



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DISAIN DAN IMPLEMENTASI FILTER GELOMBANG  
PASANG-SURUT UNTUK ANALISA SISTEM  
PENDETEKSI TSUNAMI**

**SKRIPSI**

**WAHYU CESAR**

**0305020934**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPOK  
MEI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DISAIN DAN IMPLEMENTASI FILTER GELOMBANG  
PASANG-SURUT UNTUK ANALISA SISTEM  
PENDETEKSI TSUNAMI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Sains**

**WAHYU CESAR**

**0305020934**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
KEKHUSUSAN INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA  
DEPOK  
MEI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Wahyu Cesar**

**NPM : 0305020934**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 07 Mei 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Wahyu Cesar  
NPM : 0305020934  
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika  
Judul Skripsi : Disain dan Implementasi Filter Gelombang Pasang–Surut  
Untuk Analisa Sistem Pendeteksi Tsunami

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Dwi Handoko ( )

Pembimbing II : Dr. Santoso Soekirno ( )

Penguji I : Dr. Sastra Kusuma .W ( )

Penguji II : Dr. Bef Dasilva ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 07 Mei 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat rahmatnya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dengan maksud untuk memenuhi persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Sains jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi tugas akhir ini, dan juga untuk membuat rancangan kegiatan untuk pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Dwi Handoko Dr. Santoso Soekirno dan Dr. Wahyu .W Pandoe, selaku dosen-dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam proses penyusunan skripsi ini;
- (2) Pihak BPPT yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh judul dan rancangan tugas akhir yang saya perlukan;
- (3) Kedua orang tua dan seluruh anggota keluarga saya yang telah banyak memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) Dini Magfiroh serta seluruh sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini .

Akhir kata, saya berharap semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 7 Mei 2009

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

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

Nama : Wahyu Cesar  
NPM : 0305020934  
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

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

### **DISAIN DAN IMPLEMENTASI FILTER GELOMBANG PASANG-SURUT UNTUK ANALISA SISTEM PENDETEKSI TSUNAMI**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia dan BPPT 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 : 07 Mei 2009

Yang menyatakan

( Wahyu Cesar )

## ABSTRAK

Nama : Wahyu Cesar  
Program studi : Fisika  
Judul skripsi : Disain dan Implementasi Filter Gelombang Pasang-Surut untuk Analisa Sistem Pendeteksi Tsunami

Skripsi ini membahas mengenai pengembangan sistem peringatan dini tsunami (*Tsunami Early Warning System*) yang sedang dikerjakan oleh pihak BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) yang lebih difokuskan pada sistem analisa data yang berbasis komputerisasi dengan membuat disain dan implementasi proses pengolahan data yang di plot secara kontinu sehingga menghasilkan sinyal yang periodik. Penelitian ini akan dimulai dari pembahasan sistem pengambilan data, penerimaan data, hingga sistem pengolahan data. Namun yang lebih dikhususkan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sistem pengolahan data atau sistem pengolahan sinyal (*Digital Signal Processing*). Penelitian ini berfungsi untuk menghasilkan suatu metode sistem pemrograman (*software*) yang dapat digunakan untuk mengolah data secara cepat dengan menggunakan metode-metode filter sinyal digital, khususnya untuk menghilangkan data pasang-surut gelombang air laut, yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan tsunami.

Kata kunci : filter sinyal digital, gelombang pasang-surut, tsunami

## ABSTRACT

Name : Wahyu Cesar  
Program study : Physics  
Title of essay : Design and Implementation Filter Tidal Wave For Analysis  
System Tsunami Detection

This essay discusses the development of tsunami early warning system (*Tsunami Early Warning System*) is being done by BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), which focused more on data analysis system based computer to create the design and implementation of data processing in a continuous plot resulting signal is periodic. This study will start from the discussion of the system of data, receiving data, to a data processing system. However, a more focused in the writing of this final task is a system of data processing or signal processing system (*Digital Signal Processing*). This research work to produce a system programming method (*software*) that can be used to process the data quickly by using the methods filter the digital signal, especially to analyze the data tidal waves sea , which can be used to detect the presence of the tsunami.

Keywords: digital signal filters, tidal waves, the tsunami



# DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.1.1 Deskripsi Tsunami.....	3
1.1.2 Kebutuhan Sistem Peringatan Dini Tsunami .....	4
1.2 Pembatasan Masalah .....	6
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	7
1.4 Metodologi Penelitian .....	8
1.5 Sistematika Penulisan.....	9
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	10
2.1 Terminologi Tsunami .....	10
2.1.1 Penyebab Terjadinya Tsunami .....	10
2.1.2 Karakteristik Tsunami .....	11
2.2 Teori Pasang-Surut .....	14
2.3 Digital Signal Processing .....	17
2.3.1 Filter Sinyal digital .....	17
2.3.2 Jenis Filter dan Respon Frekuensi.....	18
2.3.3 Filter FIR .....	20
2.3.4 Filter IIR .....	22
2.4 Latar Belakang TEWS Indonesia .....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	28
3.1 Perangkat Hardware TEWS .....	28
3.2 Sistem Pengiriman Data .....	33
3.3 Sistem Pengelolaan Data Buoy .....	42
3.4 Sistem Pengolahan Data Untuk Analisa Deteksi Tsunami .....	46
3.4.1 Pembacaan Data .....	47
3.4.2 Metode Kombinasi Filter Sinyal Digital .....	49
3.4.3 Metode Filter Tidal Remove Data.....	51
3.4.4 Disain Tampilan Data Pada GUI .....	54
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	55
4.1 Analisa Perangkat Software .....	55
4.2 Analisa Disain Time Series Data.....	57
4.3 Analisa Implementasi Parameter Filter .....	59

4.4 Analisa Implementasi Metode Kombinasi Filter Sinyal Digital .....	72
4.5 Analisa Implementasi Metode Filter Tidal Remove Data .....	80
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>88</b>
5.1 Kesimpulan .....	88
5.2 Saran .....	89
DAFTAR ACUAN .....	90
LAMPIRAN .....	91



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan gelombang tsunami dengan gelombang biasa.....	12
Tabel 2.2. Data karakteristik gelombang tsunami berdasarkan Gambar 2.1 .....	14
Tabel 2.3. Spesifikasi data buoy .....	26
Tabel 3.4. Spesifikasi tsunameter Indonesia .....	36
Tabel 4.1. Persentase sumber pembangkit tsunami .....	60



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Peta lokasi daerah yang berpotensi tsunami di Indonesia.....	2
Gambar 1.2.	Penggambaran tsunami akibat gempa di dasar laut .....	3
Gambar 2.1.	Perubahan ketinggian dan kecepatan gelombang tsunami.....	13
Gambar 2.2.	Gaya gravitasi bulan dan sentrifugal.....	15
Gambar 2.3.	Deklinasi bulan.....	16
Gambar 2.4.	Posisi bumi, bulan dan matahari .....	16
Gambar 2.5.	Blok diagram proses sistem pemfilteran digital.....	17
Gambar 2.6.	Respon frekuensi lowpass filter .....	18
Gambar 2.7.	Respon frekuensi highpass filter .....	19
Gambar 2.8.	Respon frekuensi bandpass filter .....	19
Gambar 2.9.	Respon frekuensi bandreject filter .....	20
Gambar 2.10.	Diagram operasi dasar konvolusi.....	21
Gambar 2.11.	Blok diagram filter FIR.....	22
Gambar 2.12.	Blok diagram filter IIR.....	23
Gambar 2.13.	Model buoy kerja sama internasional Indonesia .....	25
Gambar 2.14.	Distribusi buoy di kawasan Indonesia.....	25
Gambar 2.15.	Proses pengujian kestabilan buoy di laut .....	26
Gambar 3.1.	OBU dan Buoy .....	28
Gambar 3.2.	Struktur komponen OBU .....	29
Gambar 3.3.	Spesifikasi sensor ketinggian gelombang (BPR) .....	30
Gambar 3.3(a)	Tampilan luar sensor .....	30
Gambar 3.3(b)	Tampilan dalam sensor.....	31
Gambar 3.4.	Struktur komponen dan sistem mooring buoy .....	33
Gambar 3.5.	Sistem pengiriman data pada proyek TEWS Indonesia.....	34
Gambar 3.6.	Aliran data ketinggian gelombang laut dari buoy ke stasiun penerima.....	35
Gambar 3.7.	Sistem operasi Buoy dan OBU dalam sistem pengiriman data ke stasiun penerima.....	51
Gambar 3.8.	Grafik waktu pengiriman data dari buoy ke stasiun penerima.....	38
Gambar 3.9.	Gempa di Bengkulu dan travel time pada buoy Krakatau .....	39
Gambar 3.10.	Blok diagram alur data sistem TEWS.....	41
Gambar 3.11.	Contoh data error dari proses pengiriman.....	43
Gambar 3.12.	Sistem multimonitor.....	44
Gambar 3.13.	Diagram software teknologi.....	45
Gambar 3.14.	Database MySQL sistem TEWS .....	48
Gambar 3.15.	Contoh editor dari software python.....	49
Gambar 3.16.	Flow chart data dengan metode kombinasi filter sinyal digital .....	50
Gambar 3.17.	Flow chart metode tidal remove data .....	53
Gambar 4.1.	Piramida fungsi software.....	56
Gambar 4.2.	Plot data dari empat sumber lokasi .....	57
Gambar 4.3.	Data sinyal yang terdapat anomali .....	59
Gambar 4.4.	Perbedaan panjang gelombang serta amplitudo gelombang .....	62
Gambar 4.5.	Analisa karakteristik spektrum gelombang laut.....	63
Gambar 4.6.	Deteksi gempa dan tsunami awal.....	64

Gambar 4.7.	Blok diagram perhitungan konvolusi filter FIR .....	66
Gambar 4.8.	Sinyal setelah difilter dengan menggunakan lowpass filter FIR....	67
Gambar 4.9.	Metode lowpass filter untuk menemukan sinyal tsunami .....	68
Gambar 4.10.	Respon frekuensi lowpass filter .....	69
Gambar 4.11.	Karakteristik sinyal tsunami.....	70
Gambar 4.12.	Sinyal hasil metode kombinasi filter sinyal digital .....	72
Gambar 4.13.	Sinyal hasil deteksi pada tanggal 12-13 September 2007 .....	73
Gambar 4.14.	Sinyal sebelum gempa pada tanggal 5-11 September 2007.....	74
Gambar 4.15.	Hasil pembesaran Metode Kombinasi Filter .....	75
Gambar 4.16.	Sistem Deteksi dengan Metode Kombinasi filter.....	76
	(a) Pembesaran sinyal anomali hasil deteksi pertama .....	76
	(b) Pembesaran sinyal anomali hasil deteksi kedua .....	76
	(c) Pembesaran sinyal anomali hasil deteksi ketiga .....	76
Gambar 4.17.	Respon frekuensi metode kombinasi filter sinyal digital.....	77
Gambar 4.18.	Hasil deteksi sinyal dengan metode kombinasi filter.....	79
	(a) Hasil deteksi pada filter orde 32.....	79
	(b) Hasil deteksi pada filter orde 200 .....	79
	(c) Hasil deteksi pada filter orde 500 .....	79
Gambar 4.19.	Sinyal tidal hasil filter .....	80
Gambar 4.20.	Zoom sinyal tidal pada tanggal 12-16 September 2007.....	81
Gambar 4.21.	Filter lowpass FIR orde 32 (biru) dan orde 500 (merah) .....	82
Gambar 4.22.	Sistem desimasi sinyal untuk menghilangkan sinyal tidal.....	83
Gambar 4.23.	Sinyal deteksi dari metode Tidal Remove .....	84
Gambar 4.24.	Proses desimasi sinyal dan pembesaran tampilan untuk menemukan sinyal tsunami.....	85
Gambar 4.25.	Sinyal hasil desimasi pada tanggal 5-11 September 2007 .....	86
Gambar 4.26.	Hasil sinyal deteksi metode Tidal Remove untuk analisa sinyal tsunami .....	87

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh data tsunami Bengkulu pada 12 September 2007.....	91
Lampiran 2. Program metode kombinasi filter sinyal digital .....	92
Lampiran 3. Program metode tidal remove data.....	96



