oleh peristiwa gempa	13
Gambar 2. 5	Pergerakan lempeng bumi pada daerah patahan yang akan menimbulkan deformasi bawah laut secara vertikal yang akan menyebabkan timbulnya gelombang tsunami	14
Gambar 2. 6	Diagram pembentukan model referensi terbentuknya gelombang tsunami yang diakibatkan oleh peristiwa gempa	15
Gambar 2. 7	Sampling diskrit suatu sinyal	15
Gambar 2.8	Sinyal hasil sample data	16
Gambar 2.9	MFCC processor	17
Gambar 2.10	Grafik mel-frekuensi versus frekuensi	20
Gambar 2.11	Codebook dari suatu input vektor	21
Gambar2.12	Diagram konsep pembentukan codebook dengan vector quantization suatu suara dan lainnya dapat dibedakan berdasarkan lokasi dari centroidnya	22
Gambar 2. 13	HMM dengan 4 state	24
Gambar 3. 1	Blok Diagram sistem.....	26
Gambar 3. 2	Tampilan menu utama	28
Gambar 3. 3	Flowchart program pengenalan gempa.....	29
Gambar 3. 4	Tampilan Recognition	30
Gambar 3. 5	Tampilan Training HMM.....	30
Gambar 3. 6	Tampilan Recognition	34
Gambar 3. 7	Tampilan Recognition setelah tombol proses ditekan untuk file Yang tidak berpotensi tsunami	36
Gambar 4.1	Hasil labelisasi gelombang tsunami.....	37
Gambar 4.2	Hasil labelisasi gelombang non tsunami.....	38
Gambar 4.3	Hasil Pembuatan codebook	39
Gambar 4.4	Hasil Pembuatan HMM.....	40
Gambar 4.5	Proses identifikasi gelombang gempa berpotensi tsunami	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Gempa Bumi dan <i>Tsunami</i> di daerah Indonesia.....	10
Tabel 4. 1	Hasil uji coba ukuran codebook 32 dan durasi sinyal 0,1 detik	42
Tabel 4. 2	Hasil uji coba ukuran codebook 64 dan durasi sinyal 0,1 detik	43
Tabel 4. 3	Hasil uji coba ukuran codebook 128 dan durasi sinyal 0,1 detik	44
Tabel 4. 4	Hasil uji coba ukuran codebook 32 dan durasi sinyal 0,5 detik	45
Tabel 4. 5	Hasil uji coba ukuran codebook 64 dan durasi sinyal 0,5 detik	46
Tabel 4. 6	Hasil uji coba ukuran codebook 128 dan durasi sinyal 0,5 detik	47
Tabel 4. 7	Hasil uji coba ukuran codebook 32 dan durasi sinyal 1 detik	48
Tabel 4. 8	Hasil uji coba ukuran codebook 64 dan durasi sinyal 1 detik	49
Tabel 4. 9	Hasil uji coba ukuran codebook 128 dan durasi sinyal 1 detik	50
Tabel 4. 10	Persentase akurasi keseluruhan	51
Tabel 4. 11	Persentase akurasi label tsunami	52
Tabel 4. 12	Persentase akurasi label non tsunami	52

DAFTAR ISTILAH

1. **Centroid** : sebuah titik yang mewakili beberapa titik-titik sample (codeword) dalam satu cluster.
2. **Cluster** : suatu ruang dua dimensi dari suatu bidang yang bentuknya tergantung dari reknik yang digunakan.
3. **Codebook** : kumpulan dari sejumlah codeword dari beberapa gelombang.
4. **Codeword** : titik-titik sample dari besaran komponen-komponen spektrum frekuensi dari suatu gelombang yang diperoleh dari hasil transformasi Fourier.
5. **FFT** : Fast Fourier Transform, teknik atau cara untuk mengkonversi suatu gelombang dari domain waktu ke domain frekuensi.
6. **Frame blocking** : Sinyal kontinu dibagi-bagi dalam frame.
7. **LoP** : *Log of Probability*, besarnya kemungkinan munculnya suatu pengamatan dari suatu sederetan munculnya suatu kejadian-kejadian tertentu (probability of transition) dengan memperhitungkan kemungkinan munculnya kejadian yang mengikuti sebelumnya.
8. **Mel frequency cepstrums coefficients** : didasarkan pada variasi batas *bandwidth* frekuensi pendengaran manusia. MFCC memfilter secara linear pada frekuensi rendah dan secara logaritmik pada frekuensi tinggi untuk menangkap karakteristik penting dari sinyal suara.
9. **Iterasi** adalah banyaknya pengulangan yang dilakukan dalam pengambilan sample suara gempap
10. **Vector quantization** : proses pemetaan vektor dari ruang vektor yang besar menjadi sebuah wilayah yang terbatas.
11. **Windowing** : akan meminimalisasikan sinyal yang telah *diframe-framekan* sehingga sinyal akan nol pada permulaan dan akhir masing-masing *frame*. Sinyal yang baru tersebut seperti diberi *fade in* dan *fade out*.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kondisi Geografis Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng sabuk pegunungan aktif yaitu lempeng Pasifik, lempeng Mediterania, dan lempeng Indo-Australia. Hal ini mengakibatkan Indonesia adalah negara yang rawan akan keadaan seismik. Gempa bumi terjadi apabila terjadi patahan akibat bergesernya lempengan. Sedangkan tsunami terjadi apabila tumbukan antarlempeng terjadi di bawah permukaan laut. Indonesia berada pada jalur *The Pasific Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) yaitu jalur rangkaian gunung api aktif di dunia. Cincin api Pasifik membentang di antara subduksi maupun pemisahan lempeng Pasifik dengan lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, lempeng Amerika Utara dan lempeng Nazca yang bertabrakan dengan lempeng Amerika Selatan. Cincin Api Pasifik membentang dari mulai pantai barat Amerika Selatan, berlanjut ke pantai barat Amerika Utara, melingkar ke Kanada, semenanjung Kamsatschka, Jepang, Indonesia, Selandia Baru, dan kepulauan di Pasifik selatan. Indonesia memiliki gunung berapi dengan jumlah mencapai 240 buah, dimana hampir 70 diantaranya masih aktif. Zona gempa dan gunung api aktif Sirkum Pasifik dikenal karena gempa hebat atau tsunami dahsyat di kawasan itu dapat dipastikan menelan korban jiwa manusia.[1]

Peristiwa Bencana secara histografi, Indonesia merupakan wilayah langganan gempa bumi dan tsunami. Pasca meletusnya Gunung Krakatau yang menimbulkan tsunami besar di tahun 1883, setidaknya telah terjadi 17 bencana tsunami besar di Indonesia selama hampir satu abad (1900-1996). Bencana gempa dan tsunami besar yang terakhir terjadi pada akhir 2004 di Aceh dan sebagian wilayah Sumatera Utara. Lebih dari 150.000 orang meninggal dunia. Setelah gempa Aceh di akhir 2004, pada 2005 Pulau Nias dan sekitarnya juga dilanda gempa. Sekitar 1000 orang menjadi korban. Pada akhir Mei 2006, Yogyakarta dan sebagian wilayah Jawa Tengah diporak-porandakan gempa bumi. Korban meninggal mencapai 5.000 orang.

Gempa bumi tidak dapat diramalkan waktu kejadiannya. Hal ini disebabkan gempa dapat terjadi secara tiba-tiba pada zona gempa bumi. Hal yang masih mungkin dapat dilakukan adalah membangun sistem peringatan dini (*early warning sytem*) yang berfungsi sebagai "*alarm*" darurat jika sewaktu-waktu terjadi gempa. Alat-alat pendeteksi gempa diletakkan pada daerah-daerah rawan gempa seperti Aceh, Nabire, Alor, Bengkulu, pantai selatan Jawa, dan sejumlah daerah rawan gempa lainnya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu rancangan sensor pendeteksi gempa dan tsunami menggunakan teknik *Hidden Markov Model*.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, terdapat beberapa permasalahan yang ditemui yaitu :

1. Bagaimana mengenali jenis gelombang gempa yang berpotensi menyebabkan tsunami atau non tsunami.
2. Bagaimana membuat suatu sistem pendeteksi gelombang gempa berpotensi tsunami yang akurat dan handal.

I.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi gelombang yang berpotensi tsunami dengan menggunakan Teknik *Hidden Markov Model*.

I.4 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini dibatasi hanya menerapkan *voice recognition* dengan metode *Hidden Markov Model* untuk indentifikasi gelombang gempa berpotensi tsunami.

I.5 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab, dimana masing-masing bab mempunyai kaitan satu sama lain, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Memberikan latar belakang tentang permasalahan, batasan masalah dan tujuan yang dibahas dalam tugas akhir ini.

BAB II GEMPA, TSUNAMI DAN HIDDEN MARKOV MODEL

Memberikan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan sistem peringatan dini, khususnya pada sub sistem perangkat pendeteksi *tsunami*. Membahas teori dasar yang menunjang perancangan sistem termasuk diantaranya Gempa, Tsunami dan *Hidden Markov Model*.

**BAB III PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK PENGENALAN
GELOMBANG GEMPA BERPOTENSI TSUNAMI**

Membahas perancangan sistem *software* yang dibuat berisi flowchart tentang jalannya program dan tampilan program.

BAB IV UJICoba DAN ANALISA

Berisi uji coba program dan analisa hasil identifikasi dengan perangkat lunak pengenalan gelombang yang berpotensi tsunami dan tidak.

BAB V KESIMPULAN

Berisikan beberapa kesimpulan dari dasar-dasar dan perancangan sistem

BAB II

GEMPA, TSUNAMI DAN HIDDEN MARKOV MODEL

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi disebabkan karena adanya pelepasan energi regangan elastis batuan dalam bentuk patahan atau pergeseran lempeng bumi. Semakin besar energi yang dilepas semakin kuat gempa yang terjadi. Ada dua teori yang menyatakan proses terjadinya atau asal mula gempa yaitu pergeseran sesar dan teori kekenyalan elastis. Menurut *R.Hoernes*, 1878, gempa bumi dapat diklasifikasikan secara umum berdasarkan sumber kejadian gempa menjadi :

1. Gempa bumi runtuh : gerakan yang diakibatkan oleh runtuhnya dari lubang-lubang interior bumi sebagai contoh runtuhnya tambang/batuan yang menimbulkan gempa
2. Gempa bumi vulkanik : gerakan yang diakibatkan oleh aktivitas gunung api
3. Gempa bumi tektonik : gerakan yang diakibatkan oleh lepasnya sejumlah energi pada saat bergesernya lempeng.[1]

Sedangkan menurut *Fowler*, 1990, gempa bumi dapat diklasifikasikan berdasarkan kedalaman fokus yaitu:

1. Gempa dangkal : kurang dari 70 km
2. Gempa menengah : kurang dari 300 km
3. Gempa dalam : lebih dari 300 km (kadang-kadang > 450 km)

Parameter-Parameter Gempa bumi antara lain;

a. Gelombang gempa bumi

Secara sederhana dapat diartikan sebagai merambatnya energi dari pusat gempa atau hiposentrum (fokus) ke tempat lain di bumi. Gelombang ini terdiri dari gelombang badan dan gelombang permukaan. Gelombang badan adalah gelombang gempa yang dapat merambat di lapisan bumi, sedangkan

gelombang permukaan adalah gelombang gempa yang merambat di permukaan bumi

b. Ukuran besar Gempa bumi

Magnitudo gempa merupakan karakteristik gempa yang berhubungan dengan jumlah energi total seismik yang dilepaskan sumber gempa. Magnitude ialah skala besaran gempa pada sumbernya. Jenis besaran gempa bumi :

- i. Magnitude gelombang badan, m_b , ditentukan berdasarkan jumlah total energi gelombang elastis yang ditransfer dalam bentuk gelombang P dan S
- ii. Magnitude gelombang permukaan: M_s ditentukan berdasarkan berdasarkan jumlah total energi gelombang love (L) dan gelombang Rayleigh (R) dengan asumsi *hyposenter* dangkal (30 km) dan amplitude maksimum terjadi pada periode 20 detik
- iii. Moment gempa "*seismic moment*" : M_0 merupakan skala yang menentukan magnitude suatu gempa bumi menurut momen gempa, sehingga dapat merupakan gambaran deformasi yang disebabkan oleh suatu gempa.

c. Intensitas

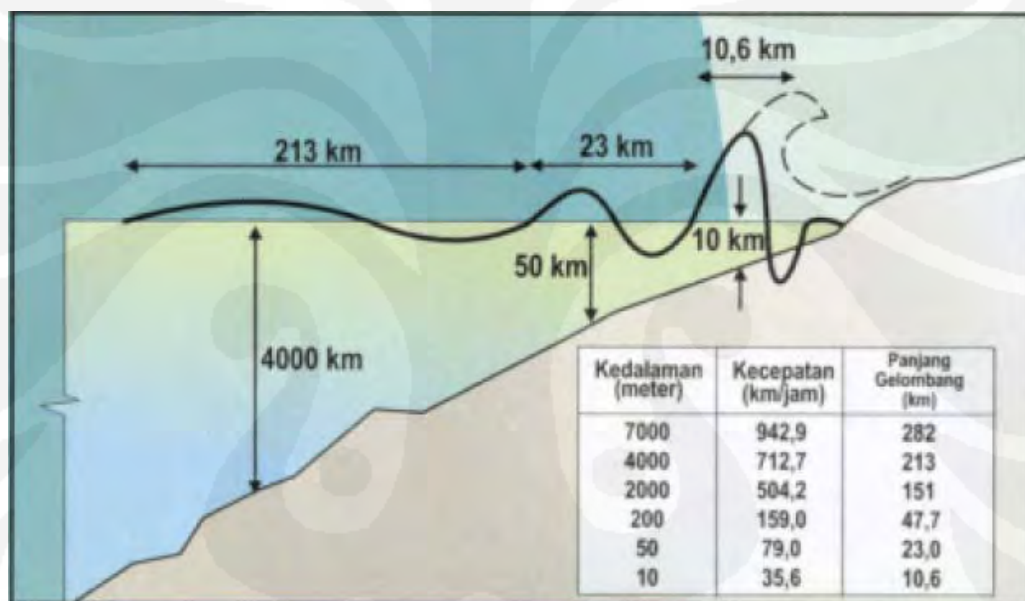
Intensitas adalah besaran yang digunakan untuk mengukur suatu gempa selain dengan magnitude. Intensitas dapat didefinisikan sebagai suatu besarnya kerusakan disuatu tempat akibat gempa bumi yang diukur berdasarkan kerusakan yang terjadi.

Harga intensitas merupakan fungsi dari magnitude, jarak ke episenter, lama gelombang, kedalaman gempa, kondisi tanah dan keadaan bangunan. Skala *Intensitas Modifikasi Mercalli (MMI)* merupakan skala intensitas yang lebih umum dipakai. Dibawah ini akan diuraikan pembagian intensitas serta efek yang

diakibatkan oleh besarnya intensitas tersebut dan nilai intensitas dalam satuan skala richter.

2.2 Tsunami

Istilah “*tsunami*” berasal dari kosa kata Jepang “*tsu*” yang berarti gelombang dan “*nami*” yang berarti pelabuhan, sehingga secara bebas, “*tsunami*” diartikan sebagai gelombang laut yang melanda pelabuhan. Proses terjadinya tsunami dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Terjadinya tsunami [1]

Tsunami dapat dideskripsikan sebagai gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh suatu gangguan impulsif yang terjadi pada medium laut, akibatnya timbul gaya impulsif yang bersifat sementara (transien). Selain bersifat transien, tsunami juga bersifat *nondispersive*, artinya kecepatan fasa gelombang tidak bergantung pada panjang gelombang. Tsunami mempunyai panjang gelombang yang besar sampai 100 km, lintasan partikel berbentuk elips dengan amplitudo lebih kurang 5 m. kecepatan rambat gelombang tsunami di laut

dalam mencapai antara 500 m sampai 1000 km/jam. Kecepatan ini tergantung dari kedalaman laut dan penjarannya mencapai ribuan kilometer.

Tsunami ditimbulkan oleh adanya *deformasi* (perubahan bentuk) pada dasar lautan, terutama perubahan permukaan dasar lautan dalam arah vertikal. Perubahan pada dasar lautan tersebut akan diikuti dengan perubahan permukaan lautan, yang mengakibatkan timbulnya penjalaran gelombang air laut secara serentak tersebar keseluruh penjuru mata-angin. Kecepatan rambat penjalaran tsunami di sumbernya bisa mencapai ratusan hingga ribuan km/jam, dan berkurang pada saat menuju pantai, dimana kedalaman laut semakin dangkal. Walaupun tinggi gelombang tsunami disumbernya kurang dari satu meter, tetapi pada saat menghepas pantai, tinggi gelombang tsunami bisa mencapai lebih dari 5 meter. Hal ini disebabkan berkurangnya kecepatan merambat gelombang tsunami karena semakin dangkalnya kedalaman laut menuju pantai, tetapi tinggi gelombangnya menjadi lebih besar, karena harus sesuai dengan hukum kekekalan energi.

Penelitian menunjukkan bahwa tsunami dapat timbul bila kondisi tersebut dibawah ini terpenuhi :

1. Gempabumi dengan pusat di tengah lautan.
2. Gempabumi dengan magnitudo lebih besar dari 6,0 skala Richter
3. Gempabumi dengan pusat gempa dangkal, kurang dari 33 Km
4. Gempa bumi dengan pola mekanisme dominan adalah sesar naik atau sesar turun
5. Lokasi sesar (*rupture area*) di lautan yang dalam (kolom air dalam).
6. Morfologi (bentuk) pantai biasanya pantai terbuka dan landai atau berbentuk teluk. [1]

Tsunami di Indonesia pada umumnya adalah *tsunami* lokal yang terjadi sekitar 10–20 menit setelah terjadinya gempa bumi yang dirasakan oleh masyarakat setempat. Sedangkan *tsunami* jarak jauh terjadi sekitar 1-8 jam setelah gempa dan masyarakat setempat tidak merasakan gelombang gempa buminya.

Pada Gambar 2.2, memperlihatkan peta sumber *episentrum* gempa bumi di sepanjang bagian barat pulau Sumatera.



Gambar 2. 2 Peta sumber gempa bumi sepanjang barat Sumatera
(Sumber Badan Meteorologi dan Geofisika). [2]

Pada lokasi pertemuan lempeng benua Indo Australia dengan lempeng Eurasia di dasar laut sepanjang pulau-pulau kecil di Barat Sumatera yaitu mulai dari P. Semelue, P. Nias, Kepulauan Mentawai sampai ke P. Enggano pada kedalaman 10km dari permukaan laut. Akibat adanya pertemuan tersebut memungkinkan terjadinya patahan atau penunjaman dimana lempeng Indo-Australia menekik masuk ke bagian bawah lempeng benua Eurasia yang akan menimbulkan gempa bumi tektonik di Barat Sumatera. Kejadian tersebut akan berulang sampai mencapai keseimbangan yang selama proses tersebut akan menimbulkan gempa bumi susulan. Memang tidak semua gempa menimbulkan gelombang *tsunami* tergantung dari kecepatan dan kecuraman patahan yang terjadi didasar laut meskipun menimbulkan gempa ber-Skala Richter (SR) besaran dipermukaan bumi daratan. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat peristiwa-peristiwa yang pernah terjadi gempa bumi di bagian barat Sumatera. Sebagai contoh gempa

bumi besar 7,6 skala *richter* yang terjadi di Bengkulu pada tahun 2000 tidak menimbulkan *Tsunami*. [2]

Gelombang *tsunami* memiliki kecepatan antara 500 sampai 1.000 km/jam (sekitar 0,14 sampai 0,28 kilometer per detik) di perairan terbuka, sedangkan gempa bumi dapat dideteksi dengan segera karena gelombang gempa yang memiliki kecepatan sekitar 4 kilometer per detik (14.400 km/j) [2]. Gelombang gempa yang lebih cepat dideteksi daripada gelombang *tsunami* memungkinkan dibuatnya peramalan *tsunami* sehingga peringatan dini dapat segera diumumkan kepada wilayah yang diancam bahaya. Agar lebih tepat, gelombang *tsunami* harus dipantau langsung di perairan terbuka sejauh mungkin dari garis pantai, dengan menggunakan sensor dasar laut secara *real time*. Berdasarkan informasi dari *BMG* (*Badan Metrologi dan Geofisika*), litbang *KOMPAS*, *wonderclub.com*, direktorat vulkanologi dan mitigasi bencana geologi pada Tabel 2.1 merupakan data dari gempa bumi dan *tsunami* yang telah terjadi di Indonesia.

Tabel 2.1 Gempa Bumi dan Tsunami di daerah Indonesia.

TANGGAL	LOKASI	KEKUATAN GEMPA	KORBAN JIWA
26 Juni 1976	Irian Jaya	7,1 SR	9.000 orang diperkirakan tewas
20 Januari 1981	Jaya Wijaya, Irian Jaya	6,0 SR	Sedikitnya 307 orang tewas dan 362 lainnya hilang
12 desember 1992	NTT	6,8 SR	2.200 orang tewas
4 Juni 2000	Bengkulu	7,3 SR	90 orang tewas dan 2.696 luka-luka
4 Mei 2000	Kabupaten Banggai Kepulauan, Sulawesi Tengah	6,5 SR	Dua desa tenggelam akibat diterjang gelombang tsunami, 386 orang tewas dan ribuan lainnya mengungsi
10 Oktober 2002	Papua	7,4 SR	Sedikitnya 4 orang tewas dan 172 lainnya luka – luka
6 Februari 2004	Kabupaten nabire, Papua	6,9 SR	Sedikitnya 23 orang tewas, 79 orang luka – luka.
12 November 2004	Alor, NTT	6 SR	26 orang tewas, ratusan luka – luka, dan 1.222 bangunan rusak.
26 November 2004	Kabupaten Nabire	6,4 SR	27 orang tewas, 33 luka berat, dan lebih dari 153 luka ringan.
23 Februari 1969	Pantai barat sulawesi	-	64 Orang tewas, 97 luka –luka
19 Agustus 1977	Sumba	-	150 orang tewas
12 Desember 1992	Pulau flores	7,5 SR	1.000 orang tewas
2 juni 1994	Banyuwangi, Ja-tim	7,2 SR	238 jiwa tewas dan 10.000 lainnya mengungsi
17 November 2000	Pulau biak, irian jaya	8,2 SR	100 orang luka parah dan 10.000 lainnya mengungsi.
3 november 2002	Kab. Simeulue, Prov. Nanggroe Aceh Darussalam.	5,3 SR	7.743 jiwa mengungsi
26 Desember 2004	Nanggroe Aceh Darrussalam dan sumatera utara (Kabupaten Nias, Nias selatan, dan Serdang Bedagai)	9,0 SR	Hingga 30 desember korban tewas tercatat sedikitnya 53.518 jiwa

”telah diolah kembali”

Sistem peringatan dini bahaya *tsunami* merupakan sistem yang dirancang untuk memecahkan masalah tersebut. Sistem ini mendeteksi terjadinya gempa yang mengarah pada peramalan *tsunami* yang kemudian memberikan peringatan untuk mencegah jatuhnya korban. Pada sistem ini terdiri atas dua bagian yaitu sub sistem sensor untuk mendeteksi *tsunami*, serta infrastruktur jaringan komunikasi untuk memberikan peringatan dini adanya bahaya *tsunami* kepada wilayah yang diancam bahaya agar proses evakuasi dapat dilakukan secepat mungkin.

Dengan menggunakan sensor perekam tekanan dasar berupa gelombang yang ditimbulkan dari pergeseran lempeng dan memanfaatkan pelampung (*buoy*) sebagai alat komunikasinya, maka bagian dari sub sistem perangkat pendeteksi *tsunami* tersebut atau mini komputer merupakan basis informasi data pertama kali, dan dapat digunakan untuk mendeteksi gelombang yang tidak dapat dilihat oleh pengamat manusia pada laut dalam.

Menurut BMG gempa yang terjadi di dasar laut, dengan kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km, magnitudo gempa lebih besar dari 6,0 skala *Richter*, serta jenis pensesaran gempa tergolong sesar naik atau sesar turun (terjadinya *deformasi* vertikal dasar laut yang cukup besar). Maka hal tersebut yang memicu terjadinya *tsunami*, berdasarkan data BMG untuk daerah yang pernah terjadi *tsunami*, yaitu: di Kepulauan Seram, Ambon, Kepulauan Banda dan kepulauan kai. Oleh sebab itu gempa tektonik pada tanggal 26 Desember 2004 yang berpusat di Samudera Indonesia pada kedalaman 4 km dari dasar laut dan berkekuatan 9,0 SM (*Skala Magnitude*) itu telah menghasilkan *tsunami* dahsyat. Berdasarkan catatan, gempa tektonik memang menyumbang kontribusi besar terjadinya *tsunami* baik di dalam maupun di luar negeri.[3]

Gempa bumi tektonik berdasarkan tempat terjadinya, terdiri dari:

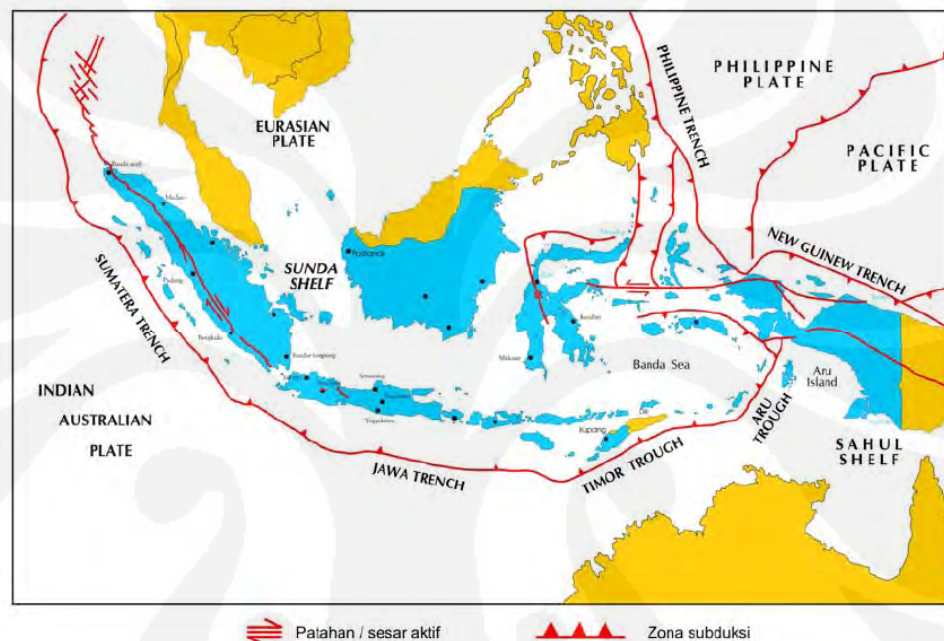
1. Gempa *interplate* (*Interplate Earthquake*)

Gempa yang terjadi didaerah persinggungan (*interface*) *seismogenic* atau *megathrust* antara dua lempeng, yaitu lempeng Samudra (*subducting plate*) dan lempeng Benua (*Overlying plate*).

2. Gempa *intraplate* (*Intraplate Earthquake*)

Gempa yang terjadi dalam badan lempeng baik lempeng benua maupun lempeng samudera.

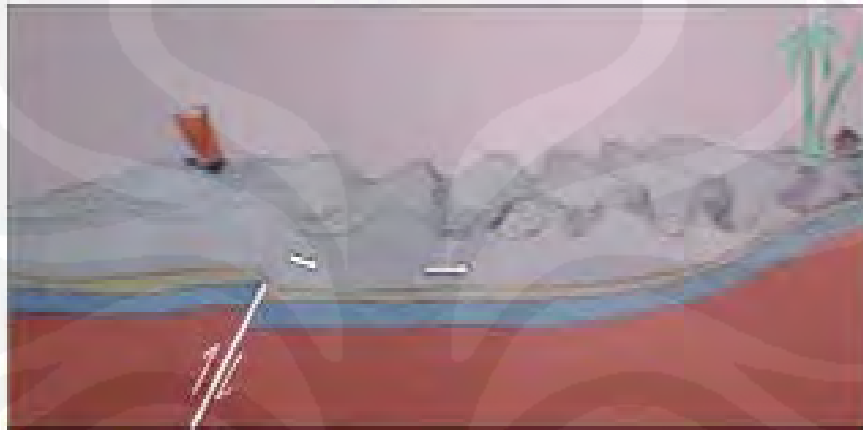
Pada Gambar 2.3 memperlihatkan jalur – jalur daerah yang mengalami patahan/sesar aktif dengan zona *subduksi*-nya pada daerah wilayah kepulauan Indonesia, yang merupakan daerah gempa penyebab timbulnya *tsunami*.