# **BAB. I**

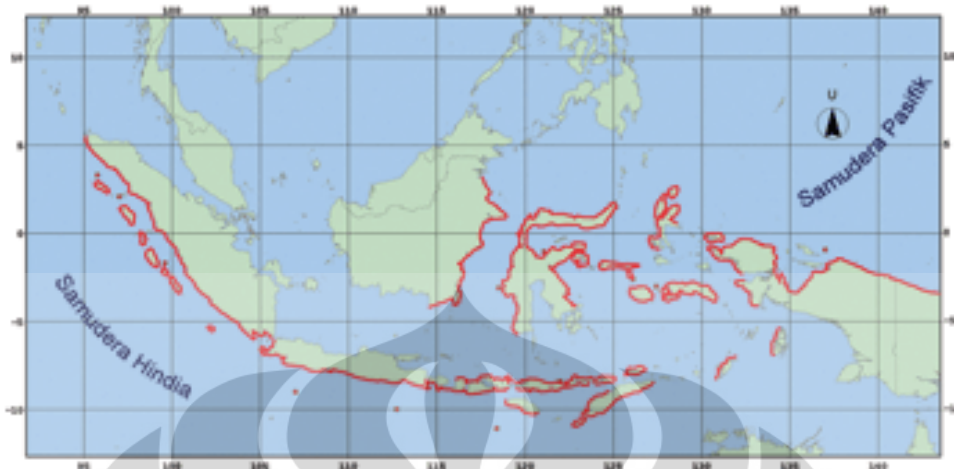
## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bencana gempa bumi merupakan suatu hal yang tidak dapat dicegah ataupun ditunda kedatangannya, karena bencana tersebut merupakan takdir yang telah digariskan oleh Tuhan, kedatangannya secara tiba-tiba dan sulit untuk dapat diprediksikan sebelumnya. Menurut pandangan ilmiah gempa bumi banyak terjadi akibat pergerakan lempeng-lempeng bumi di daerah subduksi atau terjadi akibat letusan gunung merapi. Namun gempa bumi yang paling membahayakan adalah gempa yang terjadi di dasar laut karena gerakan vertikal pada kerak bumi, dapat mengakibatkan dasar laut naik atau turun secara tiba-tiba, yang mengakibatkan gangguan kesetimbangan air yang berada di atasnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya aliran energi air laut, yang ketika sampai di pantai menjadi gelombang besar yang mengakibatkan terjadinya tsunami.

Berdasarkan katalog gempa (1629 - 2002) di Indonesia pernah terjadi tsunami sebanyak 109 kali, yakni 1 kali akibat longsoran (landslide), 9 kali akibat gunung berapi dan 98 kali akibat gempa tektonik. Hal-hal yang paling berpotensi menimbulkan tsunami adalah gempa yang terjadi di dasar laut, kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km, kekuatan gempa lebih besar dari 6,0 Skala Richter, jenis pensesaran gempa tergolong sesar naik atau sesar turun. Tanda-tanda akan datangnya tsunami di daerah pinggir pantai adalah air laut yang surut secara tiba-tiba, bau asin yang sangat menyengat, dari kejauhan tampak gelombang putih dan suara gemuruh yang sangat keras. Biasanya timbulnya tsunami karena terjadi deformasi vertikal di dasar laut.

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap tsunami, terutama kepulauan yang berhadapan langsung dengan pertemuan lempeng, antara lain Barat Sumatera, Selatan Jawa, Nusa Tenggara, Utara Papua, Sulawesi dan Maluku, serta Timur Kalimantan



Gambar 1.1. Peta lokasi daerah yang berpotensi tsunami di Indonesia

Tsunami di Indonesia pada umumnya adalah tsunami lokal, dimana waktu antara terjadinya gempa bumi dan datangnya gelombang tsunami antara 20 s/d 30 menit. Lokasi daerah yang berpotensi terjadinya tsunami di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1. Tsunami di Samudra Hindia pada 26 Desember 2004 merupakan hari yang sangat bersejarah bagi bangsa Indonesia. Karena setelah sekian lama bangsa Indonesia tidak mengalami musibah tersebut, pada saat itu kita mengalami musibah besar yang bukan hanya melanda negara kita, tapi juga negara-negara lain seperti Thailand, Bangladesh, India, Sri Lanka, bahkan Maladewa, Somalia, Kenya, dan Tanzania yang berada di Afrika. Tsunami yang melanda Aceh dan sebagian Sumatera Utara, sebelumnya ditandai dengan gempa berkekuatan 9,15 Skala Richter. Ratusan ribu orang tewas, belum lagi korban luka-luka dan korban materi. Jumlah korban yang sangat besar membuat tsunami ini merupakan tsunami paling mematikan sepanjang sejarah dunia.

Namun pada saat itu kita tidak memiliki sistem peringatan dini seperti halnya perangkat sistem yang ada di Samudra Pasifik. Hal ini karena negara Indonesia memang jarang mengalami musibah tsunami. Tsunami terakhir yang cukup besar di Indonesia terjadi pada tahun 1883, yang disebabkan oleh meletusnya Gunung Krakatau di Selat Sunda. Itu berarti sudah lebih dari seabad yang lalu. Setelah ada tsunami ini, UNESCO dan lembaga-lembaga lainnya di dunia mulai merintis pengembangan sistem pengawasan tsunami global untuk wilayah di sekitar Samudra Hindia [8].



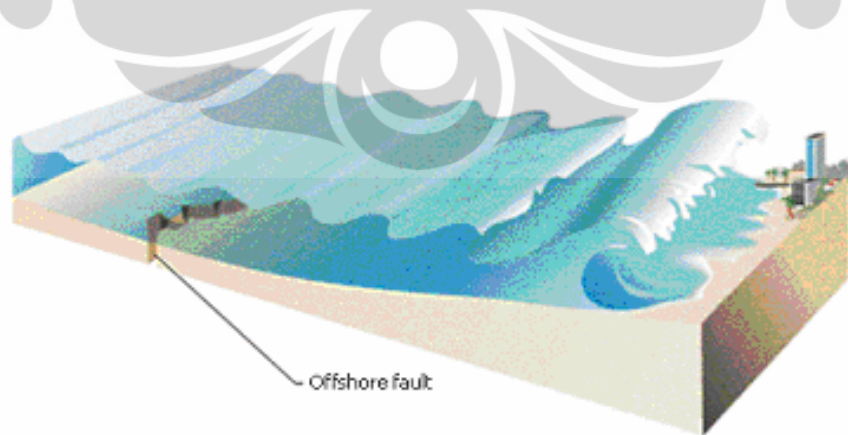
### 1.1.1 Deskripsi Tsunami

Tsunami adalah sebuah ombak yang terjadi setelah sebuah gempa bumi yang terjadi di dasar laut, meletusnya gunung merapi, atau jatuhnya meteor di laut. Namun 90% tsunami adalah akibat gempa bumi yang terjadi di dasar laut. Dalam catatan sejarah beberapa tsunami diakibatkan oleh gunung meletus, misalnya ketika meletusnya gunung Krakatau. Kekuatan tsunami konstan terhadap fungsi ketinggian dan kelajuannya.

Oleh karena itu, apabila gelombang telah menghampiri garis pantai, ketinggiannya meningkat sementara kelajuannya menurun. Gelombang tersebut bergerak dengan kecepatan tinggi, sehingga hampir tidak dapat dirasakan efeknya oleh kapal laut saat melintasi di laut dalam, tetapi meningkat ketinggian hingga mencapai 30 meter atau lebih di daerah pantai. Tsunami dapat menyebabkan kerusakan dan korban jiwa pada kawasan pesisir pantai dan kepulauan.

Dampak negatif yang diakibatkan tsunami adalah merusak apa saja yang dilaluinya. Misalnya bangunan, tumbuh-tumbuhan, dan mengakibatkan korban jiwa manusia serta menyebabkan genangan, pencemaran air asin pada lahan pertanian, tanah, dan air bersih.[4]

Pada Gambar 1.2 terlihat bahwa mayoritas tsunami disebabkan adanya gempa yang berada di sekitar lokasi patahan didasar laut dengan kecepatan gelombang tsunami bergantung terhadap kedalaman laut di mana gelombang tersebut terjadi, dimana kecepatannya dapat mencapai ratusan kilometer per jam.



Gambar 1.2. Penggambaran tsunami akibat gempa di dasar laut

Bila tsunami mencapai pantai, kecepatannya akan menjadi kurang lebih 50 km/jam dan energinya sangat merusak daerah pantai yang dilaluinya. Di tengah laut dalam ketinggian gelombang tsunami hanya beberapa cm hingga beberapa meter, namun saat mencapai pantai tinggi gelombangnya dapat mencapai puluhan meter karena terjadi penumpukan massa air. Saat mencapai pantai tsunami akan merayap masuk daratan jauh dari garis pantai dengan jangkauan mencapai beberapa ratus meter bahkan dapat mencapai beberapa kilometer.[3]

Bencana tsunami yang paling dahsyat terjadi di negara kita salah satunya yaitu bencana tsunami yang terjadi di Aceh pada tanggal 26 Desember 2004 beberapa tahun lalu yang menelan jutaan korban jiwa, oleh karena itu banyak cara-cara atau metode yang dilakukan oleh Badan atau Lembaga Penelitian dalam negeri untuk mengantisipasi terjadinya bencana tsunami tersebut, yang bertujuan agar dapat meminimalisir kerugian dan korban jiwa yang berjatuh akibat bencana alam tersebut. Maka pemerintah saat ini melakukan pengembangan sistem untuk mendeteksi terjadinya tsunami yang dilakukan oleh instansi pemerintahan dalam negeri yaitu Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang dinamakan alat pendeteksi dini tsunami atau lebih dikenal dengan proyek *RDS - TEWS (Read Down Station - Tsunami Early Warning System)*.

### **1.1.2 Kebutuhan Sistem Peringatan Dini Tsunami**

Pengembangan Tsunami Early Warning System (TEWS) perlu segera dilaksanakan mengingat daerah pesisir Indonesia banyak memiliki daerah rawan gempa yang berpotensi menimbulkan tsunami. Hal ini juga menjadi penting karena peralatan yang dimiliki Indonesia saat ini beroperasi lebih lambat 10 menit dari rata-rata perkiraan waktu masuknya gelombang tsunami menjangkau daerah-daerah pantai. Seluruh alat di BMG siap operasional, namun hingga saat ini belum ada yang berfungsi automatic processing (bekerja secara otomatis) meski sudah real time. Sehingga perlu waktu 30 menit baru selesai. Tetapi, melihat kondisi rata-rata pantai, kita hanya punya waktu 20 menit (waktu gelombang menyerang daerah berpenduduk), peralatan yang real time jumlahnya masih terbatas sehingga penyebarannya tidak merata. Hal ini juga menimbulkan keterlambatan dalam melakukan pengolahan data.

Peralatan ini perlu disamakan sehingga pengolahan data bisa dicapai dalam waktu lima menit saja, misalnya dengan cara statistik yang memprediksi gempa berdasarkan siklus terjadinya (return period). Masalahnya, semakin tinggi besaran (magnitude) gempa semakin lama siklus terjadinya. Selain itu, Indonesia tidak memiliki data gempa yang dapat diandalkan dan ini berarti dapat memperbesar kesalahan (error) perhitungan menjadi 10 persen. Misalnya gempa enam skala Richter memiliki siklus 10 tahun. Kalau error 10 persen berarti prediksi terjadinya setiap enam tahun, jelas dengan peralatan seperti itu, maka akan sangat sulit memberikan informasi yang real time. Pasalnya, tsunami rata-rata memiliki kecepatan rambat 12 km per menit atau 200 meter per detik, sementara pantai di Indonesia yang rata-rata hanya berjarak 400 meter dari daerah-daerah rawan gempa. Artinya, tsunami akan menyentuh pantai hanya dalam waktu 4 -5 menit. Meskipun peralatan yang ada baru mengumumkan tsunami setelah 30 menit, masih ada daerah yang bisa memanfaatkan peringatan itu. Misalnya ketika di Parangtritis, Yogyakarta, terjadi tsunami, maka penduduk di Pelabuhan Ratu yang baru dijangkau gelombang tsunami dari Parangtritis setelah 40 menit masih dapat mengamankan diri.