Gambar 2. 3 Peta Tektonik kepulauan Indonesia, tampak zona *subduksi* dan sesar aktif. [4]

Secara geografis, wilayah Indonesia termasuk daerah yang rawan gempa, ini disebabkan wilayah Indonesia merupakan tempat bertemunya tiga lempeng, yaitu: Eurasia (Asia Tenggara), Indo-Australia, Samudra pasifik. Ketiga lempeng tersebut terus bergerak dalam arah dan kecepatan yang berbeda. Ini terlihat pada wilayah pantai barat Sumatera, pantai selatan Jawa, Bali, *NTB*, dan *NTT* termasuk daerah yang rawan *tsunami* yang diakibatkan oleh gempa dasar laut. Karena daerah tersebut merupakan tempat pertemuan Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia, yang mengalami pergerakan rata-rata 6 cm per tahun ke arah utara. Lempeng tersebut bergerak terus menerus menghujam lempeng benua

Eurasia. Bagian ujung dari lempeng benua Eurasia tertarik turun secara berangsur-angsur dan terus menerus sehingga terjadi akumulasi tegangan. Akibat akumulasi tegangan yang mencapai batasnya maka terjadi gempa dan ujung lempeng benua Eurasia melenting ke atas. Pergerakan vertikal ujung lempeng benua Eurasia ini menimbulkan gangguan *impulsif* medium laut yang dapat menyebabkan terjadinya *tsunami*.



Gambar 2.4 Model terbentuknya gelombang tsunami yang diakibatkan oleh peristiwa gempa. [5]

Sedangkan, tektonik aktif di timur Indonesia disebabkan Bergeraknya dua lempeng; Indo-Australia dan Pasifik. Laut Banda, Gorontalo, Sulawesi, Maluku, Selat Makassar, Bali-Flores, dan Bone merupakan cekungan-cekungan laut dalam. Dimana cekungan tersebut berada pada zona tumbukan aktif antara tiga lempeng (Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik). Hal inilah yang mengakibatkan kawasan tersebut merupakan salah satu yang paling aktif kegempaanannya di seluruh dunia. Di samping itu, ada dua lempeng lainnya yang saling menjepit dasar samudra di sekitar perairan Indonesia. Kedua lempeng itu adalah lempeng Filipina yang bergerak 8 cm per tahun ke arah barat laut dan lempeng Carolina dengan kecepatan 10,2 cm per tahun ke arah barat laut.

Sementara itu jika pusat gempa berada lebih dalam lagi, energi dan gempa akan menghilang sebelum sampai di dasar laut. Akibatnya tidak menimbulkan deformasi dasar laut secara vertikal sehingga tidak menimbulkan *tsunami*.

Begitupula jika gempa yang terjadi menghasilkan patahan horizontal juga tidak menimbulkan *Tsunami*. Hal seperti itu terjadi di Bengkulu 4 Juni 2000. Gempa tersebut tidak menimbulkan *tsunami* walaupun merupakan gempa dangkal dengan magnitudo lebih dari Mw 7,8. Air laut yang volumenya besar tidak digoncang secara vertikal, sehingga *tsunami* tidak terjadi. Proses pergeseran lempeng bumi penyebab tsunami dapat dilihat pada gambar 2.5.



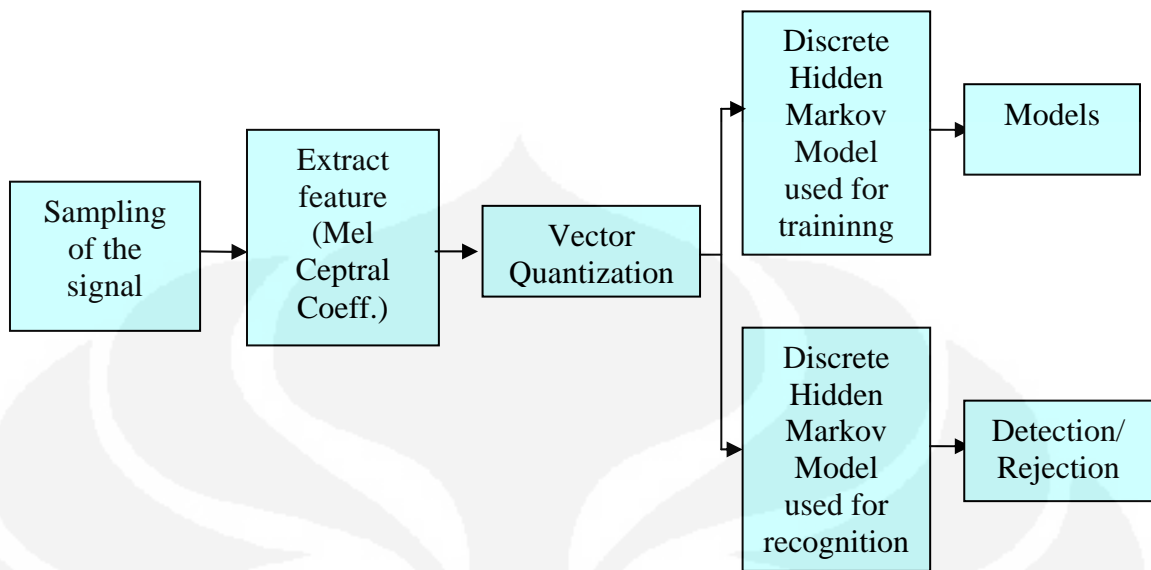
Gambar 2.5 Pergerakan lempeng bumi pada daerah patahan yang akan menimbulkan deformasi dasar laut secara vertikal yang akan menyebabkan timbulnya gelombang tsunami.[5]

2.3 Voice Recognition

Voice recognition merupakan proses pengenalan secara otomatis suatu sinyal suara dengan membandingkan pola karakteristiknya dengan sinyal suara yang menjadi referensi atau acuan.

2.4 Proses-proses Dalam Sistem Pengenalan Gelombang Gempa

Sistem pengenalan ini digunakan untuk mengenali jenis gelombang dari gempa. Sistem ini dapat mengenali gelombang dari gempa dengan terlebih dahulu melakukan karakterisasi sinyal akustik yang akan dijadikan sebagai referensi. Karakterisasi gelombang ini dilakukan dengan ekstraksi fitur sehingga dihasilkan vektor-vektor data yang akan digunakan pada pembuatan *codebook*. Gambar 2.6 menunjukkan proses-proses yang digunakan dalam sistem pengenalan gelombang gempa.

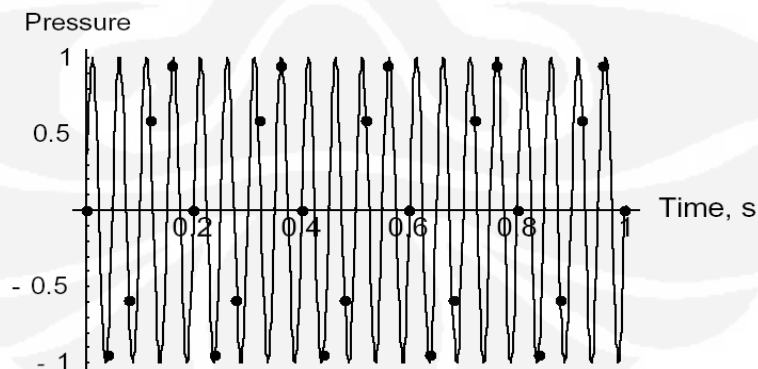


Gambar 2.6 Diagram pembuatan model referensi dan testing gelombang gempa.

2.4.1 Sampling Sinyal analog

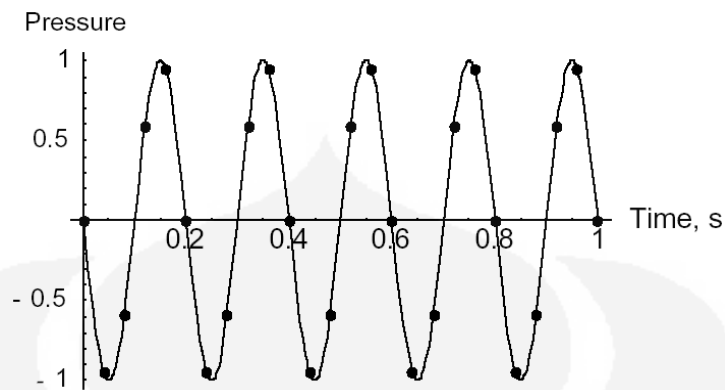
Proses *sampling* berbeda-beda untuk setiap suara. Bila *sampling* terhadap suatu sinyal suara tidak akurat maka dapat terjadi *misleading* atau hasil yang tidak sesuai dengan aslinya.

Aliasing merupakan hasil dari *sampling* secara diskrit pada suatu sinyal yang terlalu rendah sehingga memberikan resolusi yang rendah pula. Gambar 2.7 menunjukkan sampel sinyal 10 Hz yang nampak menjadi sinyal 5 Hz pada Gambar 2.7. Ini menunjukkan sebuah contoh terjadinya *aliasing*.



Gambar 2.7 Sampling diskrit suatu sinyal.

Titik-titik yang terlihat adalah sampel point



Gambar 2.8 Sinyal hasil sampel data

Nyquist rate adalah rata-rata sampel minimum yang harus dipakai untuk mencegah timbulnya *aliasing* informasi frekuensi. Besarnya *Nyquist rate* harus dua kali frekuensi tertinggi dalam sinyal.

Dalam skripsi ini frekuensi sampling yang digunakan untuk merubah masukan menjadi sinyal digital adalah 22050 Hz disesuaikan dengan gelombang gempa yang ketika pengambilan data menggunakan frekuensi sampling yang sama. Besarnya frekuensi sampling diatas jauh lebih tinggi dari dua kali frekuensi tertinggi dalam sinyal masukan.

2.4.2 Feature Extraction

Tujuan *feature extraction* ini adalah untuk mengubah bentuk gelombang suara menjadi berbagai tipe parameter yang merepresentasikan sinyal suara untuk dianalisa.

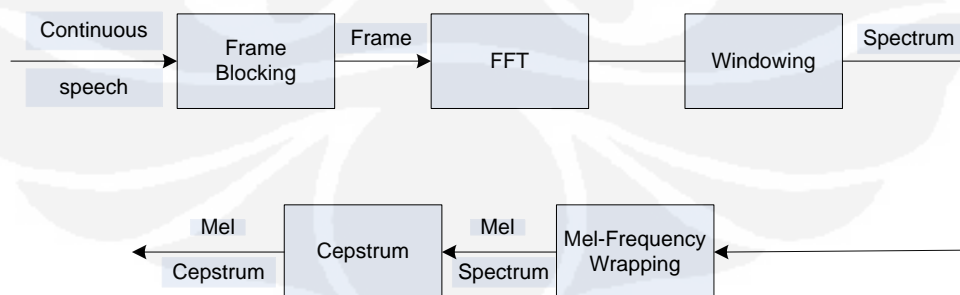
Sinyal suara tergolong sebagai *slowly time varying signal* yang disebut juga sebagai *quasi stationary*. Ketika dianalisa dengan *short periode of time* yang cukup (5 – 10 ms), karakteristik yang dimiliki tidak berubah atau tetap. Sedangkan bila diterapkan *long periode of time* (1/5 detik atau lebih), karakteristiknya berubah dan merepresentasikan suara yang berbeda dengan aslinya. Oleh karena itu *short time spectral analysis* merupakan cara yang lebih baik untuk mengkarakteristikan sinyal suara.

Metode yang digunakan untuk mendapatkan parameter yang dapat merepresentasikan sinyal suara ini adalah dengan *Linear Prediction Coding (LPC)*, *Mel-Frequency Cepstrum Coefficient (MFCC)* dan lainnya. Pada sistem pengenalan gelombang perubahan fase ini digunakan MFCC.

MFCC didasarkan pada variasi yang telah diketahui dari batas *bandwidth* pendengaran manusia dengan frekuensi. MFCC memfilter secara *linear* pada frekuensi rendah dan secara *logaritmik* pada frekuensi tinggi yang digunakan untuk menangkap karakteristik dari suatu sinyal suara. Ini diekspresikan dengan skala *Mel-frequency*. Pemetaan secara *linear* untuk frekuensi dibawah 1000 Hz dan *logaritmik* untuk frekuensi diatas 1000 Hz.

2.4.3 Mel-Freq Ceptrum Coefficient Processor

Gambar 2.9 adalah diagram struktur blok dari MFCC *processor*. *Speech input* secara khusus direkam pada *sampling rate* diatas 10 KHz. *Sampling* frekuensi ini dipilih untuk meminimalisasi efek *aliasing* dalam pengubahan sinyal analog ke digital. *Sampling* sinyal tersebut dapat menangkap dengan baik semua frekuensi sampai dengan 5 KHz, yang mana mengkonversikan semua energi gelombang perubahan fase. Tujuan dari MFCC *processor* adalah untuk meniru karakteristik dari telinga manusia. Dibandingkan dengan bentuk gelombang suara yang dikarakteristikan, hasil dari MFCC menunjukkan perbedaan yang kecil. Bagian-bagian dari MFCC processor dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 MFCC processor

permulaan dan akhir masing-masing *frame*. Jika kita mendefinisikan *window* sebagai $w(n)$, $0 \leq n \leq N - 1$, dimana N adalah angka sampel pada masing-masing *frame*. Hasil *windowing* adalah signal yang dinyatakan dengan persamaan

$$y_1(n) = x_1(n)w(n), \quad 0 \leq n \leq N - 1 \quad (2.1)$$

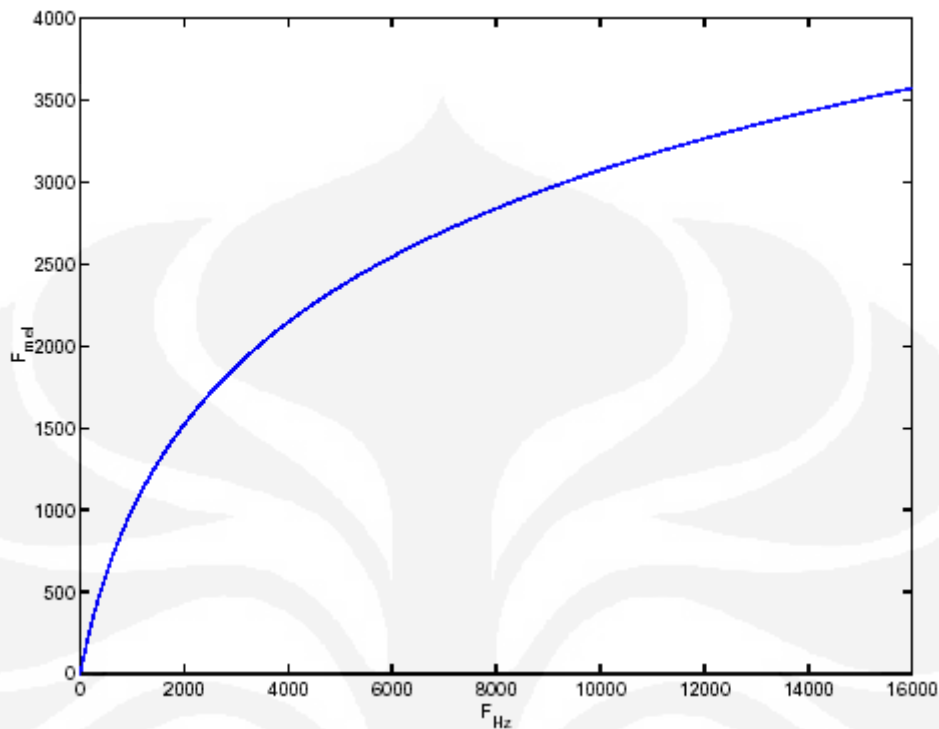
Pada program ini menggunakan *Hamming windowing* yang dinyatakan dalam persamaan

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N - 1}\right), \quad 0 \leq n \leq N - 1 \quad (2.2)$$

2.4.7 Mel-Freq Wrapping

Persepsi manusia terhadap isi frekuensi dari suatu suara tidak mengikuti skala linear. Untuk itu masing-masing *tone* dengan sebuah frekuensi tertentu diukur dengan skala Hz, sedangkan sebuah *subject pitch* diukur pada skala yang disebut *mel*. Skala mel-frekuensi adalah pemetaan frekuensi secara linear untuk frekuensi dibawah 1 kHz dan logaritmik untuk frekuensi diatas 1 kHz. Sebagai titik referensi, *pitch* dari 1kHz, 40 dB diatas *perceptual hearing threshold*, didefinisikan sebagai 1000 mels. Oleh karena itu, dapat digunakan formula sebagai berikut untuk menghitung *mels* untuk frekuensi yang diberikan dalam Hz. Gambar 2.10 menunjukkan grafik skala mel-frekuensi.

$$mel(f) = 2595 * \log_{10}(1 + f / 700) \quad (2.4)$$



Gambar 2.10 Grafik mel-frekuensi versus frekuensi

2.4.8 Cepstrum

Ini adalah langkah terakhir dalam feature extraction, *log mel spectrum* diubah kembali ke waktu. Hasilnya disebut *mel frequensi ceptrum coefficient (MFCC)*. Representatif *spectral* dari *speech spectrum* memberikan representatif yang baik untuk *local spectral properties* dari sinyal suara untuk analisa *frame* yang diberikan. Karena *mel spectrum coefficient* (dan logaritmiknya) adalah angka real, kita dapat mengubahnya ke time domain menggunakan *Discrete Cosine Transform (DCT)*. Oleh karena itu *mel power spectrum coefficient* tersebut merupakan hasil dari langkah terakhir yang dinotasikan dengan \tilde{S}_k , dimana $k = 1, 2, \dots, K$, maka MFCC, \tilde{c}_n dapat dihitung dengan persamaan

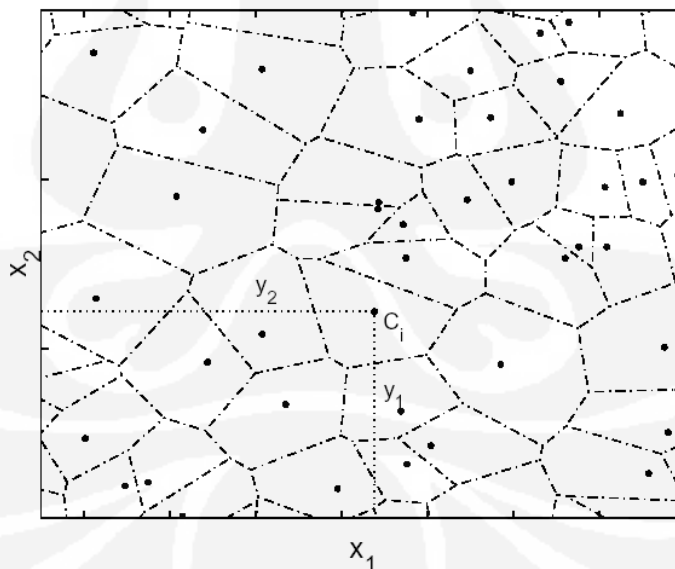
$$\tilde{c}_n = \sum_{k=1}^K (\log \tilde{S}_k) \cos \left[n \left(k - \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{K} \right], \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2.5)$$

2.4.9 Vector Quantization

VQ adalah proses dari pemetaan vektor dari ruang vektor yang besar menjadi sebuah wilayah yang terbatas. Masing-masing wilayah ini disebut *cluster* dan dapat direpresentasikan dengan *centroid* yang disebut *codeword*. Koleksi dari semua *codeword* disebut *codebook* yang berhubungan untuk suara yang telah diketahui.

VQ diinterpretasikan dengan skalar kuantisasi. Sinyal input akan dikuantisasi menjadi *codebook* $C = \{y_k \mid k = 1, \dots, N\}$. Hampir keseluruhan sinyal input merupakan sebuah vektor yang harus dikodekan kedalam ruang multidimensi. Gambar 2.13 merupakan contoh ruang dua dimensi dari *codebook*. Gambar 2.11 menunjukkan partisi dari ruang multidimensi sebuah input vektor yang dibagi menjadi L wilayah yang dapat dinotasikan sebagai $P = \{C_1, C_2, \dots, C_L\}$ dimana

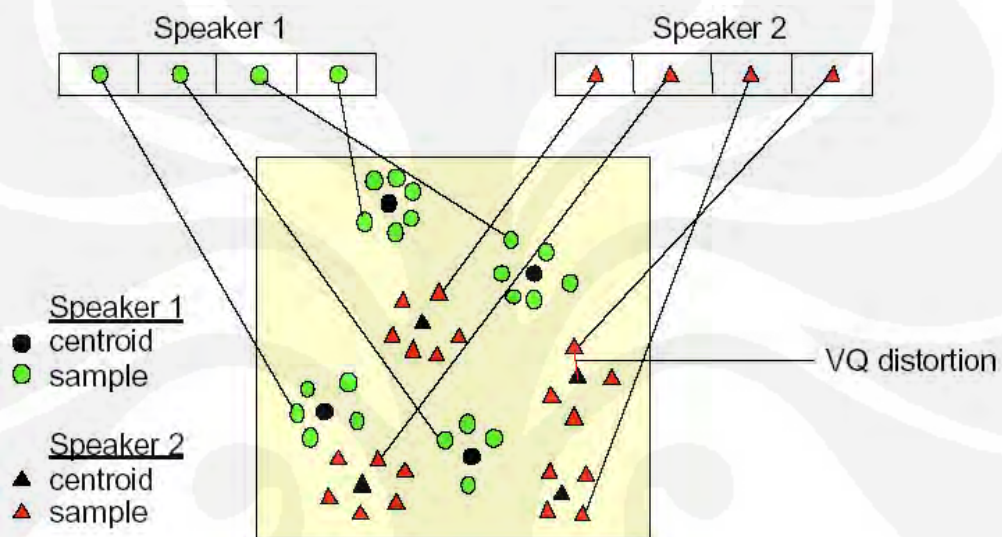
$$C_i = \{x \mid d(x, y_i) \leq d(x, y_j), j \neq i\} \quad (2.6)$$



Gambar 2.11 Codebook dari suatu input vektor

Gambar 2.12 menunjukkan konseptual diagram untuk mengilustrasikan proses *recognition*. Pada Gambar 2.12 hanya digambarkan 2 suara dari 2 *speaker*

dalam ruang akustik dua dimensi. Lingkaran menunjukkan vektor akustik dari suara 1, sedangkan segitiga adalah vektor akustik dari suara 2. Dalam tahap *training*, *VQ codebook* untuk masing-masing suara yang telah diketahui dibuat dengan mengumpulkan vektor akustik *training*-nya menjadi sebuah *cluster*. Hasil *codeword*-nya ditunjukkan pada Gambar 2.12 dengan lingkaran dan segitiga hitam untuk suara 1 dan 2. Jarak dari sebuah vektor ke *codeword* terdekat disebut *distortion*.



Gambar 2.12 Diagram konsep pembentukan codebook dengan vector quantization.

Suara satu dan lainnya dapat dibedakan berdasarkan lokasi dari centroid-nya

Pada tahap *recognition*, sebuah input dari suara yang tidak dikenal akan dilakukan proses *vector-quantized* dengan menggunakan semua *trained codebook* dan selanjutnya dihitung total *VQ distortion*-nya. Total distortion yang paling kecil antara *codeword* dari salah satu suara dalam *database* dan *VQ codebook* dari suara input diambil sebagai hasil identifikasi.

Dalam pembentukan *codebook* untuk iterasi guna memperbaiki VQ digunakan *General Lloyd Algorithm (GLA)* atau yang sering disebut dengan *LBG Algorithm*. *LBG VQ algorithm* tersebut dapat diimplementasikan dengan prosedur rekursif sebagai berikut :

1. Mendesign suatu vektor *codebook* yang merupakan *centroid* dari keseluruhan vektor *training*.
2. Menjadikan ukuran *codebook* dua kali lipat dengan membagi masing-masing *current codebook* C_n menurut aturan

$$C_n^+ = C_n (1 + \varepsilon) \quad (2.7)$$

$$C_n^- = C_n (1 - \varepsilon) \quad (2.8)$$

dimana n bervariasi dari 1 sampai dengan *current size codebook* dan ε adalah parameter *splitting* ($\varepsilon = 0.01$).

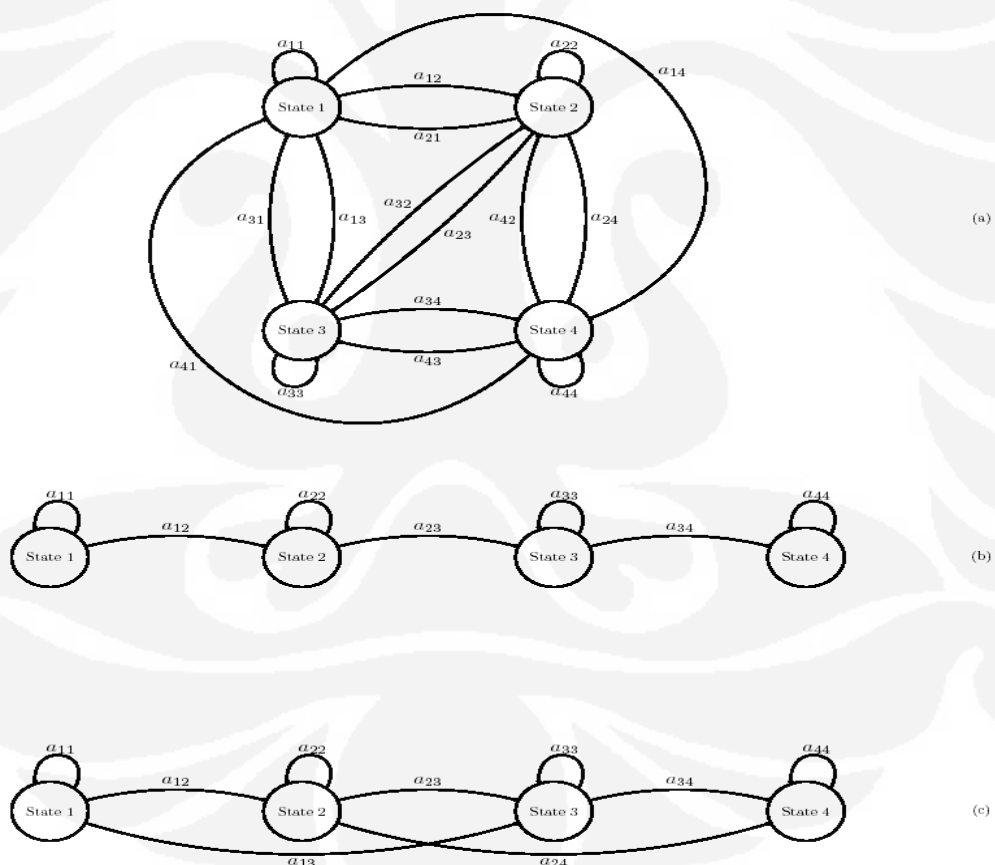
3. *Nearest Neighbour Search*, yaitu mengelompokan *training vector* yang mengumpul pada blok tertentu. Selanjutnya menentukan *codeword* dalam *current codebook* yang terdekat dan memberikan tanda vektor yaitu *cell* yang diasosiasikan dengan *codeword* yang terdekat.
4. *Centroid update*, yaitu menentukan *centroid* baru yang merupakan *codeword* yang baru pada masing-masing *cell* dengan menggunakan *training vector* pada *cell* tersebut.
5. Iterasi 1
mengulang step 3 dan 4 sampai jarak rata-rata dibawah *present threshold*.
6. Iterasi 2
mengulang step 2, 3, 4 sampai *codebook* berukuran M .

2.5 Hidden Markov Models (HMM)

Hidden Markov models (HMM) merupakan model dengan pendekatan statistik yang digunakan dalam berbagai implementasi pengenalan suara. *Time variance* dalam suatu bahasa dimodelkan sebagai proses *Markov* dengan *discrete state*. Masing-masing *state* menghasilkan observasi menurut karakteristik distribusi probabilitas dari *state* tersebut. Observasi dapat mengambil pada harga diskrit atau kontinyu. Observasi merepresentasikan durasi waktu yang tetap yang disebut *frame*. Pada model ini *state* tidak secara langsung dapat diamati, hal ini yang menjadikan model ini disebut sebagai *hidden Markov model*.