Peralatan dan sistem observasi yang dimiliki beberapa institusi riset maupun instansi terkait masih lebih banyak berfungsi mendeteksi bahaya. Karenanya, perlu upaya integrasi agar hasil observasi menjadi informasi bencana yang dapat disebarluaskan secara real time, Hal yang sama juga terjadi dengan 10 stasiun pengamatan gelombang milik PT Pelindo dan 12 buoys (alat pendeteksi lingkungan laut) milik BPPT. Karenanya, Kementerian Riset dan Teknologi bekerja sama dengan BMG, Departemen Komunikasi dan Informasi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Departemen Luar Negeri, Bappenas, Bakornas PBP, BPPT, Bakorsurtanal, LAPAN, LIPI, dan ITB menyusun grand scenario Pengembangan Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia (Indonesian Tsunami Early Warning System).

Sistem ini diharapkan mampu memberikan peringatan dini dalam waktu lima menit setelah terjadinya gempa. Sistem ini tidak hanya untuk bencana tsunami, tetapi juga memberikan peringatan dini terhadap bahaya bencana lain seperti banjir, tanah longsor, letusan gunung berapi, dan kebakaran hutan. Selain

itu, guna menjadi bagian terintegrasi secara internasional, maka sistem ini juga memerlukan protokol standar agar serasi (compatible) dengan kinerja sistem yang berlaku secara internasional.

Saat ini sudah ada tiga daerah yang dijadikan percontohan persiapan menghadapi gempa yakni Bengkulu, Sumatera Barat, dan Pangandaran, Jawa Barat. Rencananya, dalam 10 tahun ke depan, seluruh daerah pantai sudah melakukan hal yang sama, sistem ini belum memikirkan ketersediaan peralatan darurat yang mampu memberikan peringatan dini kepada masyarakat sebelum terbentuknya TEWS. Padahal, belum tentu TEWS terbentuk dalam waktu yang singkat, sementara tsunami belum diketahui kapan akan terjadi lagi, bisa satu tahun ke depan atau lebih singkat lagi.[13]

## 1.2 Pembatasan Masalah

Di dalam penelitian ini akan dibahas mengenai sistem peringatan dini tsunami (Tsunami Early Warning System) berdasarkan cara kerja komponen TEWS, sistem pengambilan data ketinggian air laut terhadap waktu dengan sistem monitoring, sistem pengiriman data, serta lebih khusus pada sistem pengolahan data dengan metode filter digital signal processing (DSP) sehingga data dapat di lihat dengan cara diplot terhadap waktu “real time” untuk mempermudah dalam menganalisa level ketinggian air laut untuk mendeteksi keberadaan tsunami.

Sistem pengolahan data mentah yang telah diterima oleh BPPT memiliki beberapa fungsi yaitu diantaranya adalah penerimaan data secara *realtime*, Penyimpanan Data, Diseminasi Data, Pengolahan Data, Monitoring/Warning, Decision Support System. Dalam penelitian ini akan lebih difokuskan mengenai processing data yaitu mengenai Decision Support System (DSS).

Decision Support System (DSS) adalah suatu kelas khusus dari sistem informasi yang berbasis komputerisasi dan berfungsi untuk membantu dalam menganalisa data sehingga didapatkan sebuah keputusan.[11] Dalam hal ini keputusan untuk menentukan adanya tsunami (pendeteksi tsunami). Disain tampilan DSS yang direncanakan di dalam sistem ini memiliki tujuh fungsi, yaitu: GIS based view, Graphical Wave Plot, Filter dengan tunable parameter (LPF, HPF), Adaptive Filtering, WindSpeed, WinDir stick plot, dan Control Action.[19]

Dari ketujuh fungsi tersebut, penulis lebih khusus akan membahas mengenai Graphical Wave Plot, Filter dengan tunable parameter (Lowpass Filter dan Highpass Filter), serta Adaptive Filtering yang merupakan sistem pemfilteran data yang berfungsi untuk membuat filter sinyal digital yang sesuai untuk karakteristik data gelombang air laut.

Sistem pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode-metode programming filter dengan software Python yang juga ditambah dengan source code tambahan lainnya seperti misalnya Matplotlib yang digunakan untuk plotting data pada GUI (*Graphycal User Interface*) python, untuk menampilkan plot data sinyal yang telah di filter untuk analisa sistem deteksi tsunami.

### **1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan penelitian ini antara lain :

1. Membuat disain dan implementasi software pemrograman untuk melakukan processing data pada proyek Tsunami Early Warning System yang sedang dikembangkan oleh BPPT
2. Membuat beberapa metode pemrograman filter FIR (Finite Impuls Respons) dengan sistem Digital Signal Processing dan melakukan perbandingan untuk menghasilkan analisa sistem pendeteksi tsunami
3. Menyelesaikan skripsi tugas akhir untuk persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan oleh BPPT untuk pengembangan proyek TEWS, yang digunakan untuk mengantisipasi banyaknya korban yang berjatuh akibat terjadinya bencana tsunami
2. Mengetahui sistem kinerja proyek TEWS di negara Indonesia dari sistem pengambilan data, pengiriman data, hingga sistem pengolahan data untuk melakukan analisa deteksi tsunami.
3. Mengetahui dasar-dasar pemrograman untuk pembuatan filter sinyal digital dengan metode FIR

## 1.4 Metodologi Penelitian

Beberapa metode penelitian yang dilakukan penulis pada skripsi tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan antara lain:

### a. Studi Kepustakaan

Studi kepustakaan dilakukan penulis adalah untuk memperoleh teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet dan buku-buku yang berhubungan dengan tugas akhir penulis sehingga diperoleh teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi.

### b. Studi Peralatan

Studi peralatan bertujuan untuk mempelajari karakteristik dan spesifikasi software yang akan digunakan dalam penelitian sehingga dapat dipergunakan sesuai dengan tujuan penelitian, dan diharapkan lebih mengetahui kelebihan atau kekurangan dari peralatan (hardware) TEWS serta dapat mengetahui sistem kerja peralatan tersebut beserta fungsinya, sehingga dapat mempermudah dalam melakukan pengolahan data dan membuat disain simulasi untuk analisa data.

### c. Eksperimen dan Analisa

Eksperimen pada penelitian ini adalah melakukan simulasi program, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui metode-metode filter yang akan digunakan serta mempelajari nilai parameter yang sesuai untuk mengolah data ketinggian gelombang laut. Analisa penelitian sistem pemrograman ini dilakukan untuk membahas mengenai disain plot data serta implementasi simulasi pemrograman filter FIR yang menggunakan metode Digital Signal Processing (DSP) sebagai *software monitoring* yang akan digunakan oleh proyek Tsunami Early Warning System (TEWS) sebagai sistem pengolahan data.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan ini terbagi menjadi 5 bab yang masing-masing bab terdiri dari beberapa sub-bab untuk mempermudah penjelasan. Penulisan dilakukan sebagai berikut:

### BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini merupakan penjelasan secara umum yang menjelaskan latar belakang permasalahan, pembatasan masalah yang ingin diselesaikan, tujuan dan manfaat penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan..

### BAB II. LANDASAN TEORI

Pada bab ini penulis menjelaskan sejarah perkembangan teknologi sistem pendeteksi tsunami di dunia dan di Indonesia, serta penulis pada bab ini juga menguraikan tentang teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian ini, yang sangat dibutuhkan sebagai landasan teori untuk simulasi serta analisa di dalam skripsi

### BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan - tahapan atau metode yang digunakan pada penelitian. Dalam penelitian ini tahapan dimulai dari sistem kerja dari TEWS untuk melakukan pengambilan data, pengiriman data, hingga menghasilkan beberapa metode pengolahan data untuk mengetahui adanya tsunami (*Detection system*)

### BAB IV. PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan membahas hasil yang telah dicapai berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta melakukan analisa hasil untuk mengetahui kelebihan ataupun kekurangan dari penelitian.

### BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melalui tahapan-tahapan eksperimen pada penelitian ini, maka pada bab ini penulis dapat menarik kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilakukan, serta dapat ditambahkan saran-saran yang membangun untuk pengembangan proyek TEWS selanjutnya.

## **BAB. II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Terminologi Tsunami**

Tsunami adalah gelombang air yang sangat besar yang dibangkitkan oleh bermacam gangguan di dasar samudra. Gangguan ini dapat berupa gempa bumi, pergeseran lempeng, atau gunung meletus. Tsunami tidak terlihat saat posisinya masih berada jauh di tengah lautan, namun ketika mencapai wilayah dangkal gelombang tersebut bergerak cepat dan akan semakin membesar.

Tsunami sering dianggap sebagai gelombang air pasang. Hal ini karena saat mencapai daratan, gelombang tersebut memang lebih menyerupai air pasang yang tinggi dari pada menyerupai ombak biasa yang mencapai pantai secara alami oleh hembusan angin. Namun sebenarnya gelombang tsunami sama sekali tidak berkaitan dengan peristiwa pasang surut air laut. Karena itu untuk menghindari pemahaman yang salah, para ahli oseanografi sering menggunakan istilah gelombang laut seismik (seismic sea wave) untuk menyebut tsunami, yang secara ilmiah lebih akurat.

#### **2.1.1 Penyebab Terjadinya Tsunami**

Tsunami dapat dipicu oleh bermacam-macam gangguan (disturbance) berskala besar terhadap air laut, misalnya gempa bumi, pergeseran lempeng, meletusnya gunung berapi di bawah laut, atau tumbukan benda langit. Tsunami dapat terjadi apabila dasar laut bergerak secara tiba-tiba dan mengalami perpindahan vertikal.

##### **Longsor Lempeng Bawah Laut (Undersea landslides)**

Gerakan yang besar pada kerak bumi biasanya terjadi di perbatasan antar lempeng tektonik. Celah retakan antara kedua lempeng tektonik ini disebut dengan sesar (fault). Sebagai contoh, di sekeliling tepian Samudra Pasifik yang biasa disebut dengan Lingkaran Api (Ring of Fire), lempeng samudra yang lebih padat menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Proses ini dinamakan dengan



penunjaman (subduction). Gempa subduksi sangat efektif membangkitkan gelombang tsunami.

#### Gempa bumi Bawah Laut (Undersea Earthquake)

Gempa tektonik merupakan salah satu gempa yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi. Jika gempa semacam ini terjadi di bawah laut, air di atas wilayah lempeng yang bergerak tersebut berpindah dari posisi ekuilibriumnya. Gelombang muncul ketika air ini bergerak oleh pengaruh gravitasi kembali ke posisi ekuilibriumnya. Bila wilayah yang luas pada dasar laut bergerak naik ataupun turun, tsunami dapat terjadi.

#### Aktivitas Vulkanik (Volcanic Activities)

Pergeseran lempeng di dasar laut, selain dapat mengakibatkan gempa juga seringkali menyebabkan peningkatan aktivitas vulkanik pada gunung berapi. Kedua hal ini dapat menggoncangkan air laut di atas lempeng tersebut. Demikian pula, meletusnya gunung berapi yang terletak di dasar samudra juga dapat menaikkan air dan membangkitkan gelombang tsunami.

#### Tumbukan Benda Luar Angkasa (Cosmic-body Impacts)

Tumbukan dari benda luar angkasa seperti meteor merupakan gangguan terhadap air laut yang datang dari arah permukaan. Boleh dibayangkan tsunami yang timbul karena sebab ini umumnya terjadi sangat cepat dan jarang mempengaruhi wilayah pesisir yang jauh dari sumber gelombang. Sekalipun begitu, bila pergerakan lempeng dan tabrakan benda angkasa luar cukup dahsyat, kedua peristiwa ini dapat menciptakan megatsunami.

### 2.1.2 Karakteristik Tsunami

Perilaku gelombang tsunami sangat berbeda dari ombak laut biasa. Gelombang tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi dan dapat merambat lintas-samudra dengan sedikit energi berkurang. Tsunami dapat menerjang wilayah yang berjarak ribuan kilometer dari sumbernya, sehingga mungkin ada selisih waktu beberapa jam antara terciptanya gelombang ini dengan bencana yang ditimbulkannya di pantai. Waktu perambatan gelombang tsunami lebih lama dari

waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk mencapai tempat yang sama. Periode tsunami cukup bervariasi, mulai dari 2 menit hingga lebih dari 1 jam. Panjang gelombangnya sangat besar, antara 100-200 km. Bandingkan dengan ombak laut biasa di pantai selancar (surfing) yang mungkin hanya memiliki periode 10 detik dan panjang gelombang 150 meter. Karena itulah pada saat masih di tengah laut, gelombang tsunami hampir tidak nampak dan hanya terasa seperti ayunan air saja.

Bila lempeng samudra bergerak naik, wilayah pantai akan mengalami banjir air pasang sebelum datangnya tsunami. Dan apabila lempeng samudra pada sesar bergerak turun (sinking), kurang lebih pada separuh waktu sebelum gelombang tsunami sampai di pantai, air laut di pantai tersebut surut. Pada pantai yang landai, surutnya air bisa mencapai lebih dari 800 meter menjauhi pantai. Masyarakat yang tidak sadar akan datangnya bahaya mungkin akan tetap tinggal di pantai karena ingin tahu apa yang sedang terjadi. Atau bagi para nelayan mereka justru memanfaatkan momen saat air laut surut tersebut untuk mengumpulkan ikan-ikan yang banyak bertebaran.

Tabel 2.1. Perbandingan gelombang tsunami dengan gelombang biasa

Parameter	Gelombang Tsunami	Gelombang Biasa
Periode Gelombang	2 menit - 1 jam	± 10 detik
Panjang Gelombang	100 - 200 km	150 m

Pada suatu gelombang, bila rasio antara kedalaman air dan panjang gelombang menjadi sangat kecil, gelombang tersebut dinamakan gelombang air-dangkal. Karena gelombang tsunami memiliki panjang gelombang yang sangat besar, gelombang tsunami berperan sebagai gelombang air dangkal, bahkan di samudra yang dalam.[3]

Gelombang air dangkal bergerak dengan kecepatan yang setara dengan akar kuadrat hasil perkalian antara percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dan kedalaman air laut.

$$v = \sqrt{g(m/s^2) \times d(m)} \quad (2.1)$$

Keterangan :

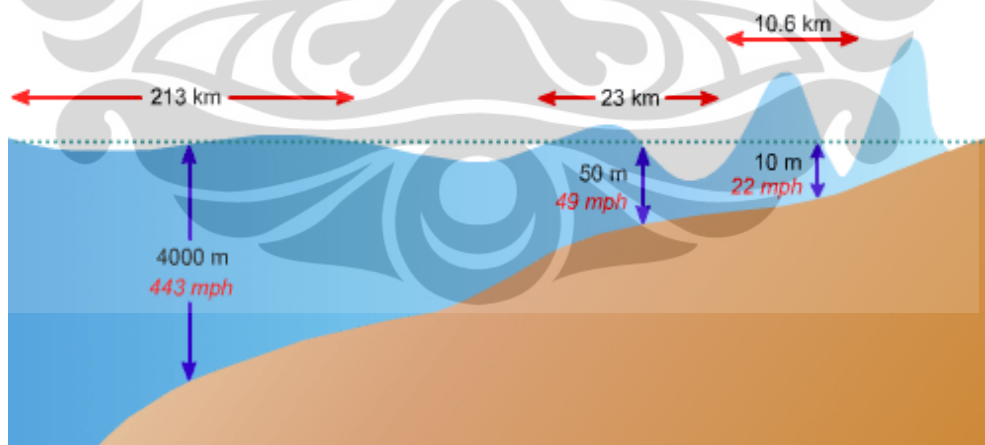
$v$  = velocity (kecepatan)

$g$  = gravitation ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

$d$  = depth (kedalaman)

Sebagai contoh, di Samudra Pasifik, dimana kedalaman air rata-rata adalah 4000 meter, gelombang tsunami merambat dengan kecepatan  $\pm 200 \text{ m/s}$  (kira-kira  $712 \text{ km/jam}$ ) dengan hanya sedikit energi yang hilang, bahkan untuk jarak yang jauh. Sementara pada kedalaman 40 meter, kecepatannya mencapai  $\pm 20 \text{ m/s}$  (sekitar  $71 \text{ km/jam}$ ), lebih lambat namun tetap sulit dilampaui.

Energi dari gelombang tsunami merupakan fungsi perkalian antara tinggi gelombang dan kecepatannya. Nilai energi ini selalu konstan, yang berarti tinggi gelombang berbanding terbalik dengan kecepatan merambat gelombang. Oleh sebab itu, ketika gelombang mencapai daratan, tingginya meningkat sementara kecepatannya menurun.



Gambar 2.1. Perubahan ketinggian dan kecepatan gelombang tsunami

Saat memasuki wilayah dangkal, kecepatan gelombang tsunami menurun sedangkan tingginya meningkat, menciptakan gelombang mengerikan yang sangat merusak.

Tabel 2.2. Data karakteristik gelombang tsunami berdasarkan Gambar 2.1

<b>Kedalaman (m)</b>	<b>Kecepatan (mph)</b>	<b>Panjang Gelombang (km)</b>
7000	586	282
4000	443	213
2000	313	151
200	99	48
50	49	23
10	22	10.6

Ketika manusia berada di tengah laut, bahkan mereka tidak menyadari adanya tsunami, gelombang tsunami dapat mencapai ketinggian hingga 30 meter atau lebih ketika mencapai wilayah pantai dan daerah padat. Tsunami dapat menimbulkan kerusakan yang sangat parah di wilayah yang jauh dari sumber pembangkitan gelombang, meskipun peristiwa pembangkitan gelombang itu sendiri mungkin tidak dapat dirasakan tanpa alat bantu.

Tsunami bergerak maju ke satu arah dari sumbernya, sehingga wilayah yang berada di daerah "bayangan" relatif dalam kondisi aman. Namun demikian, gelombang tsunami dapat saja berbelok di sekitar daratan. Gelombang ini juga bisa saja tidak simetris. Gelombang ke satu arah mungkin lebih kuat dibanding gelombang ke arah lainnya, tergantung dari peristiwa alam yang memicunya dan kondisi geografis wilayah sekitarnya.[3]

## 2.2 Teori Pasang-Surut

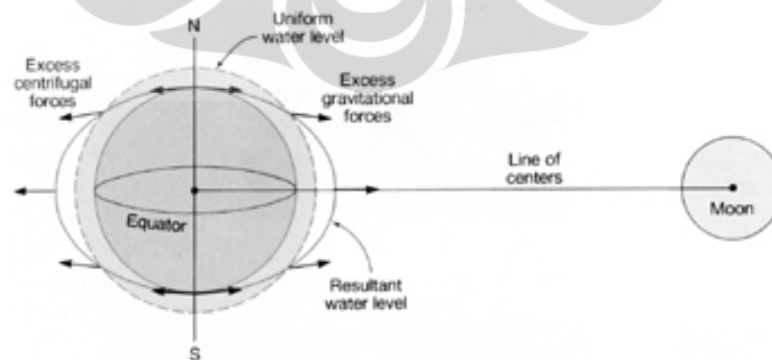
Pasang-Surut laut adalah naik atau turunnya posisi permukaan perairan atau samudra yang disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari. Ada tiga sumber gaya yang saling berinteraksi: laut, matahari, dan bulan. Pasang laut menyebabkan perubahan kedalaman perairan dan mengakibatkan arus pusaran yang dikenal sebagai arus pasang, sehingga perkiraan kejadian pasang sangat diperlukan dalam navigasi pantai. Wilayah pantai yang terbenam sewaktu

pasang naik dan terparap sewaktu pasang surut, disebut mintakat pasang, dikenal sebagai wilayah ekologi laut yang khas. Periode pasang laut adalah waktu antara puncak atau lembah gelombang ke puncak atau lembah gelombang berikutnya. Panjang periode pasang surut bervariasi antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit.

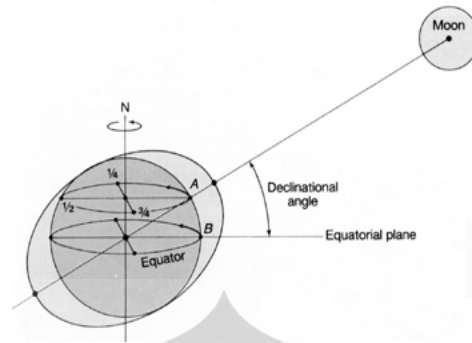
Bumi dikelilingi oleh Bulan dengan orbit yang ellips. Pada titik terdekat, yang disebut perigee, jarak Bulan adalah 384.000 km, sedang pada jarak terjauh, yang disebut apogee, adalah 406.700 km. Fakta yang lain adalah bidang orbit Bulan menyudut sebesar  $5^{\circ} 9''$  terhadap orbit Bumi.

Efek utama dari adanya Bulan yang mengelilingi Bumi adalah terjadinya pasang surut muka laut. Pasang surut terjadi sebagai efek dari gaya gravitasi dan sentrifugal dari Bulan yang mengelilingi Bumi (Gambar 2.2). Efek dari kedua gaya tersebut adalah terjadinya pasang pada bagian Bumi yang menghadap ke Bulan dan pada bagian Bumi yang membelakangi Bulan. Pada separuh bagian Bumi yang menghadap ke arah Bulan terbentuk gaya yang mengarah ke Bulan karena gaya gravitasi Bulan. Sebaliknya, pada arah yang berlawanan terbentuk gaya yang berlawanan arah karena gaya sentrifugal.

Gerak revolusi Bulan mengelilingi Bumi menyebabkan posisi pasang surut berubah setiap waktu. Terdapat perbedaan waktu antara hari matahari (solar day) dan hari bulan (lunar day). Satu hari matahari adalah 24 jam, 0 menit dan 0 detik. Satu hari bulan adalah 24 jam dan 50,47 menit. Perbedaan waktu tersebut menyebabkan waktu pasang tertinggi dan waktu surut terendah setiap hari bergeser 50,47 menit. Pergeseran ini dikenal sebagai variasi pasang surut harian.



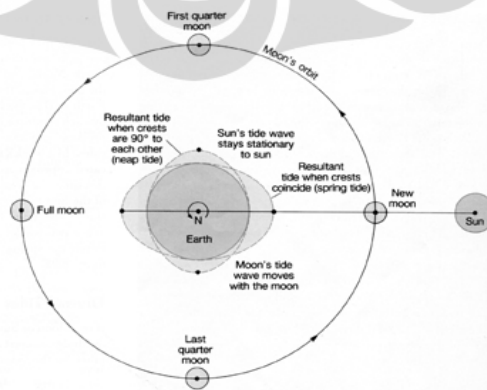
Gambar 2.2. Gaya gravitasi bulan dan sentrifugal



Gambar 2.3. Deklinasi bulan

Pengaruh deklinasi Bulan yang menyebabkan posisi puncak pasang surut yang berbeda setiap hari. Sementara itu, deklinasi Bulan menyebabkan posisi puncak pasang surut tidak terjadi pada posisi lintang yang sama (Gambar 2.3). Deklinasi Bulan berubah setiap hari, oleh karena itu posisi puncak pasang surut pun juga berubah setiap hari.

Matahari juga mempengaruhi pasang surut laut, tetapi pengaruh Bulan terhadap pasang surut lebih besar dari pada pengaruh Matahari, karena jarak Bulan ke Bumi lebih dekat daripada jarak Matahari ke Bumi. Konfigurasi posisi Bumi, Bulan dan Matahari mempengaruhi ketinggian muka laut pada saat pasang surut (Gambar 2.4). Pengaruh posisi Bulan dan Matahari terhadap pasang surut di Bumi. Posisi Bumi, Bulan dan Matahari yang berbeda menyebabkan perbedaan ketinggian pasang surut pada saat posisi konfigurasi tertentu. Setiap bulan, pasang surut tertinggi terjadi pada saat bulan mati dan bulan purnama. Setiap tahun, pasang surut tertinggi terjadi bila Bumi, Bulan dan Matahari berada pada posisi yang membentuk garis lurus.[12]



Gambar 2.4. Posisi bumi, bulan dan matahari

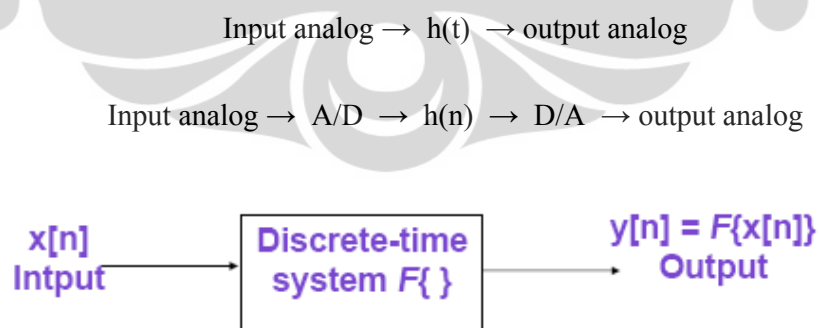
## 2.3 Digital Signal Processing

Digital Signal Processing adalah suatu bagian dari sains dan teknik yang berkembang pesat pada akhir-akhir ini yang merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk melakukan pemrosesan sinyal digital, baik secara hardware maupun software atau kombinasi keduanya untuk menghasilkan sinyal output yang diinginkan sehingga dapat membantu mempermudah dalam menganalisa karakteristik sinyal sistem.