Salah satu cara untuk mengklasifikasikan HMM adalah dengan melihat bentuk matrix transisinya (A) dari rantai markov. Bentuk yang umum adalah bentuk *ergodic* atau bentuk yang setiap *state* saling terhubung (*fully connected HMM*). Seperti terlihat pada Gambar 2.13,a untuk $N = 4$ state model, model ini mempunyai nilai a_{ij} antara 0 dan 1. Nilai 0 dan 1 tidak termasuk, jika tidak maka bentuk model *ergodic* tidak akan terwujud. Matriks transisi untuk *ergodic* model dapat dimisalkan seperti dibawah ini.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$



Gambar 2.13 HMM dengan 4 state

Untuk *voice recognition* atau *speech recognition* model yang tepat digunakan adalah model *left-right HMM* atau biasa disebut *Bakis Model*. Mengikuti kenyataan bahwa dalam suara aliran waktu terus bertambah, hal ini dapat diwakili oleh perpindahan *state* dari kiri ke kanan (*left-to-right*). Seperti terlihat pada Gambar 2.13 b,c.

Elemen-elemen *Hidden Markov Model* meliputi :

1. N , jumlah *state* dalam model. Umumnya *state* dapat diinterkoneksi, sehingga setiap *state* dapat dicapai dari *state* yang lain. *State* individual dinotasikan sebagai $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ dan *state* pada waktu t adalah q_t ,
2. M , jumlah observasi simbol yang berbeda tiap *state*. Simbol-simbol tersebut dapat dinotasikan dalam $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$
3. $A = \{a_{ij}\}$, distribusi probabilitas transisi *state*, dimana

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j \mid q_t = S_i], \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (2.10)$$

4. $B = \{b_j(k)\}$, distribusi probabilitas simbol observasi pada *state* j , dimana

$$b_j(k) = P[v_k \text{ - pada - } t \mid q_t = S_j] \quad 1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq M \quad (2.11)$$

5. $\pi = \{\pi_i\}$, distribusi *state* initial, dimana

$$\pi_i = P[q_1 = S_i] \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.12)$$

Hidden Markov Model dapat dituliskan sebagai $\lambda = (A, B, \pi)$.

BAB III

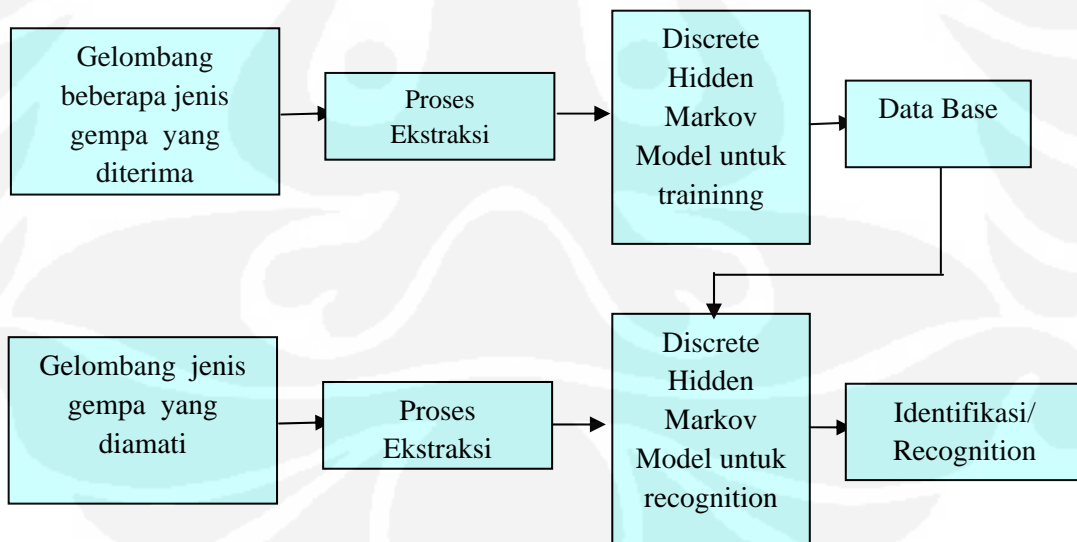
PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK PENGENALAN GELOMBANG GEMPA BERPOTENSI TSUNAMI

3.1 Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja sistem secara keseluruhan adalah memberikan training guna mendapatkan karakterisasi dari tiap-tiap gelombang yang berpotensi tsunami dan gelombang yang tidak berpotensi tsunami. Karakteristik tersebut kemudian di simpan untuk referensi pendeteksi gelombang gempa dari data-data gelombang gempa yang akan terjadi sehingga dapat disimpulkan gelombang tersebut berpotensi tsunami atau tidak.

3.2 Blok Diagram dan Fungsinya

Sistem terdiri atas beberapa bagian yang dapat digambarkan menjadi blok diagram seperti yang terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Blok diagram sistem

Dalam blok diagram diatas terbagi menjadi 2 bagian, yakni bagian atas yang merupakan process training *Hidden Markov Model* dan bagian bawah yang

merupakan process identifikasi sinyal. Process training ini dilakukan untuk menghasilkan database pola-pola hidden markov dari tiap-tiap label yang kemudian di gunakan sebagai referensi pada proses identifikasi sinyal. Process training ini di mulai dengan memberikan beberapa sample data gelombang yang kemudian diolah melalui proses ekstraksi yaitu dengan cara memenggal gelombang dengan interval waktu tertentu, lalu diubah ke domain frekuensi dengan menggunakan fungsi FFT yang tersedia pada library matlab. Matrik dari ekstraksi kemudian di cari pola-pola sinyal yang khas dari tiap label menggunakan teknik *Hidden Markov Model*. Hasil tersebut kemudian disimpan dalam data base. Setelah proses training selesai maka akan didapatkan karakteristik gempa dan tsunami, jika terdapat gelombang gempa yang akan dideteksi maka dari gelombang tersebut akan dilakukan proses *ekstraksi* kembali seperti awal, setelah proses ekstraksi maka akan dilakukan *recognition* dengan teknik hidden markov yang mengacu pada karakteristik dalam *database*. Kemudian akan didapatkan hasil apakah gelombang tersebut masuk kedalam karakteristik Gempa Tsunami atau non tsunami.

Perangkat lunak pengenalan gelombang gempa ini dilakukan dengan menggunakan komputer dengan spesifikasi sebagai berikut :

Sistem Operasi : *Windows XP Professional*

Prosesor : Intel Pentium Dual-Core 1,8 GHz

Software : *Matlab 7*

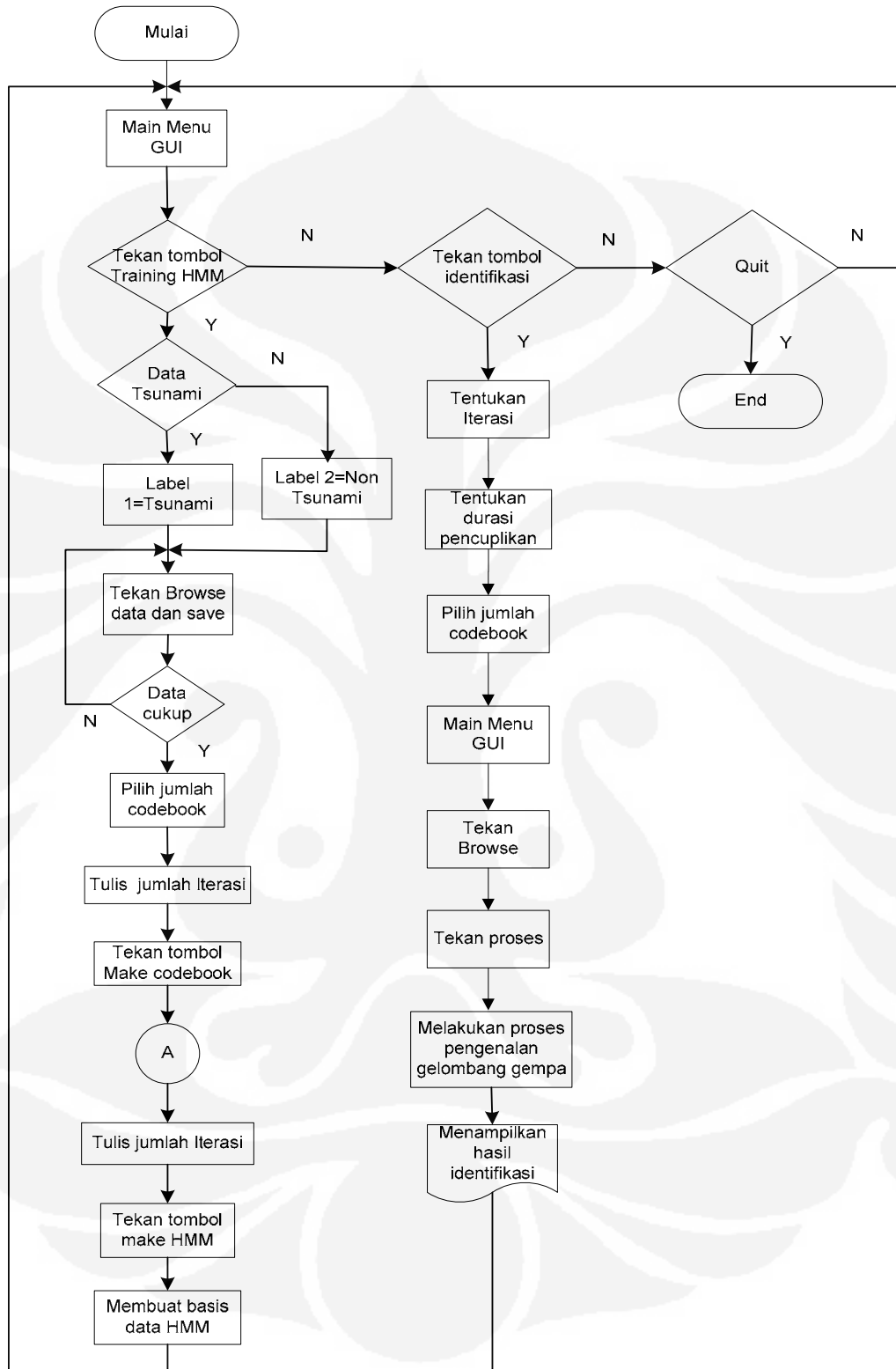
Memory : 2 GB

Perangkat lunak ini dibuat dengan menggunakan GUI untuk mempermudah penggunaan dimana didalamnya terdapat *function-function* untuk melakukan perhitungan-perhitungan. Untuk memulai memanggil GUI terlebih dahulu harus merubah *Current Directory* pada *Matlab* sesuai dengan letak folder dimana program ini berada, dan menuliskan 'menu' pada *Command Window Matlab*. Setelah itu akan terlihat tampilan seperti Gambar 3.2.

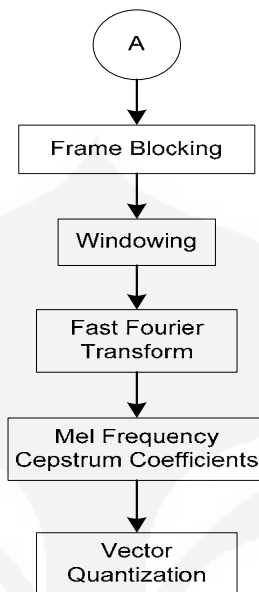


Gambar 3.2 Tampilan Menu Utama

Flowchart program dapat dilihat dalam gambar 3.3.



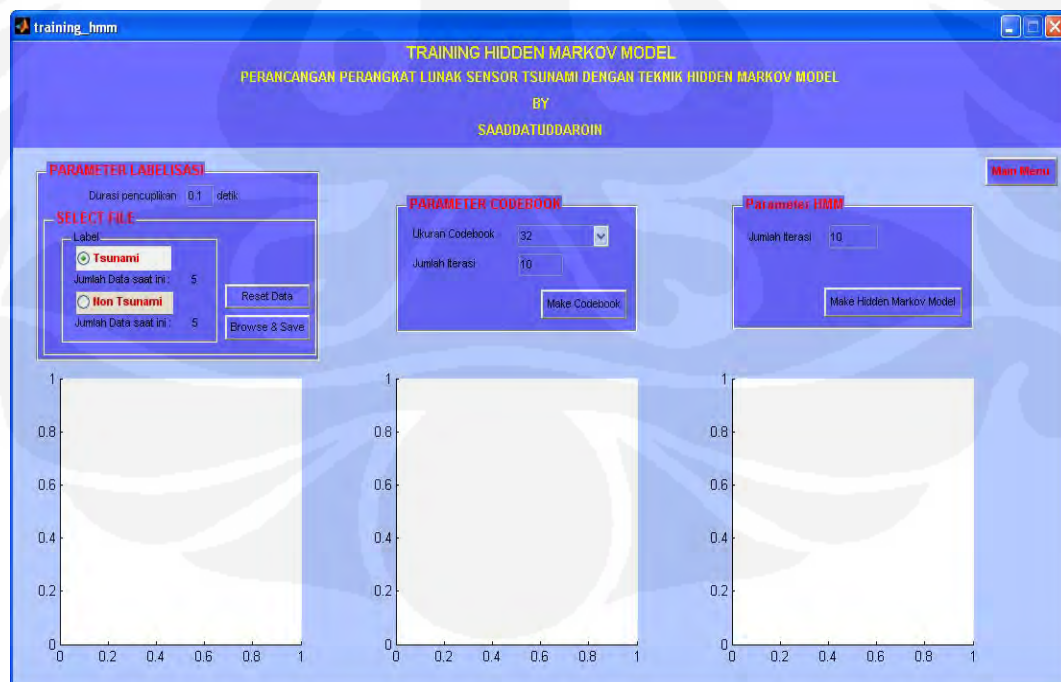
Gambar 3.3 flowchart program pengenalan gelombang gempa



Gambar 3.4 Proses kerja pembentukan codebook

3.3 Membuat Label Database, Codebook dan HMM

Proses selanjutnya dalam tampilan menu langkah selanjutnya menekan tombol *Training HMM (Hidden Markov Model)*, terlihat seperti Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tampilan Training HMM

Pada tahap ini terdiri dari 3 proses utama yaitu:

1. Proses *Make Label*

Proses yang dilakukan adalah membuat *label database* gelombang gempa yang akan dijadikan referensi dalam proses pengenalan nanti. Gelombang gempa yang digunakan adalah jenis gempa yang berpotensi tsunami dan non tsunami. Dalam pembuatan *database* ini, training dilakukan dengan memilih apakah data yang akan di masukkan dan di simpan merupakan data tsunami atau non tsunami. Dari pilihan tersebut, data yang di masukkan akan di beri label sesuai dengan jenis gempa tersebut.

```
if opt_data_tsu==1
    labelx='label1';
elseif opt_data_nontsu==1
    labelx='label2';
end
```

Kemudian pembacaan file gelombang ini dilakukan dengan menggunakan *function* matlab yaitu *wavread*. Contoh perintah yang digunakan untuk pembacaan file ini adalah

$$[speech]=wavread(nama\ file,2205);$$

untuk 0.1 detik dan

$$[speech]=wavread(nama\ file,22050);$$

untuk 1 detik. Angka 2205 dan 22050 adalah besarnya titik sampling pertama dari file yang akan digunakan sebagai database, angka ini didapat dari durasi sinyal dikali dengan frekuensi samplingnya.

$$0.1 \times 22050 = 2205$$

$$1 \times 22050 = 22050$$

Matrix yang ada dalam variable “speech” di simpan dalam label yang telah di tentukan sebelumnya.