Sinyal didefinisikan sebagai besaran fisik yang berubah-ubah menurut waktu, ruang, atau variable bebas atau variabel-variabel lainnya. Dan biasanya pemrosesan sinyal digital merupakan solusi yang baik untuk masalah pengolahan sinyal.

### 2.3.1 Filter Sinyal Digital

Pemfilteran adalah teknik pemrosesan sinyal yang mendasar untuk mengekstrak sinyal yang diperlukan dari bentuk aslinya. Semua teknik pemfilteran analog lowpass, highpass, bandpass, dan bandstop dapat diimplementasikan di domain digital bila sinyalnya disampling dengan tepat. Sampel sinyal ini dikirim melalui struktur filter digital untuk melakukan pemfilteran. Filter digital diklasifikasi menjadi filter FIR (Finite Impulse Response) dan IIR (Infinite Impulse Response). Masing-masing filter ini dapat melakukan hal yang serupa dengan filter analog.



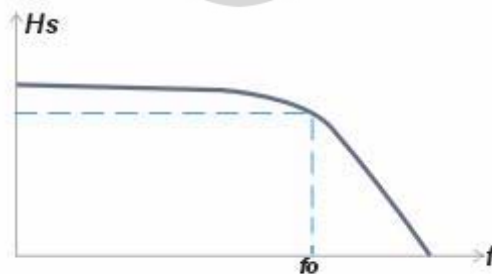
Gambar 2.5. Blok diagram proses sistem pemfilteran digital

Filter analog mengambil input analog dan menghasilkan output analog. Filter digital, dengan adanya perangkat pencuplikan dan konverter, melakukan hal yang sama dengan filter analog.[16]

### 2.3.2 Jenis Filter dan Respon Frekuensi

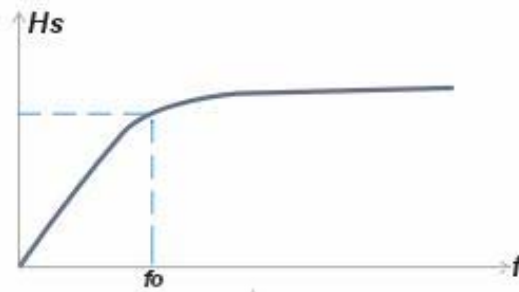
Ada 4 jenis filter yang biasa digunakan diantaranya adalah:

1. Lowpass filter adalah jenis filter yang melewatkan frekuensi rendah serta meredam frekuensi tinggi, dengan respon seperti tampak pada Gambar 2.6. Lowpass filter digunakan untuk meneruskan sinyal berfrekuensi rendah dan meredam sinyal berfrekuensi tinggi. Sinyal dapat berupa sinyal listrik seperti perubahan tegangan maupun data-data digital seperti citra dan suara. Untuk sinyal listrik, lowpass filter direalisasikan dengan meletakkan kumparan secara seri dengan sumber sinyal atau dengan meletakkan kapasitor secara paralel dengan sumber sinyal. Contoh penggunaan filter ini adalah pada aplikasi audio, yaitu pada peredaman frekuensi tinggi (yang biasa digunakan pada tweeter) sebelum masuk speaker bass atau subwoofer (frekuensi rendah). Kumparan yang diletakkan secara seri dengan sumber tegangan akan meredam frekuensi tinggi dan meneruskan frekuensi rendah, sedangkan sebaliknya kapasitor yang diletakkan seri akan meredam frekuensi rendah dan meneruskan frekuensi tinggi. Untuk sinyal berupa data-data digital dapat difilter dengan melakukan operasi matematika seperti konvolusi. FIR (Finite Impuls Response) atau Infinite Impulse Response (IIR) adalah algoritma untuk memfilter sinyal digital. Contoh aplikasi low-pass filter pada sinyal digital adalah memperhalus gambar dengan Gaussian blur.



Gambar 2.6. Respon frekuensi lowpass filter





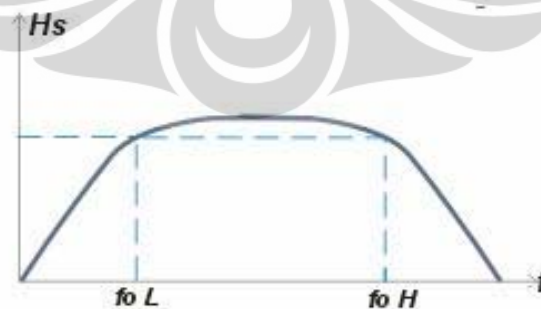
Gambar 2.7. Respon frekuensi highpass filter

2. Highpass filter adalah filter yang melewatkan frekuensi tinggi dan meredam frekuensi rendah, respon frekuensinya dapat dilihat pada Gambar 2.7. Highpass filter merupakan filter yang berfungsi untuk memotong sinyal yang memiliki frekuensi rendah dan meneruskan sinyal berfrekuensi tinggi, seperti halnya lowpass filter, filter ini juga dapat dilakukan operasi konvolusi FIR atau IIR untuk mendapatkan sinyal dengan frekuensi tinggi.
3. Bandpass filter adalah filter yang melewatkan suatu range frekuensi. Dalam perancangannya diperhitungkan nilai  $Q$  (faktor mutu) responnya seperti pada Gambar 2.8.

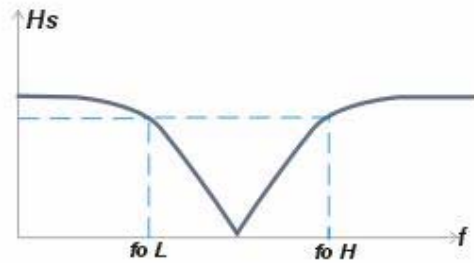
Dengan keterangan bahwa:

$Q$  = faktor mutu

$f_o$  = frekuensi cutoff



Gambar 2.8. Respon frekuensi bandpass filter



Gambar 2.9. Respon frekuensi bandreject filter

4. Band Reject filter adalah filter yang menolak suatu range frekuensi. Sama seperti bandpass filter, band reject juga memperhitungkan faktor mutu, respon frekuensi dari filter tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.9.[10]

Pada kasus pemfilteran digital, fungsi transfernya akan berupa model filter FIR ataupun IIR. Sinyal keluarannya dapat ditulis sebagai persamaan differensial agar mode filter dapat diimplementasikan ke hardware digital.

Proses komputasi untuk mentransformasi suatu sekuen, yang selanjutnya disebut sebagai input kedalam suatu sekuen bentuk lain yang selanjutnya disebut sebagai output. Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan:

$$y[n] = F\{x[n]\} \quad (2.2)$$

### 2.3.3 Filter FIR

Filter FIR (Finite Impuls Response) adalah sistem waktu diskrit yang respon impulsnya terbatas:

$$h[n] = (h_0, h_1, h_2, \dots, h_{N-1})$$

Fungsi transfer  $H(z)$  berupa polinom dalam  $z^{-1}$ , yaitu

$$H(z) = h_0 + h_1 z^{-1} + h_2 z^{-2} + h_3 z^{-3} + \dots + h_{N-1} z^{-(N-1)}$$

Karenanya filter ini memiliki  $N-1$  zero dan tidak memiliki pole. Persamaan perhitungan filter FIR tidak rekursif,

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b_k x[n-k] \quad (2.3)$$

misal ini akan diimplementasikan ke suatu FIR filter dengan koefisien  $\{b_k\} = \{3, -1, 2, 1\}$  maka kita memiliki suatu sekuen 4 dengan  $M=3$ . Hal ini diekspansi ke dalam bentuk persamaan differensial 4-titik menjadi:

$$y[n] = \sum_{k=0}^3 b_k x[n-k]$$

$$= 3x[n] - x[n-1] + 2x[n-2] + x[n-3]$$

“M” disebut orde filter

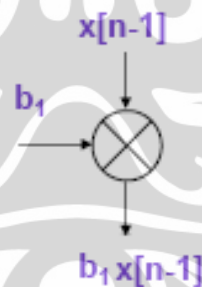
“L” koefisien filter, yang juga disebut sebagai panjang filter, besarnya  $L=M+1$

Berdasarkan persamaan tersebut menunjukan tiga operasi dasar yaitu:

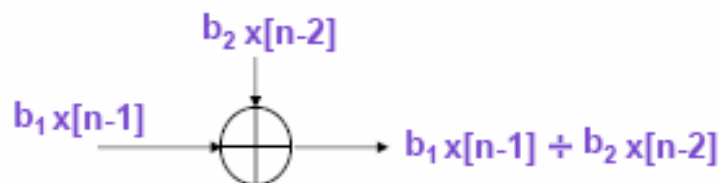
1. Delay



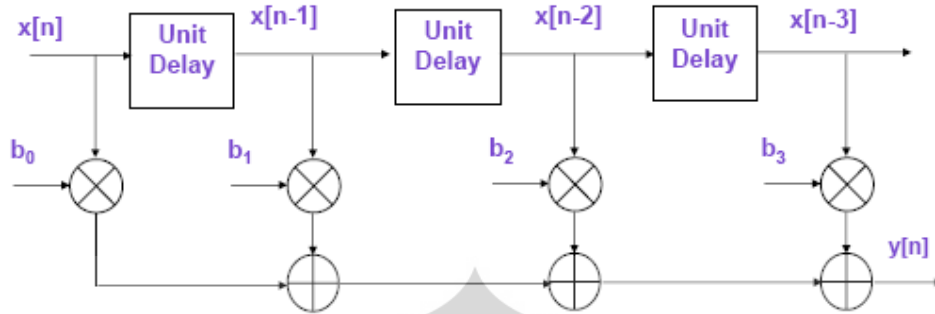
2. Perkalian



3. Penjumlahan



Gambar 2.10. Diagram operasi dasar konvolusi



Gambar 2.11. Blok diagram filter FIR

Maka persamaan umum filter FIR tersebut dapat dibentuk menjadi blok diagram berdasarkan operasi dasar filter seperti pada Gambar 2.11.

Keuntungan filter FIR :

- Selalu stabil (karena fungsi transfer tidak memiliki pole)
- Dapat dirancang untuk memiliki fasa linier
- Lebih mudah untuk diimplementasikan ke hardware
- Respon transien memiliki durasi yang terbatas

Tetapi filter ini juga memiliki beberapa kelemahan yaitu membutuhkan banyak orde untuk memperoleh respons filter yang semakin baik sehingga otomatis delay-nya pun lebih lama.[16]

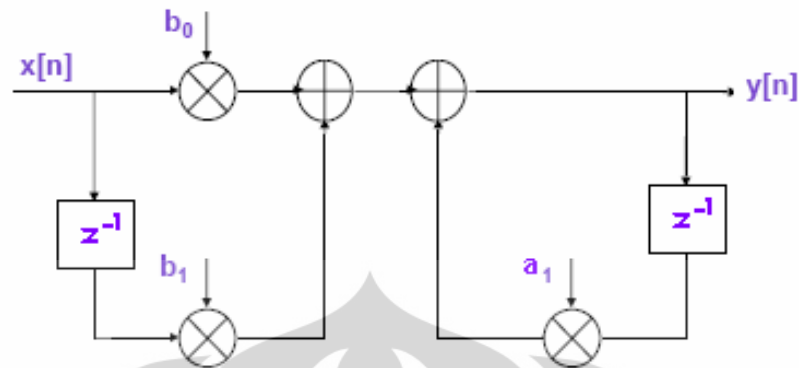
#### 2.3.4 Filter IIR

Infinite Impuse Response (IIR) dalam dalam hal ini jangan dipahami sebagai suatu kondisi response impulse dari  $- \infty$  dan berakhir sampai  $+\infty$

Lebih tepat dipahami sebagai suatu filter yang memperhitungkan kondisi sebelum dan sesudahnya, atau sebagai gabungan antara “feedback” dan “feed forward”

- Pada FIR: “feed forward”

- Pada IIR: “feedback” dan “feed forward”



Gambar 2.12. Blok diagram filter IIR

Bentuk umum persamaan IIR adalah

$$y[n] = \sum_{l=1}^N a_l y[n-l] + \sum_{k=0}^M b_k x[n-k] \quad (2.4)$$

Persamaan tersebut memiliki dua set koefisien diantaranya adalah  $a_l$  koefisien feedback dan  $b_k$  koefisien feed forward, maka banyaknya koefisien (total koefisien) =  $M+N+1$ , dan biasanya  $N$  ditetapkan sebagai orde filter IIR.

Apabila suatu sistem IIR memiliki nilai  $M = N = 1$  maka dengan fungsi output akan didapatkan persamaan  $y[n] = a_1 y[n-1] + b_0 x[n] + b_1 y[n-1]$ , maka blok diagram operasi persamaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.12.[16]

#### 2.4 Latar Belakang TEWS Indonesia

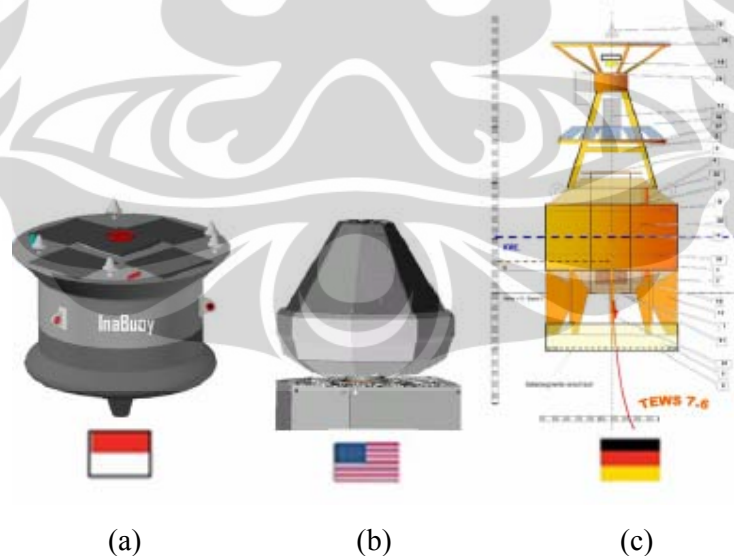
Pada Tsunami Early Warning System perangkat terpenting dalam proyek ini adalah Buoy dan *OBU* (*Ocean Bottom Unit*). Komponen-komponen tsunameter di Indonesia pada mulanya merupakan hasil kerjasama Internasional. Kerjasama yang dilakukan oleh badan penelitian dalam negeri dengan badan penelitian dari luar negeri. maka buoy yang berada di Indonesia merupakan hasil kerja sama Indonesia dengan negara luar seperti dengan Jerman, Amerika, atau Malaysia. Hingga akhir tahun 2008 Indonesia telah mampu membuat buoy yang dinamakan INA-Buoy sebanyak 10 buah yang dapat beroperasi di negara Indonesia, jumlah total buoy yang berada dikawasan Indonesia adalah 24 buoy

yang merupakan hasil kerja sama antar negara selain dari buoy buatan Indonesia, diantaranya adalah:

1. INA-Buoy buatan Indonesia (10 buoy)
2. Germany-Indonesia Tsunami Early Warning System (GITEWS) disebut GITEWS Buoys (10 buoy)
3. NOAA disebut DART Buoys (3 buoy)
4. ATSB Malaysia disebut Wave Scan Tsunami Buoy (1 buoy)

Berdasarkan kerja sama Indonesia dengan lembaga internasional negara lain maka Indonesia dapat melakukan sistem pengukuran daerah rawan tsunami lebih cepat dari yang diperkirakan sebelumnya sehingga dapat mengurangi resiko terjadinya tsunami sebelum operasi Tsunami Early Warning system tersebut berjalan. Disain bentuk buoy yang merupakan hasil kerja sama internasional Indonesia dengan lembaga negara lain dapat terlihat pada Gambar 2.13.

Buoy di kawasan Indonesia di tempatkan pada posisi-posisi yang berpotensi akan terjadinya tsunami, karena buoy di Indonesia yang dimiliki hanya 24 buah maka buoy di distribusikan secara merata di dua puluh empat kawasan Indonesia yang memiliki potensi besar terjadinya tsunami berdasarkan perkiraan dan analisa data dari BMG.



Gambar 2.13. Model buoy kerja sama internasional Indonesia  
 (a) Model buoy produksi Indonesia; (b) Model buoy produksi USA; dan  
 (c) Model buoy produksi Jerman

## Indonesian TEWS - Tsunameter

### Tsunami Buoy Array 2006 - 2008



Gambar 2.14. Distribusi buoy di kawasan Indonesia

Berdasarkan Gambar 2.14 maka dapat dilihat bahwa penyebaran buoy tsunameter yang mengapung pada permukaan laut berada pada posisi-posisi merata diseluruh kawasan Indonesia dari tahun 2006 sampai dengan akhir tahun 2008, diantaranya adalah INA-Buoy beserta buoy hasil kerjasama internasional dengan Jerman, Malaysia, dan USA. Buoy mayoritas buatan Indonesia sebanyak 10 buah beserta hasil kerjasama Indonesia-Jerman. Pada buoy yang tergambar dapat terlihat data dari buoy mengenai tahun dimulainya pengoperasian buoy tersebut. Untuk data lebih lengkap mengenai jenis buoy beserta spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.3.[15]

Berdasarkan Tabel 2.3 dapat dilihat spesifikasi buoy yang beroperasi di Indonesia dari tahun 2006-2008, dapat terlihat Nama dari buoy tersebut, pada inabuoy Namanya diambil berdasarkan lokasi daerah tempat buoy tersebut dioperasikan, sedangkan keterangan dari buoy tersebut merupakan nama instansi negara tempat buoy tersebut berasal, adapun nama buoy yang dituliskan berwarna biru merupakan buoy hasil produksi Indonesia.



Tabel 2.3. Spesifikasi data buoy

<b>Nama Buoy</b>	<b>Tahun Aktif</b>	<b>Keterangan</b>
DART-II Indian Oc	2007	BPPT-NOAA
DART-ETD Halmahera	2008	BPPT-NOAA
DART-ETD S.Bali	2008	BPPT-NOAA
<b>KRAKATAU</b>	2007	Ina, 2058m
<b>FLORES</b>	2008	Ina, 2035m
<b>BANDA</b>	2008	Ina, 2834m
<b>ARU</b>	2008	Ina, 3972m
<b>HALMAHERA</b>	2008	Ina, 1566m
<b>PALU</b>	2008	Ina, 2344m
<b>SORONG</b>	2008	Ina, 2612m
<b>BIAK</b>	2008	Ina, 4500m
<b>MENADO</b>	2008	Ina, 5100m
<b>KOMODO</b>	2008	Ina, 2324m
<b>RONDO</b>	2008	BPPT-MLY,487m
Buoy-1	2008	GITWS
Buoy-2	2008	GITWS
Buoy-3	2008	GITWS
Buoy-4	2008	GITWS
Buoy-5	2008	GITWS
Buoy-6	2008	GITWS
GFZ Buoy-1	2007	GITWS
GFZ Buoy-2	2007	GITWS
Buoy-9	2008	GITWS
Buoy-10	2008	GITWS

Dari 24 buoy tersebut diantaranya telah terbukti dapat beroperasi dengan baik pada saat terjadi gempa, yaitu INA-Buoy Krakatau buatan indonesia yang berada pada posisi bagian selatan dari kepulauan Sumatra yaitu tepatnya ketika gempabumi yang terjadi di daerah Bengkulu yang terjadi pada sekitar bulan september 2007, walaupun buoy tersebut baru mulai di operasikan pada tahun 2007. sehingga dapat diketahui bahwa komponen TEWS yaitu buoy dan OBU dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan sistem pengukuran secara monitoring.





Gambar 2.15. Proses pengujian kestabilan buoy di laut

Proses konstruksi dan integrasi buoy dan OBU dilakukan secara teliti dan terpadu. Seluruh komponen harus dipastikan kokoh dan aman untuk menghadapi hempasan ombak dipermukaan, serta kondisi ekstrem di dasar laut. Karena apabila terdapat kesalahan sedikit saja dapat berakibat buruk, misalnya buoy tidak dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan pengiriman data.

Sebelum mengoperasikan buoy dan OBU secara kontinu di laut lepas perlu dilakukan uji coba terhadap OBU dan buoy, pengujian dilakukan untuk mengetahui kestabilan buoy dan OBU dalam melakukan pengambilan data secara monitoring, sistem pengambilan data diuji dari mulai proses pengambilan data dari OBU hingga data diterima pada stasiun penerima di RDS BPPT.

Pada Gambar 2.15 terlihat bahwa proses peletakan buoy di permukaan laut untuk melakukan pengujian terlebih dahulu sebelum buoy mulai dioperasikan. Bukti bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik adalah adanya data yang diterima pada komputer pemantau di kapal, serta di stasiun penerima di darat yaitu tepatnya pada *Read Down Station*.

Buoy dan OBU dipasang pada posisi yang tidak jauh dari sumber yang berpotensi terjadi tsunami, namun sistem harus tetap aman apabila terjadi tsunami. Sehingga sebelum pemasangan buoy dan OBU, lokasi harus disurvei terlebih dahulu untuk mengetahui kondisi dasar laut, serta karakteristik lainnya di daerah tersebut. Pemasangan buoy di laut lepas dilakukan dari kapal survei yang memiliki peralatan yang handal serta canggih.[15]

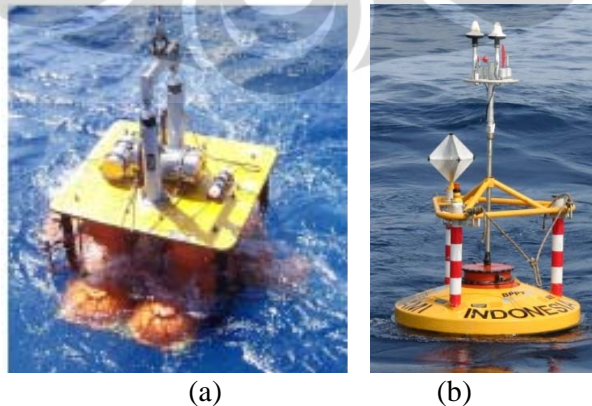
## BAB. III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Perangkat Hardware TEWS

Pada Tsunami Early Warning System (TEWS) digunakan dua komponen penting yaitu OBU (*Ocean Bottom Unit*) dan Buoy, maka dengan kedua komponen tersebut sistem pengambilan data dapat dilakukan dengan cepat dan akurat. Adapun komponen-komponen tersebut terdiri atas beberapa bagian yang memiliki fungsi – fungsi penting. Sistem tsunameter ini adalah satu-satunya alat yang dapat mendeteksi tsunami ketika tsunami masih berada di laut lepas, sehingga dapat memperingatkan masyarakat sekitar untuk segera bertindak. Sistem ini terdiri dari buoy yang dipasang dipermukaan laut dengan sistem penambat (mooring), dan perangkat dasar laut. OBU berfungsi sebagai alat pendeteksi tsunami, sementara buoy berfungsi sebagai alat penerima data dari OBU, dan melakukan pengiriman data ke stasiun penerima *RDS (Read Down Station)*.

Buoy adalah komponen penting untuk melakukan pengukuran yang posisinya berada diatas permukaan laut (mengapung), buoy ini berfungsi untuk melakukan penerimaan data dari OBU yang kemudian mengirimkan data tersebut ke stasiun penerima melalui satelit secara cepat, dan selain itu buoy digunakan sebagai sensor ketinggian gelombang laut karena ia bergerak mengikuti ketinggian gelombang laut.