2. Proses Codebook

Setelah proses pembuatan *label* dilakukan, langkah selanjutnya adalah membuat *codebook* dari *label-label* yang telah dibentuk. Pembuatan *codebook* ini terlaksana ketika tombol *make codebook* ditekan, dengan terlebih dahulu memilih ukuran *codebook* dan *iterasi*.

Data hasil dari proses *Make Label* akan *diload* untuk di bentuk *frame-frame* atau *frame blocking* untuk memecah-mecah signal menjadi bagian-bagian kecil. Bagian-bagian kecil ini kemudian dirubah menjadi domain waktu dengan menggunakan fungsi FFT pada matlab. Sinyal-sinyal dalam domain frekuensi ini di hitung untuk mendapatkan *centroid-centroid*. Kumpulan-kumpulan dari *centroid* inilah yang disebut *codebook*. Contoh program pembuatan *codebook* adalah:

```
for i=overlap+1:length_frame:nmax_frame*length_frame,
    frame=frame+1;
    sframe=sp((i-overlap):(i+length_frame-1+overlap));
    [F(frame,:)] = mfcc(fft(sframe.*hamming(length(sframe))),256),fs);
end;

Code=split2(F,floor(log(M)/log(2)),iteration);
```

File *codebook* yang terbentuk akan disimpan pada file yang mempunyai format **.mat* sesuai dengan variasi ukuran *codebook* dan *iterasi*.

```
save codebook Code
```

3. Proses Pembentukan HMM

Setelah proses pembuatan *codebook* dilakukan, langkah selanjutnya adalah membuat model HMM dari *label-label* dan *codebook-codebok* yang telah terbentuk dari proses-proses sebelumnya. Untuk membuat model HMM pengguna (*user*) harus terlebih dahulu menekan tombol *Make Hidden Markov Model* yang terdapat dalam tampilan menu *make HMM* seperti Gambar 3.5

Tahap-tahap *training* HMM yang dilakukan program setelah tombol *Make Hidden Markov Model* ditekan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Meload file format **.mat* dari *label* dan *codebook* untuk variasi variabel yang sesuai

```
load codebook Code;
```

2. Inisialisasi matrik A, B and Π dengan nilai acak

```
[A,B,p0]=generate_random_model(N,M);
```

3. Dengan menggunakan algoritma *Baum Welch*, dilakukan pelatihan untuk menentukan nilai HMM yang sebenarnya dengan memasukan semua data gelombang gempa beberapa kali sampai nilai matriks tidak berubah.

```
[A2,B2,p02]=baum(A,B,p0,O_2,iteration);
```

4. Menghitung probabilitas observasi HMM untuk setiap gelombang perubahan fase yang diteliti.

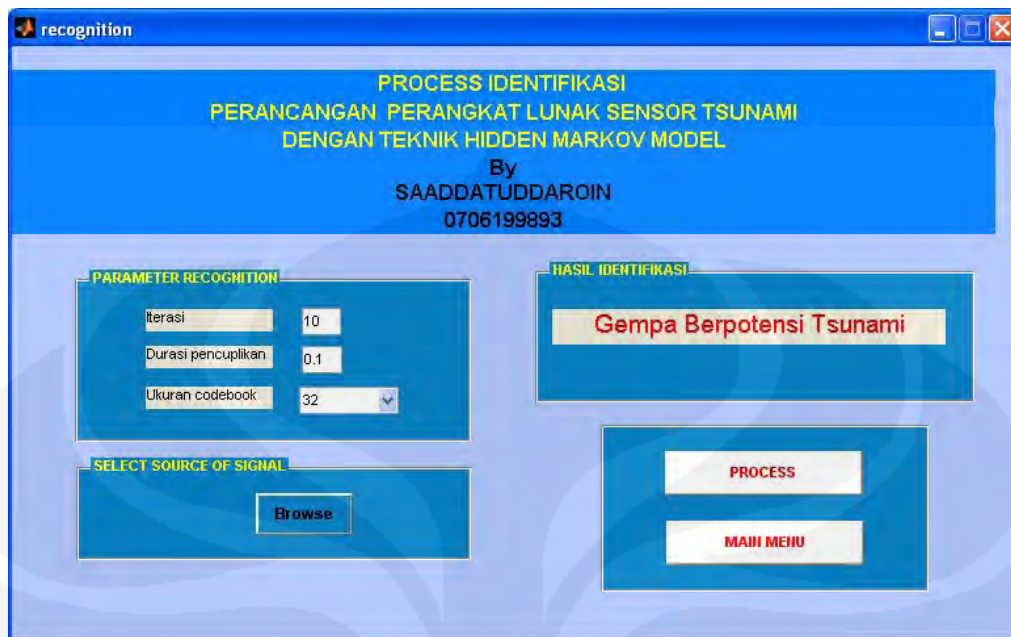
```
P(i,k)=HMM_probability(c);
```

5. Membuat file format **.mat* untuk menyimpan nilai probabilitas HMM setiap gelombang gempa yang diteliti sesuai dengan variasi variabel yang sesuai.

```
eval(['save' ' ' model_file ' ' 'A1 A2 B1 B2 p01 p02  
available N M'])
```

3.4 Recognition

Setelah proses pembuatan model HMM dilakukan, langkah selanjutnya adalah proses *recognition* gelombang fase dengan menggunakan *codebook-codebook* dan model HMM yang telah terbentuk dari proses-proses sebelumnya. Untuk melakukan proses *recognition* ini pengguna (*user*) harus terlebih dahulu menekan tombol proses identifikasi pada main menu seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.6 Tampilan Recognition

Pada proses *recognition* ini terdapat 3 macam variabel yang sama dengan variabel yang terdapat didalam proses *make codebook* dan *make HMM* pada proses *training*, yaitu ukuran *codebook*, besar iterasi dan durasi pencuplikan. Variabel ini digunakan untuk menentukan variasi yang diinginkan oleh *user*. Proses ini juga mengharuskan *user* untuk memasukkan nama file gelombang gempa yang akan *direcognition*.

Pembacaan file gelombang ini sama dengan pembacaan file pada proses *make label*. Pembacaan file juga dilakukan dengan menggunakan *function* matlab yaitu *wavread*. Perintah yang digunakan juga sama yaitu

$$[speech]=wavread(nama\ file,2205);$$

untuk 0.1 detik dan

$$[speech]=wavread(nama\ file,22050);$$

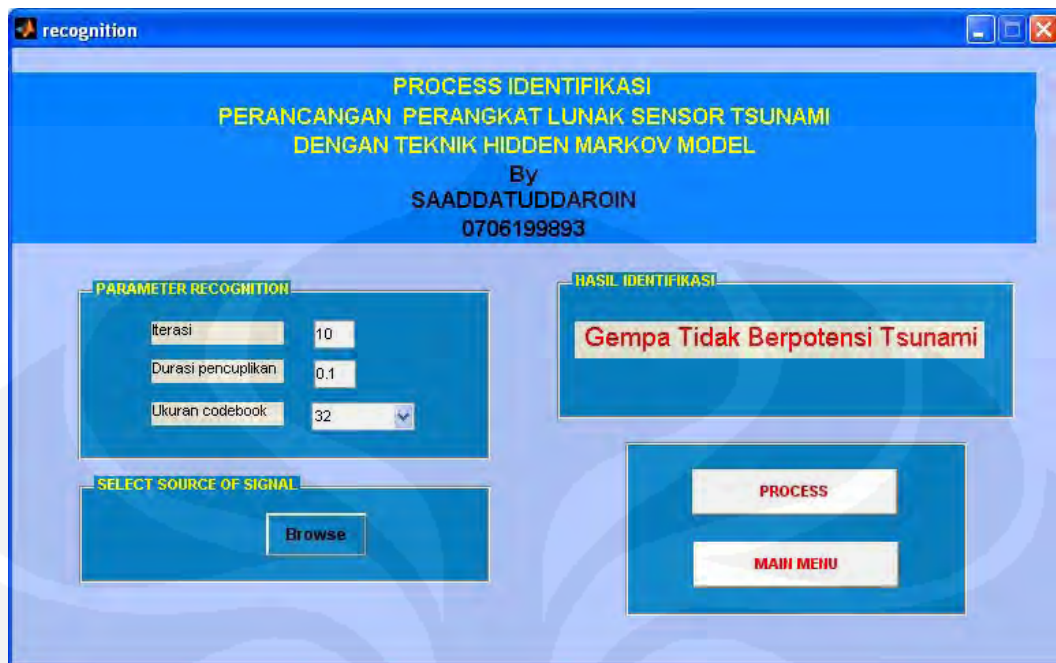
untuk 1 detik.

Proses *recognition* ini akan terlaksana jika tombol process ditekan. Tahap-tahap pengenalan gelombang gempa setelah tombol process ditekan dapat dijelaskan sebagai berikut

1. Pembacaan file gelombang gempa sesuai dengan durasi sinyal
2. *Meload* file format **.mat* dari *codebook* dan model HMM untuk variasi variabel yang sesuai
3. Hitung probabilitas HMM dan bandingkan hasilnya dengan nilai probabilitas HMM yang terdapat dalam *database*
4. Nilai yang paling mendekati pada database akan ditentukan sebagai jenis gelombang gempa yang terdeteksi

Gambar 3.6 merupakan tampilan *recognition* yang terdeteksi setelah tombol execute ditekan dengan ukuran *codebook* 32, besar iterasi 10, durasi sinyal 0.1 detik.

Gambar 3.7 merupakan tampilan *recognition* yang tidak terdeteksi setelah tombol proses ditekan dengan ukuran *codebook* 32, besar iterasi 10, durasi sinyal 0.1 detik dan nama file gempa. Dalam tampilan tersebut Nampak bahwa gelombang gempa yang diamati merupakan gelombang yang tidak berpotensi tsunami.



Gambar 3.7 Tampilan Recognition setelah Tombol process ditekan Untuk File yang tidak berpotensi Tsunami

BAB IV

UJI COBA DAN ANALISA

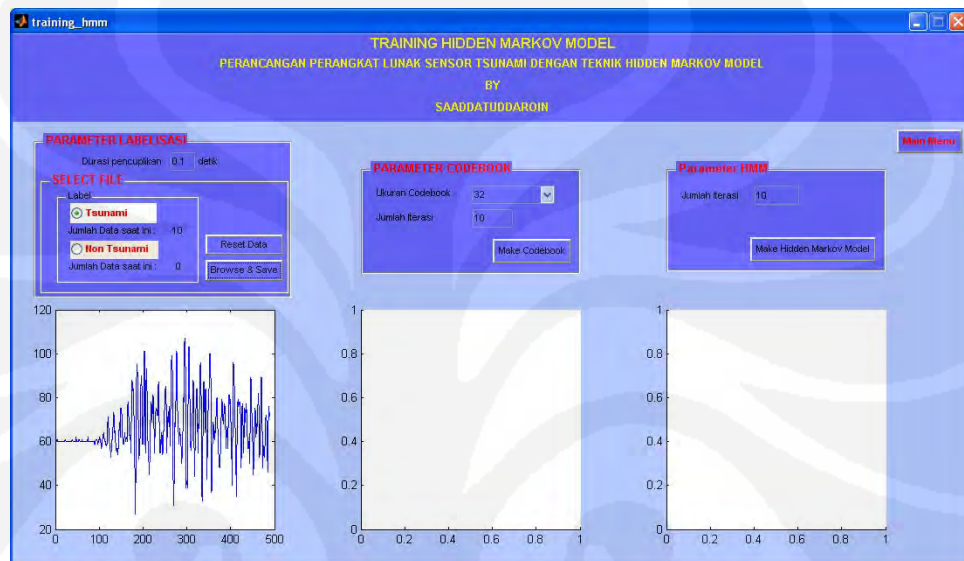
4.1 Uji coba Sistem

Uji coba yang dilakukan dalam skripsi ini menggunakan 20 (dua puluh) macam gelombang gempa. Uji coba ini menggunakan seluruh variasi dari *codebook*, *iterasi* dan durasi pencuplikan yang terdapat dalam perangkat lunak gelombang pendeteksi gempa tsunami. Proses ini dilakukan dengan memasukkan nama file gelombang gempa tsunami dan non tsunami kedalam file ketika dibrowse dari tampilan proses *recognition*, selanjutnya menekan tombol process. Perangkat lunak ini akan mengolah file yang masuk dengan melakukan perhitungan-perhitungan sampai mendapatkan nilai *log of probability* dan menentukan *label* apa yang dikenali. Secara lengkap hasil-hasil uji coba terdiri dari :

1. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 32 dan durasi pencuplikan 0.1 detik
2. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 64 dan durasi pencuplikan 0.1 detik
3. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 128 dan durasi pencuplikan 0.1 detik
4. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 32 dan durasi pencuplikan 0.5 detik
5. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 64 dan durasi pencuplikan 0.5 detik
6. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 128 dan durasi pencuplikan 0,5 detik
7. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 32 dan durasi pencuplikan 1 detik
8. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 64 dan durasi pencuplikan 1 detik
9. Hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 128 dan durasi pencuplikan 1 detik

Langkah uji coba dalam proses *training* pengenalan gelombang gempa ini dapat dilihat dalam GUI proses identifikasi gempa. seperti terlihat pada gambar 4.1

1. Memasukkan sample untuk gelombang tsunami dan non tsunami, serta tulis durasi pencuplikan yang diinginkan. hasil proses labelisasi dapat ditunjukkan pada gambar 4.1