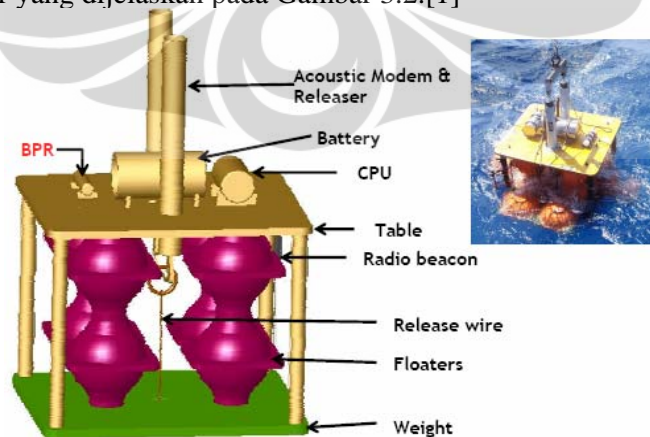


Gambar 3.1. (a) OBU dan (b) Buoy

Sedangkan di dasar laut terdapat komponen terpenting dalam melakukan sistem pengukuran ini yaitu OBU (*Ocean Bottom Unit*), komponen ini memiliki sensor pengukur tekanan dan sistem yang dapat mengirimkan data ke buoy secara cepat, yang kemudian data tersebut diteruskan oleh buoy ke satelit, .bentuk dari OBU dan buoy dapat dilihat pada Gambar 3.1. Dalam hal ini OBU memiliki peran penting untuk melakukan pengambilan data serta pengiriman langsung ke buoy.

Pada awalnya data yang diterima oleh buoy merupakan data yang dideteksi oleh sensor-sensor yang dipasang pada OBU (*Ocean Bottom Unit*) yang merupakan alat yang dipasang didasar laut yang berfungsi untuk mengukur perubahan tekanan air laut akibat perubahan anomali permukaan air laut yang ditimbulkan oleh gempa didasar laut atau sejenisnya yang kemudian dapat mengirimkan data langsung ke *buoy* dengan menggunakan sinyal akustik. Digunakan sinyal akustik karena sinyal tersebut dapat dikirim melalui medium air dan dapat bertahan hingga kedalaman 5000 meter dari permukaan laut

OBU memiliki beberapa komponen didalamnya seperti menggunakan pemberat atau beban yang dipasang untuk menenggelamkan alat tersebut ke dasar laut, yang memiliki berat 400 hingga 500 kilogram, selain itu digunakan *Float* atau pelampung yang digunakan untuk mengapungkan OBU apabila ingin melakukan penggantian baterai atau memperbaiki kerusakan pada platform OBU. Platform OBU terdiri atas sensor perekam tekanan, baterai, alat pemroses data terkomputerisasi, dan modem akustik pengirim sinyal data ke sensor permukaan, seperti struktur yang dijelaskan pada Gambar 3.2.[1]



Gambar 3.2. Struktur komponen OBU

Sistem terkomputerisasi (CPU) pada platform OBU tersebut dikendalikan oleh suatu software yang dirancang khusus oleh ahli-ahli di BPPT. Software tersebut berfungsi untuk mengendalikan fungsi kerja OBU serta memantau kerusakan pada OBU. Misalnya baterai pada OBU telah kosong sehingga perlu dilakukan penggantian baterai (baterai diganti setiap 3 tahun), maka diperintahkan kepada OBU untuk melepaskan *Release Wire* yang merupakan kawat baja penghubung antara platform OBU dengan beban, sehingga OBU akan mengapung ke permukaan dikarenakan adanya floaters (pelampung).

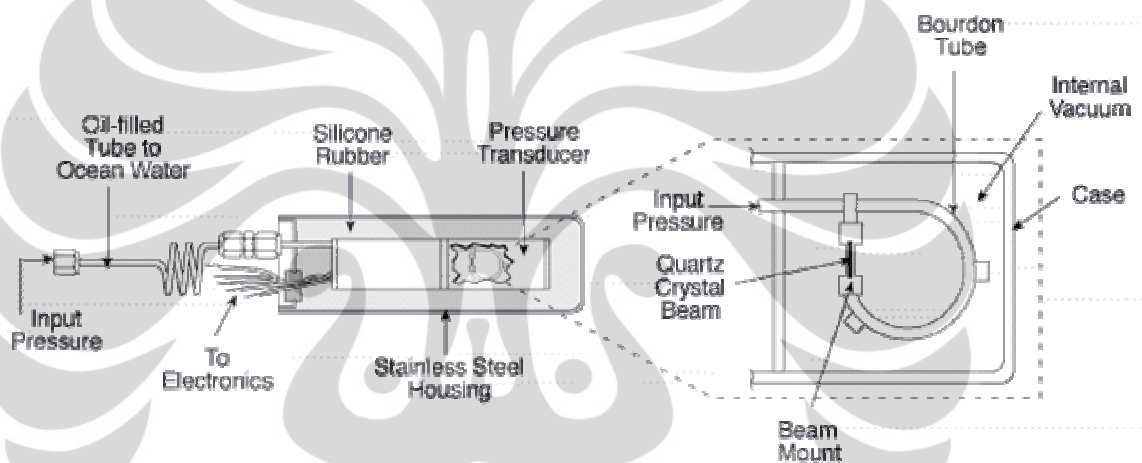
Pada platform OBU bagian komponen terpenting adalah sensor perekam tekanan atau BPR (Bottom Pressure Recorder) dalam hal ini "pressure" merupakan ketinggian permukaan laut yang di ukur dari dasar laut, sehingga sensor ini dapat disebut sebagai sensor ketinggian gelombang yang berfungsi untuk mengukur ketinggian gelombang permukaan laut dari dasar laut tempat OBU tersebut berada. Adapun contoh gambar dari BPR dapat di lihat pada Gambar 3.3. Resolusi dari BPR adalah sekitar 1mm sehingga cukup baik untuk mengukur ketinggian gelombang hingga ribuan meter. Sensor ini stabil untuk pengukuran pada temperatur berkisar antara  $2^{\circ} - 3^{\circ}\text{C}$  di dasar laut.[18]

BPR dapat digunakan untuk mengukur ketinggian gelombang laut dengan waktu sampling 15 detik untuk setiap pengambilan data, sehingga merupakan sensor yang sesuai untuk sistem pengukuran secara monitoring. Pada tampilan luar BPR (Gambar 3.3.a) sensor tersebut terbungkus oleh lempeng stainless steel sehingga dapat bertahan untuk tekanan yang tinggi pada kedalaman ribuan meter di dasar laut.

Pada tampilan dalam BPR (Gambar 3.3.b) terlihat bahwa transducer ini menggunakan Quartz Crystal Beam yang sangat tipis di bagian intinya. Cara kerjanya adalah induksi elektronik digunakan untuk menjalankan sistem vibrasi kristal pada mode resonansi terendah. Kemudian pada osilator tersebut terdapat *Bourdon Tube* yang merupakan tabung yang terbuka salah satu ujungnya (input sistem) sehingga sistem dapat berinteraksi dengan lingkungan (dalam hal ini air laut), dan salah satu ujung lainnya dipasang *Beam Mount* yang merupakan tempat untuk memasang kristal.



(a)



(b)

Gambar 3.3. Spesifikasi sensor ketinggian gelombang (BPR)

(a) Tampilan luar sensor; (b) Tampilan dalam sensor

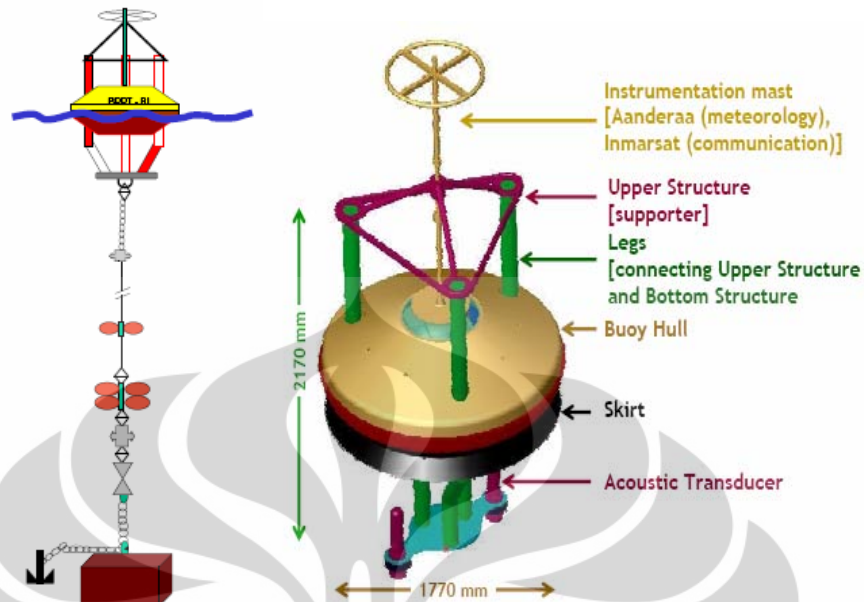
Pada saat terjadinya tsunami tekanan air laut sangat tinggi, maka air yang masuk pada instrumen bourdon tube memiliki tekanan yang tinggi sehingga keadaan kristal meregang dan meningkatkan frekuensi vibrasi pada kristal osilator, sebaliknya pada keadaan normal (tidak terjadi tsunami) air laut yang masuk pada bourdon tube memiliki tekanan yang stabil sehingga menyebabkan penyusutan dan memampatkan kristal, sehingga menurunkan frekuensi vibrasi dari kristal osilator tersebut.

Perubahan frekuensi vibrasi dapat terukur dengan tepat dan akurat oleh quartz crystal vibrational frequency dengan bantuan sistem elektronik pengukur tsunami dan selain itu sistem tersebut dapat melakukan konversi perubahan frekuensi vibrasi terhadap ketinggian gelombang permukaan laut yang sesuai. Karena periode sampling dari sensor tersebut kurang dari satu menit dan dapat bekerja hingga kedalaman 5000 m dibawah permukaan laut sehingga dapat dikatakan bahwa sensor ini sangat sensitif untuk resolusi 1mm.[17]

Komponen tsunameter lainnya adalah Buoy, buoy mengapung di permukaan laut dengan lokasi yang tidak jauh dengan posisi diletaknya OBU didasar laut. Buoy dibuat dari bahan dasar fiber glass dengan diameter sekitar 170 cm dan tinggi 200 cm. Hull (lambung) buoy terdiri dari dua lapisan. Di bagian dalam disediakan tempat untuk berbagai peralatan elektronika dan baterai. Diperlukan waktu beberapa bulan untuk membuat lambung buoy, sebelum digunakan buoy harus diuji terlebih dahulu kestabilanya., buoy dilengkapi dengan peralatan antena telekomunikasi, sensor meteorologi, dan sensor penerima sinyal akustik (transducer).

Dalam hal ini untuk mencegah buoy terbawa oleh arus dan gelombang air laut, maka digunakan tali khusus yang menghubungkan buoy dengan pemberat ratusan kilogram yang terdapat di dasar laut yang ditenggelamkan tidak jauh dari posisi OBU agar memperpendek jalur pengiriman sinyal akustik dari OBU kepada buoy, maka kemudian buoy berkomunikasi langsung dengan satelit melalui GPS untuk melakukan pengiriman data. Spesifikasi buoy dapat dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 3.4. Berdasarkan letak komponennya buoy terbagi atas dua bagian yaitu komponen bagian atas dan komponen bagian bawah, pada komponen bagian atas buoy terdapat antena telekomunikasi, dalam hal ini ada dua antena yaitu Aanderaa dan Inmarsat Antena Aanderaa berfungsi untuk sensor meteorologi sehingga lokasi buoy dapat diketahui melalui GPS yang dikoneksikan untuk mengirim data pada satelit, sedangkan antena inmarsat merupakan antena yang berfungsi untuk melakukan komunikasi buoy dengan satelit, untuk proses pengiriman data mengenai ketinggian gelombang laut terhadap waktu real time.