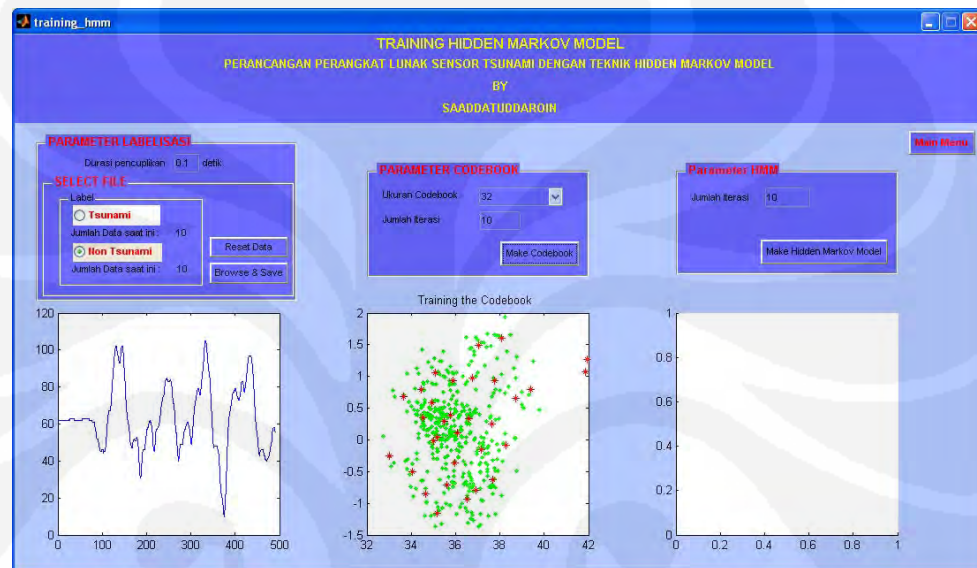


Gambar 4.1 Hasil labelisasi gelombang tsunami



Gambar 4.2 Hasil labelisasi gelombang non tsunami

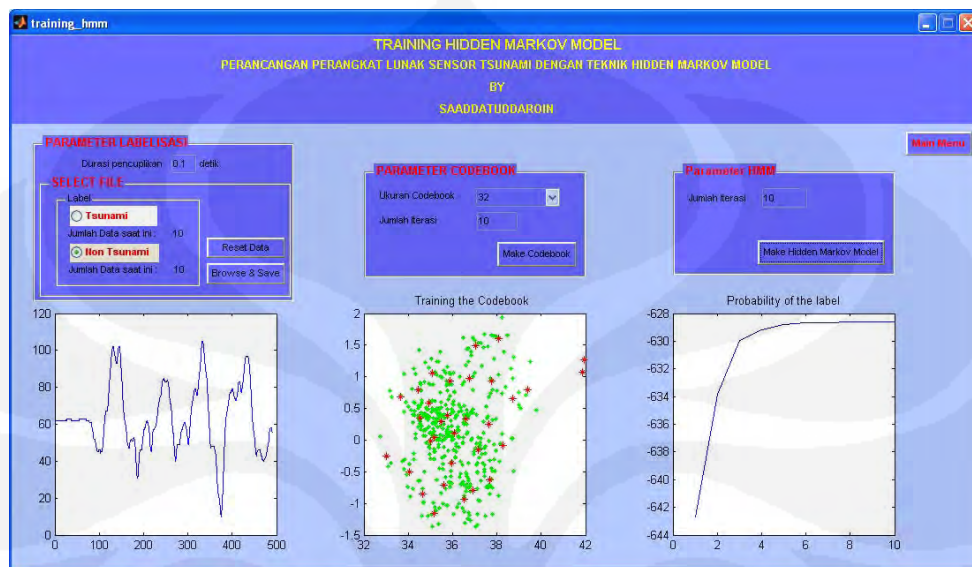
2. Proses selanjutnya adalah proses pembuatan *codebook*, dalam pembuatan *codebook* ini pilih ukuran *codebook* dan masukkan jumlah *iterasi* yang diinginkan kemudian tekan *make codebook*. Pada Gambar 4.3 terlihat hasil pembuatan *codebook* pengenalan gelombang tsunami dan non tsunami.



Gambar 4.3 Hasil pembuatan *codebook*

Dalam pembuatan *codebook* ini setelah mendapatkan label gelombang gempa tersebut disampling kemudian diproses dengan feature extraction dengan metode *MFCC* (*Mel-frequency Cepstrum Coefficient*), *MFCC* menjadikan sinyal gelombang tersebut menjadi frame-frame kemudian dirubah menjadi fungsi frekuensi dengan proses *FFT* (*Fast Fourier Transform*). Setelah proses *FFT* akan didapatkan suatu titik-titik yang akan dicluster-cluster. Satu cluster diwakili oleh 1 *centroid* yang akan disebut sebagai *codeword*. Kumpulan dari semua *codeword* inilah yang disebut *codebook*. Sehingga didapatkan state berdasarkan banyaknya *centroid* yang akan diproses untuk proses *HMM*.

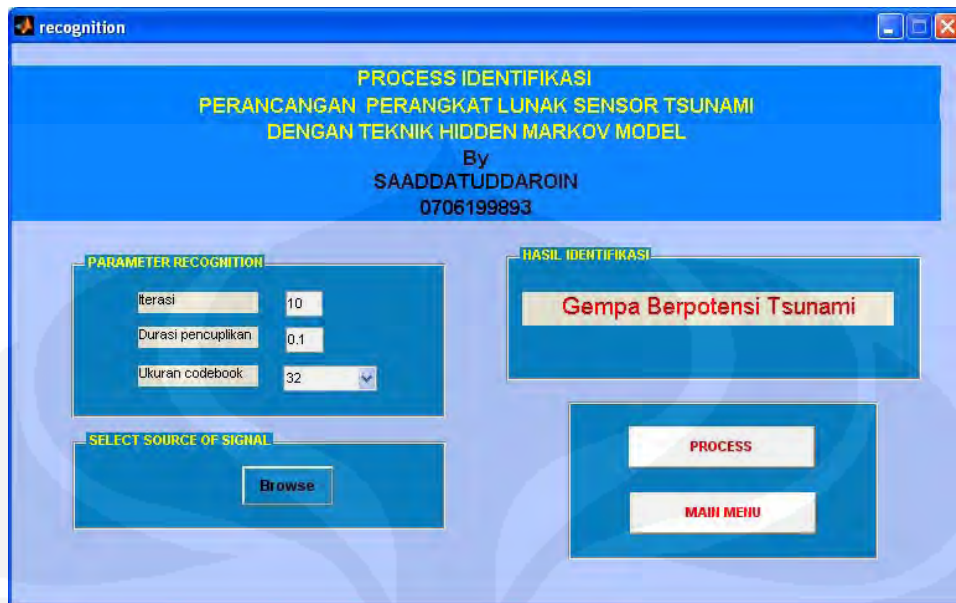
3. Proses berikutnya adalah proses HMM (*Hidden Markov Model*). Hasil proses HMM dapat dilihat pada Gambar 4. 4.



Gambar 4.4 Hasil pembuatan HMM

Proses pembuatan HMM ini setiap 1 *centroid* diwakili oleh 1 *state*. dari state- state ini akan terbentuk matriks transisi. Sehingga muncul variable b untuk matriks probabilitas munculnya state, yang akan dibandingkan dengan matriks transisi sehingga dapat diketahui *log of probability*.

4. Proses selanjutnya adalah proses identifikasi, data input yang masuk dapat diidentifikasi apakah gelombang tersebut berpotensi untuk tsunami atau tidak. Hasil proses identifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Proses identifikasi gelombang gempa berpotensi Tsunami

Dalam proses identifikasi data gelombang dimasukkan dengan cara dibrowse kemudian tentukan jumlah *iterasi*, durasi pencuplikan dan ukuran *codebook*, kemudian tekan process maka akan terlihat apakah hasil identifikasi gelombang tersebut berpotensi gempa atau tidak.

4.1.1 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 32 dan Durasi Sinyal 0.1 detik

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 32 dan durasi sinyal 0.1 detik

Tabel 4.1 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 32 dan Durasi Sinyal 0.1 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
3	Tsunami3		Non tsunami		Non tsunam	Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
5	Tsunami5	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
6	Tsunami6	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
7	Tsunami7		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
8	Tsunami8	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
10	Tsunami10	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
12	Tsunami12	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
13	Tsunami13		Non tsunami	Tsunami			Non tsunami
14	Tsunami14	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
15	Tsunami15	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
16	Tsunami16		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
17	Tsunami17		Non tsunami				Non tsunami
18	Tsunami18	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
19	Tsunami19		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
20	Tsunami20		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Nontsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
23	NonTsunami3		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
24	NonTsunami4	Non tsunami			Tsunami		Tsunami
25	NonTsunami5	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
27	NonTsunami7	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
28	NonTsunami8	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
29	NonTsunami9		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
30	NonTsunami10	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
32	NonTsunami12		Tsunami	Non tsunami			Tsunami
33	NonTsunami13		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
34	NonTsunami14	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
36	NonTsunami16		Tsunami		Tsunami	Non tsunami	
37	NonTsunami17	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
38	NonTsunami18	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
39	NonTsunami19		Tsunami		Tsunami	Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.2 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 64 dan Durasi Sinyal 0.1 detik

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 64 dan durasi sinyal 0.1 detik

Tabel 4.2 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 64 dan Durasi Sinyal 0.1 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
3	Tsunami3		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
5	Tsunami5	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
6	Tsunami6		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
7	Tsunami7		Non tsunami	Tsunami			Non tsunami
8	Tsunami8	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
10	Tsunami10		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
12	Tsunami12	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
13	Tsunami13		Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami
14	Tsunami14	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
15	Tsunami15		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
16	Tsunami16	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
17	Tsunami17	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
18	Tsunami18		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
20	Tsunami20	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
23	NonTsunami3	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
24	NonTsunami4	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
25	NonTsunami5	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
27	NonTsunami7		Tsunami		Tsunami	Non tsunami	
28	NonTsunami8	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
29	NonTsunami9		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
30	NonTsunami10		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11		Tsunami	Non tsunami			Tsunami
32	NonTsunami12	Non tsunami			Tsunami		Tsunami
33	NonTsunami13	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
34	NonTsunami14	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
36	NonTsunami16		Tsunami		Tsunami		Tsunami
37	NonTsunami17	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
38	NonTsunami18	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
39	NonTsunami19		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.3 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 128 dan Durasi Sinyal 0.1 detik

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 128 dan durasi sinyal 0.1 detik

Tabel 4.3 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 128 dan Durasi Sinyal 0.1 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
3	Tsunami3	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
5	Tsunami5		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
6	Tsunami6		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
7	Tsunami7	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
8	Tsunami8	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
9	Tsunami9	Tsunami				Tsunami	
10	Tsunami10	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
12	Tsunami12	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
13	Tsunami13	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
14	Tsunami14	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
15	Tsunami15		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
16	Tsunami16	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
17	Tsunami17	Tsunami					Non tsunami
18	Tsunami18		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
20	Tsunami20	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
23	NonTsunami3	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
24	NonTsunami4	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
25	NonTsunami5		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
27	NonTsunami7	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
28	NonTsunami8	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
29	NonTsunami9		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
30	NonTsunami10	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
32	NonTsunami12		Tsunami		Tsunami		Tsunami
33	NonTsunami13	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
34	NonTsunami14	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
36	NonTsunami16		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
37	NonTsunami17		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
38	NonTsunami18	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
39	NonTsunami19		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.4 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 32 dan Durasi Sinyal 0.5 detik

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 32 dan durasi sinyal 0.5 detik

Tabel 4.4 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 32 dan Durasi Sinyal 0.5 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
3	Tsunami3	Tsunami			Non tsunam	Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
5	Tsunami5	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
6	Tsunami6		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
7	Tsunami7	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
8	Tsunami8	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
10	Tsunami10		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
12	Tsunami12		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
13	Tsunami13	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
14	Tsunami14	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
15	Tsunami15		Non tsunami	Tsunami			Non tsunami
16	Tsunami16		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
17	Tsunami17	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
18	Tsunami18	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
20	Tsunami20		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Nontsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami			Tsunami		Tsunami
23	NonTsunami3		Tsunami	Non tsunami			Tsunami
24	NonTsunami4	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
25	NonTsunami5		Tsunami	Non tsunami			Tsunami
26	NonTsunami6	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
27	NonTsunami7	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
28	NonTsunami8		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
29	NonTsunami9	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
30	NonTsunami10	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11		Tsunami	Non tsunami			
32	NonTsunami12	Non tsunami			Tsunami		Tsunami
33	NonTsunami13	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami
34	NonTsunami14	Non tsunami	Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
36	NonTsunami16		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	Tsunami
37	NonTsunami17	Non tsunami			Tsunami		Tsunami
38	NonTsunami18	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
39	NonTsunami19	Nontsunami			Tsunami	Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.5 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 64 dan Durasi Sinyal 0.5 detik

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 64 dan durasi sinyal 0.5 detik

Tabel 4.5 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 64 dan Durasi Sinyal 0.5 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
3	Tsunami3		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
5	Tsunami5	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
6	Tsunami6		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
7	Tsunami7	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
8	Tsunami8	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
10	Tsunami10		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
11	Tsunami11		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
12	Tsunami12	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
13	Tsunami13	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
14	Tsunami14		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
15	Tsunami15	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
16	Tsunami16	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
17	Tsunami17	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
18	Tsunami18	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
20	Tsunami20	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
23	NonTsunami3		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
24	NonTsunami4	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
25	NonTsunami5	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
27	NonTsunami7		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
28	NonTsunami8		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
29	NonTsunami9	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
30	NonTsunami10	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
32	NonTsunami12	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
33	NonTsunami13	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
34	NonTsunami14		Tsunami		Tsunami	Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
36	NonTsunami16	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
37	NonTsunami17	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
38	NonTsunami18		Tsunami		Tsunami		Tsunami
39	NonTsunami19	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.6 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 128 dan Durasi Sinyal 0.5 detik

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 128 dan durasi sinyal 0.5 detik

Tabel 4.6 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 128 dan Durasi Sinyal 0.5 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
3	Tsunami3	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
5	Tsunami5	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
6	Tsunami6	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
7	Tsunami7	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
8	Tsunami8	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
10	Tsunami10	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
12	Tsunami12		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
13	Tsunami13	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
14	Tsunami14	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
15	Tsunami15		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
16	Tsunami16	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
17	Tsunami17	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
18	Tsunami18	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
20	Tsunami20	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
23	NonTsunami3	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
24	NonTsunami4		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
25	NonTsunami5	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
27	NonTsunami7		Tsunami	Non tsunami			Tsunami
28	NonTsunami8	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
29	NonTsunami9	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
30	NonTsunami10	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
32	NonTsunami12	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
33	NonTsunami13		Tsunami		Tsunami	Non tsunami	
34	NonTsunami14	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
36	NonTsunami16	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
37	NonTsunami17		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
38	NonTsunami18		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
39	NonTsunami19	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.7 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 32 dan Durasi Sinyal 1 detik

Pada Tabel 4.7 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 32 dan durasi sinyal 1 detik

Tabel 4.7 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 32 dan Durasi Sinyal 1 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
3	Tsunami3	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
5	Tsunami5		Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami
6	Tsunami6	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
7	Tsunami7		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
8	Tsunami8		Non tsunami		Non tsunami	Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
10	Tsunami10		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
12	Tsunami12		Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami
13	Tsunami13	Tsunami			Non tsunami		Non tsunami
14	Tsunami14	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
15	Tsunami15		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
16	Tsunami16	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
17	Tsunami17		Non tsunami	Tsunami			Non tsunami
18	Tsunami18	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
20	Tsunami20	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
23	NonTsunami3	Non tsunami			Tsunami		Tsunami
24	NonTsunami4		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
25	NonTsunami5	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
27	NonTsunami7		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
28	NonTsunami8	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
29	NonTsunami9	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
30	NonTsunami10	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
32	NonTsunami12		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
33	NonTsunami13	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
34	NonTsunami14	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
36	NonTsunami16	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
37	NonTsunami17	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
38	NonTsunami18		Tsunami		Tsunami	Non tsunami	
39	NonTsunami19	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.8 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 64 dan Durasi Sinyal 1 detik

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 64 dan durasi sinyal 1 detik

Tabel 4.8 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 64 dan Durasi Sinyal 1 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
3	Tsunami3		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
4	Tsunami4		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
5	Tsunami5	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
6	Tsunami6	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
7	Tsunami7	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
8	Tsunami8		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
10	Tsunami10	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
12	Tsunami12	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
13	Tsunami13	Tsunami		Tsunami			Non tsunami
14	Tsunami14	Tsunami		Tsunami	Non tsunami	Tsunami	
15	Tsunami15		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
16	Tsunami16	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
17	Tsunami17		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
18	Tsunami18	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
20	Tsunami20	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
23	NonTsunami3	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
24	NonTsunami4	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
25	NonTsunami5	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
27	NonTsunami7		Tsunami	Non tsunami			Tsunami
28	NonTsunami8	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
29	NonTsunami9	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
30	NonTsunami10	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
31	NonTsunami11		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
32	NonTsunami12	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
33	NonTsunami13	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
34	NonTsunami14		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
35	NonTsunami15		Tsunami		Tsunami		Tsunami
36	NonTsunami16	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
37	NonTsunami17	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
38	NonTsunami18		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
39	NonTsunami19	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.1.9 Hasil Uji Coba Untuk Ukuran *Codebook* 128 dan Durasi Sinyal 1 detik

Pada Tabel 4.9 dapat dilihat hasil uji coba untuk ukuran *codebook* 128 dan durasi sinyal 1 detik

Tabel 4.9 Hasil Uji Coba Ukuran *Codebook* 128 dan Durasi Sinyal 1 detik

No	Iterasi Nama File	5		10		15	
		Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi	Teridentifikasi	Tidak teridentifikasi
1	Tsunami1	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
2	Tsunami2	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
3	Tsunami3	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
4	Tsunami4	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
5	Tsunami5		Non tsunami	Tsunami		Tsunami	
6	Tsunami6		Non tsunami	Tsunami			Non tsunami
7	Tsunami7	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
8	Tsunami8	Tsunami			Non tsunami	Tsunami	
9	Tsunami9	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
10	Tsunami10	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
11	Tsunami11	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
12	Tsunami12	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
13	Tsunami13		Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami
14	Tsunami14	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
15	Tsunami15	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
16	Tsunami16	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
17	Tsunami17	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
18	Tsunami18	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
19	Tsunami19	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
20	Tsunami20	Tsunami		Tsunami		Tsunami	
21	NonTsunami1	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
22	NonTsunami2	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
23	NonTsunami3		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
24	NonTsunami4		Tsunami	Non tsunami		Non tsunami	
25	NonTsunami5	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
26	NonTsunami6	Non tsunami		Non tsunami			Tsunami
27	NonTsunami7	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
28	NonTsunami8	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
29	NonTsunami9	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
30	NonTsunami10	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
31	NonTsunami11	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
32	NonTsunami12		Tsunami	Non tsunami			Tsunami
33	NonTsunami13	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
34	NonTsunami14	Non tsunami			Tsunami	Non tsunami	
35	NonTsunami15	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
36	NonTsunami16	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
37	NonTsunami17	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
38	NonTsunami18	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
39	NonTsunami19	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	
40	NonTsunami20	Non tsunami		Non tsunami		Non tsunami	

4.2 Analisis sistem

Secara umum, analisis yang dilakukan terdiri dari analisis sistem pengenalan gelombang gempa dan analisis perbandingan kerja sistem dengan melihat tiga macam variabel. Ketiga variabel itu adalah jumlah *iterasi*, besarnya *codebook* dan durasi sinyal. Secara lebih lengkap analisis pada skripsi ini terdiri dari :

1. Rangkuman data hasil uji coba
2. Analisis pengaruh perubahan ukuran *codebook* terhadap sistem
3. Analisis pengaruh perubahan besar iterasi terhadap sistem
4. Analisis pengaruh perubahan durasi sinyal terhadap sistem

4.2.1 Rangkuman Data Hasil Uji Coba

Data hasil uji coba berdasarkan Tabel 4.1– 4.9 maka persentase akurasi pengenalan sinyal inputan secara keseluruhan dapat dilihat dalam Tabel 4.10 , sedangkan untuk persentasi akurasi tiap *label* dapat dilihat dalam Tabel 4.11 – 4.12.

Tabel 4.10 Tabel persentase akurasi keseluruhan

Iterasi Sinyal Codebook	5			10			15		
	0.1 Detik	0,5 detik	1 detik	0.1 detik	0,5 detik	1 detik	0.1 detik	0,5 detik	1 detik
32	62,5%	65%	70%	72.5%	72,5%	72.5%	75%	77,5%	80%
64	65%	72,5%	77,5%	80%	77,5%	80%	80%	80%	85%
128	75%	80%	85%	82,5%	80%	90%	85%	90%	95%

Tabel 4.11 Tabel persentase akurasi label Tsunami

Iterasi	5			10			15		
Sinyal Codebook	0.1 detik	0,5 detik	1 detik	0.1 detik	0,5 detik	1 detik	0.1 detik	0,5 detik	1 detik
32	60%	60%	60%	65%	70%	70%	75%	75%	75%
64	60%	70%	75%	80%	75%	85%	80%	80%	85%
128	80%	80%	85%	80%	80%	90%	90%	90%	90%

Tabel 4.12 Tabel persen akurasi label Non Tsunami

Iterasi	5			10			15		
Sinyal Codebook	0.1 detik	0,5 detik	1 detik	0.1 detik	0,5 detik	1 detik	0.1 detik	0,5 detik	1 detik
32	65%	70%	80%	70%	75%	75%	75%	65%	80%
64	70%	75%	75%	80%	80%	80%	80%	80%	85%
128	70%	70%	85%	85%	80%	90%	85%	90%	90%

4.2.2 Analisis Pengaruh Perubahan Ukuran Codebook Terhadap Sistem

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa untuk jumlah iterasi yang sama, namun ukuran *codebook* meningkat mengakibatkan peningkatan besarnya persen akurasi pada keseluruhan sistem untuk masing-masing durasi sinyal.

Peningkatan besarnya persen akurasi ini disebabkan karena ukuran *codebook* yang lebih besar membuat jumlah *codeword(centroid)* semakin banyak. Pada Gambar 2.13 dapat dilihat bahwa banyaknya *codeword* ini membuat sistem mengkuantisasi rentang nilai vektor data semakin teliti, sehingga pemetaan

Universitas Indonesia

terhadap vektor data dapat dilakukan dengan jarak yang lebih kecil. Dengan kata lain, distorsi VQ (jarak antara sebuah vektor data dengan *codeword* terdekat) pada akhir iterasi akan makin kecil.

Sebelumnya telah diketahui bahwa peningkatan ukuran *codebook* dapat meningkatkan persen akurasi secara keseluruhan, akan tetapi bila kita melihatnya dari tiap *label* maka peningkatan ukuran *codebook* belum tentu meningkatkan persen akurasi. Ada *label* dari gelombang gempa yang persen akurasinya tetap ketika ukuran *codebook*nya meningkat. Kondisi ini dapat dilihat dari Tabel 4.11 – 4.12. Tetapnya persentase akurasi untuk tiap *label* ketika ukuran *codebook* meningkat tidak mempengaruhi kemampuan keseluruhan sistem sebab persen akurasi untuk keseluruhan sistem tetap meningkat.

Berkurangnya persen akurasi untuk tiap *label* ini dikarenakan beberapa gelombang gempa yang awalnya teridentifikasi oleh sistem menjadi tidak teridentifikasi. Hal tersebut dikarenakan untuk gelombang non tsunami mempunyai karakteristik sinyal yang mirip dengan gelombang tsunami. Serta adanya noise suara ketika suara gelombang gempa direkam. Adanya noise ini menyebabkan adanya perbedaan karakteristik dari sinyal gelombang yang ditraining.

4.2.3 Analisis Pengaruh Perubahan Besar Iterasi Terhadap Sistem

Perubahan besar iterasi yang semakin meningkat akan membuat persen akurasi dari sistem pengenalan gelombang gempa semakin meningkat, peningkatan ini dapat dilihat pada Tabel 4.10.. Peningkatan besar iterasi akan membuat jumlah data dari gelombang gempa semakin banyak, sehingga data yang digunakan untuk pembuatan database pada proses make *label* akan semakin banyak pula. Perubahan data ini tentu akan mempengaruhi proses make *codebook* dan make HMM menjadi lebih akurat karena data ini lebih mewakili keseluruhan gelombang gempa yang mempunyai karakteristik tertentu yang belum tercakup oleh iterasi sebelumnya. Dari Tabel 4.10 juga dapat dilihat peningkatan persen

akurasi ini lebih baik dibandingkan dengan peningkatan persen akurasi ketika ukuran *codebook* meningkat.

4.2.4 Analisis Pengaruh Perubahan Durasi Sinyal Terhadap Sistem

Perubahan durasi sinyal dari 0.1 detik menjadi 0,5 detik kemudian menjadi 1 detik memberikan persen akurasi yang lebih besar, seperti yang terlihat pada Tabel 4.10. Gelombang gempa untuk durasi sinyal 0.1 detik merupakan bagian dari durasi sinyal 0,5 detik dan bagian dari durasi sinyal 1 detik.

Perubahan durasi sinyal yang semakin lama akan memberikan lebih banyak titik sampling pada pembuatan *label*, sehingga mempengaruhi pembuatan *codebook* dan model HMM. Penambahan durasi ini juga akan membuat jumlah titik sampling yang dibandingkan lebih banyak sehingga kemungkinannya menjadi lebih besar untuk teridentifikasi.

BAB V

KESIMPULAN

Setelah melakukan perencanaan pemrograman perangkat lunak pendeteksi gempa serta melalui pengujian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Sistem pendeteksi gelombang tsunami dengan hidden markov model ini dapat menentukan gelombang yang berpotensi menyebabkan tsunami atau non tsunami.
2. Penambahan ukuran *codebook*, besar iterasi dan durasi sinyal akan membuat persen akurasi dari sistem semakin tinggi
3. Hasil akurasi yang diperoleh pada sistem ini adalah untuk durasi pencuplikan 0,1 codebook 32 = 69,1 %, codebook 64 = 76,6 % dan codebook 128 = 85 %. Sedangkan untuk durasi pencuplikan 0,5 detik codebook 32 = 72,5 %, codebook 64 = 73,3 % dan codebook 128 = 81,6 %, .untuk durasi pencuplikan 1 detik ukuran codebook 32 = 75 %, codebook 64 = 81,6 % dan codebook 128 = 87,5 %.

DAFTAR ACUAN

- [1] Badan Meteorologi dan Geofisika, *Gempa Bumi dan Tsunami*, Jakarta 2009
- [2] Gunawan Witjaksono, Arman Djohan, Chairul Hudaya , *National Tsunami Data Center (NTDC): A Contribution of Universitas Indonesia to Solve National Problems on Disaster Management and Mitigation*, Proceedings Symposium On The Future Role Of ASAIHL in The 21stCentury & Conference On Disaster Management Through Regional Cooperation, Jakarta, Indonesia: Desember 2006.
- [3] Arman D.Diponegoro, et al.,IJJS September 6 2006, "The Comparison of Vector Quantization Algorithms in Fish Species Acoustic Voice Recognition Using Hidden Markov Based on the phase detection of schooling reflection acoustic wave", *Electrical Engineering Department, University of Indonesia, Indonesia*
- [4] Subandono Diposaptono, Budiman, *Hidup Akrab Dengan Gempa Dan Tsunami*, PT. Sarana Komunikasi Utama, Bogor, 2007.
- [5] Pusat Litbang Sumber Daya Air, Peta Zona Gempa Indonesia:2004. Diakses 20 Juni 2008. <http://www.pusair-pu.go.id>
- [6] *Penataan ruang kawasan rawan tsunami*, Operasionalisasi Program Penanganan Bencana Alam Bidang Penataan Ruang, Bappeda Jabar: 2004. Diakses 17 juni 2008. <http://www.bappeda-jabar.go.id>.
- [7] Santoso. Djoko, *Pengantar Teknik Geofisika*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2002.

DAFTAR PUSTAKA

Andreas H., Irwan M., H.Z.Abidin, D. Darmawan, D.A. Sarsito, M. Gamal, *AN INTRODUCTION TO EARTHQUAKE GEODESY :Another Effort for Earthquake Hazard Monitoring*, Geodesy Research Group, Jakarta: Map Asia 2005.

Bruce A. Bolt, *Earthquakes*, W.H. Freeman and Company, Newyork, 2004.

Ota Kulhalek, *Anatomy Of Seismograms*, Elseiver Science Publishing Company INC. Tokyo 1990.

Subandono Diposaptono, Budiman, *“Hidup Akrab Dengan Gempa Dan Tsunami”*, PT. Sarana Komunikasi Utama, Bogor, 2007.

“Tsunami The Deadliest Wave”, Majalah Edisi Spesial Angkasa.