Gambar 3.4. Struktur komponen dan sistem mooring buoy

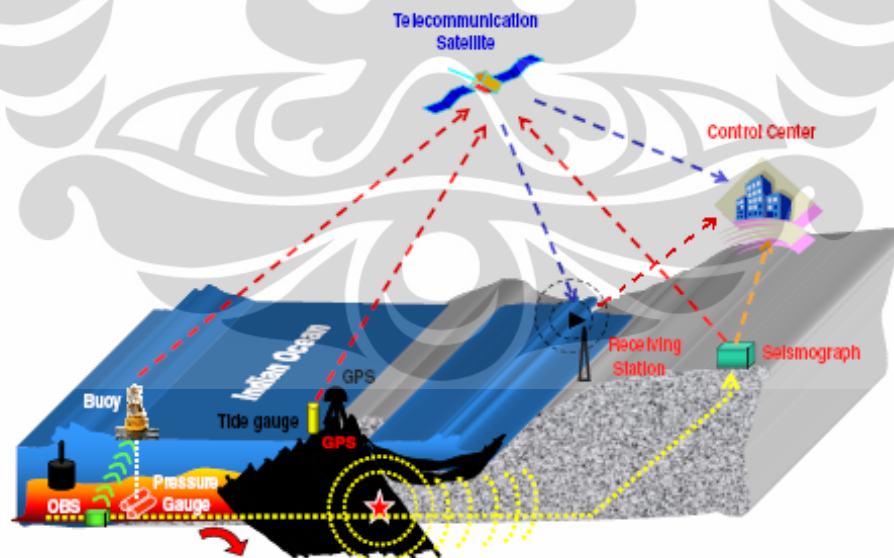
Pada struktur bagian bawah buoy terdapat Hull Buoy atau bagian lambung buoy yang didalamnya terdapat perangkat-perangkat elektronik yang digunakan untuk menyimpan data sementara sebelum dikirimkan serta terdapat baterai buoy, bagian tersebut dibungkus oleh skirt (merupakan pembungkus hull buoy yang kedap terhadap air laut), pada bagian paling bawah dari buoy, bagian yang tenggelam adalah transduser akustik yang merupakan sensor penerima sinyal akustik yang berasal dari OBU di dasar laut. Struktur bagian atas dan bagian bawah buoy dihubungkan dengan menggunakan kaki-kaki penghubung yang terlihat pada Gambar 3.4.

### 3.2 Sistem Pengiriman Data

Pada Gambar 3.5 tersebut dapat terlihat bahwa sistem pengiriman data dilakukan oleh beberapa komponen-komponen penting yang diantaranya adalah OBU, buoy, satellite komunikasi, seismograf, serta GPS. Dari kelima komponen tersebut dapat diketahui bahwa OBU, buoy, seismograf, serta GPS memberikan input ke satelit komunikasi yang merupakan komponen transit yang dapat digunakan untuk melakukan distribusi data secara cepat dan luas, dalam hal ini output yang diberikan oleh satelit komunikasi diarahkan kepada stasiun penerima

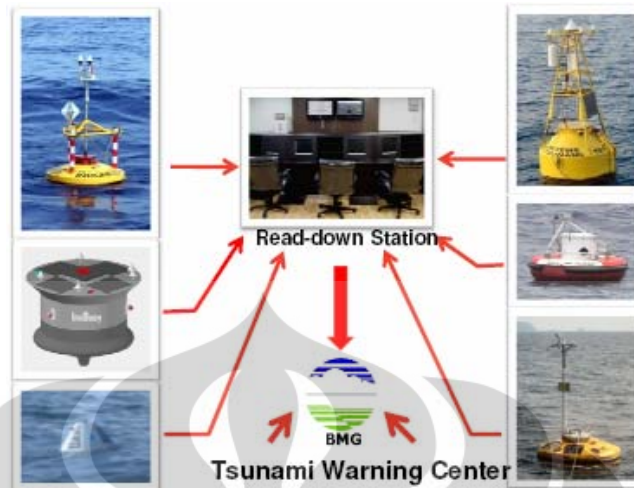
serta control center, karena pada stasiun penerima data dilakukan pengolahan serta analisa deteksi tsunami, selain itu control center berfungsi untuk melakukan monitoring terhadap proses pengiriman yang terjadi untuk memeriksa kesalahan dalam proses pengiriman, serta memiliki peran penuh dalam melakukan kontrol terhadap setiap komponen.

OBU mengirimkan data hasil sensing pengukuran dengan menggunakan sinyal akustik menuju buoy permukaan, data diterima buoy dan kemudian dilakukan pengiriman data kembali oleh buoy menuju satelit komunikasi dengan menggunakan sinyal melalui antenna komunikasi yang dimiliki oleh buoy beserta data posisi dan lokasi pengukuran yang merupakan input dari kemampuan GPS (Global Position System), sehingga selanjutnya data dapat dilakukan distribusi oleh satelit secara luas, namun untuk data mentah dari buoy sistem di set untuk melakukan pengiriman hanya kepada stasiun penerima serta control center untuk melakukan pengolahan dan analisa deteksi terjadinya tsunami, dalam hal ini seismograf digunakan untuk membantu dalam analisa gempa untuk memastikan terjadinya tsunami sebelum data disebarluaskan kepada masyarakat yang bersangkutan.



Gambar 3.5. Sistem pengiriman data pada proyek TEWS Indonesia

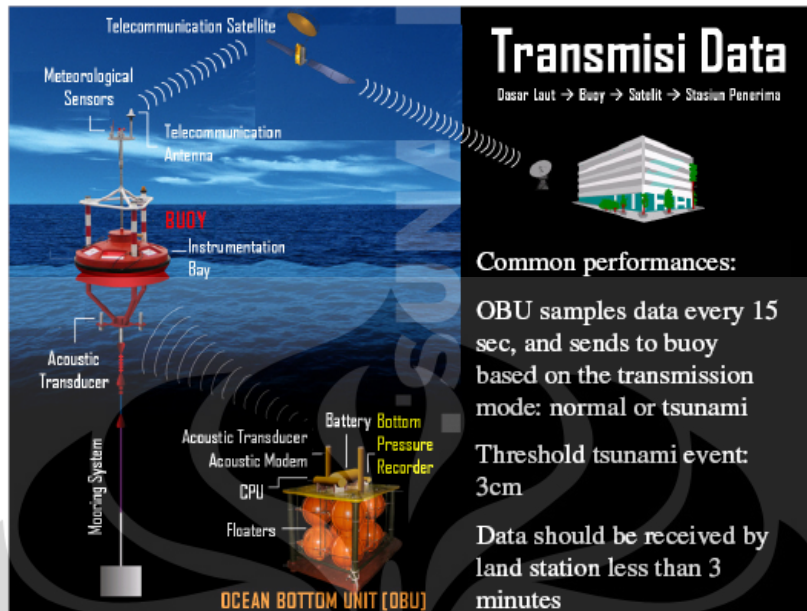




Gambar 3.6. Aliran data ketinggian gelombang laut dari buoy ke stasiun penerima

Maka aliran data yang diterima buoy dari OBU dapat dilihat berdasarkan Gambar 3.6. Dan dapat diketahui bahwa Read Down Station (RDS) merupakan stasiun penerima yang berlokasi pada gedung 1 BPPT lantai 20, pada stasiun penerima dilakukan pengolahan data dan analisa untuk memastikan terjadinya tsunami, yang selanjutnya data hasil olahan tersebut dikirim ke pusat kontrol peringatan tsunami yaitu BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika).[15]

Pada sistem pengiriman data melalui komponen tsunameter yaitu buoy dan OBU, posisi buoy dan OBU dapat dilihat pada Gambar 3.7. OBU melakukan sensing data ketinggian gelombang laut di sekitar lokasi dimana OBU tersebut diletakan dengan menggunakan sensor BPR yang terdapat pada OBU. Keberadaan buoy diletakan pada posisi yang sejajar dengan OBU walaupun buoy di operasikan pada permukaan laut. Buoy menggunakan mooring system yang merupakan sistem penambatan buoy dengan beban untuk menjaga buoy agar tetap pada posisinya. Buoy ditambatkan ke dasar laut dengan beban yang di ikat dengan menggunakan kawat baja dan tali nilon yang berkualitas tinggi. Namun sistem penambatan sering putus akibat perbuatan manusia. Kawat baja tersebut ditarik dan dipotong secara paksa, sehingga buoy tersebut hanyut sia-sia terbawa ombak. Pada tali baja penambat buoy digunakan floater atau beberapa pelampung yang dikaitkan pada tali baja tersebut, pelampung tersebut digunakan untuk menstabilkan tali baja tersebut di dalam air agar tidak mengganggu kinerja buoy, karena tali baja tersebut memiliki massa yang cukup besar.



Gambar 3.7. Sistem operasi Buoy dan OBU dalam sistem pengiriman data ke stasiun penerima

Pengambilan data oleh OBU dilakukan rata-rata setiap 15 menit, kemudian data tersebut disimpan oleh OBU pada sistemnya dan baru dikirimkan setiap 60 menit ke buoy (terdapat 4 data dalam 60 menit) sehingga data yang diterima oleh RDS di BPPT setiap 1 jam untuk mode operasi normalnya. Tabel spesifikasi tsunameter dapat dilihat pada Tabel 3.1.[15]

Tabel 3.1. Spesifikasi tsunameter Indonesia

Karakteristik	Spesifikasi
Optimum deployment depth	2.000 m
Deployment duration	~ 1 year
Maintenance interval, buoy	~ 1 year
Maintenance interval, OBU	~ 1 year
Measurement sensitivity	1mm
Mode Deployment	15 second
Mode Tsunami	15 second
Mode Normal (Tide)	15 minutes
Reporting delay	< 3 minutes

Pada tabel spesifikasi tsunameter tersebut dapat diketahui bahwa komponen tersebut memiliki beberapa macam sampling interval (yaitu interval waktu setiap pengambilan data) sesuai mode operasinya. Pada TEWS digunakan tiga macam mode operasi untuk pengambilan data oleh OBU di dasar laut, diantaranya adalah:

1. Mode Normal : merupakan mode operasi sehari-hari apabila tidak terdeteksi adanya tsunami, sampling interval data diambil setiap 15 menit dan dikirimkan ke RDS oleh buoy melalui satelit setiap 1 jam, pada mode ini biasanya gelombang yang terekam merupakan gelombang tidal (pasang-surut) yang dikarenakan pergantian siang dan malam
2. Mode Tsunami : merupakan mode operasi tsunameter apabila terdeteksi adanya gempa yang berpotensi terjadinya tsunami, pengambilan data dilakukan setiap 15 detik lebih cepat dari mode normalnya sehingga data dapat dianalisa dengan tepat sebelum memberikan peringatan kepada masyarakat luas, waktu peringatan kepada masyarakat adalah sekitar 3 menit setelah sinyal terdeteksi. Data yang disampaikan pada masyarakat luas berupa data ketinggian gelombang serta posisi bujur dan lintang dari sumber gempa.
3. Mode Deployment (Drifting) : merupakan mode operasi yang diaktifkan hanya pada saat melakukan penyebaran buoy di laut (masih dalam masa uji coba). Sampling interval dilakukan setiap 15 detik dan pengiriman data dari OBU ke buoy rata-rata sekitar 1 menit, sistem ini dapat di monitoring oleh operator. Aktivasi mode operasi ini hanya selama masa pengujian tsunameter di laut.

Ketiga mode operasi tersebut difungsikan secara otomatis untuk mengetahui kondisi lapangan, dalam hal ini pengambilan data dengan sampling interval yang berubah-ubah sesuai kondisi lapangan maka perlu dilakukan integrasi terhadap sampling data pada sistem pengolahan data.

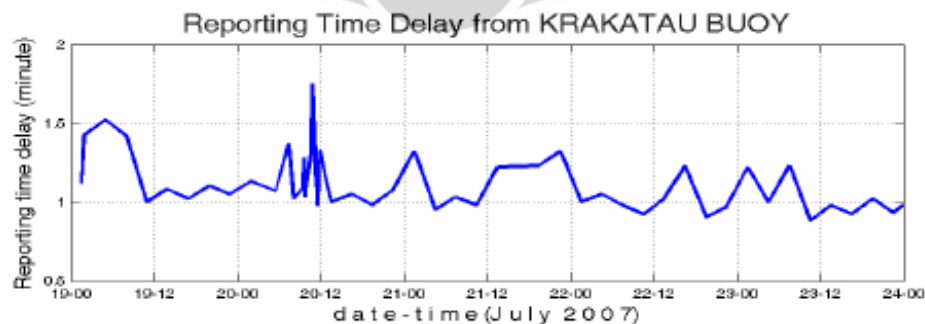
Pada sistem pengiriman data dengan mode tsunami pengambilan data dilakukan setiap 15 detik, dan pengiriman data data dari OBU menuju buoy setelah 1 menit (terdapat 4 data setiap pengiriman) dengan waktu pengiriman

(delay) dari OBU sekitar 1 menit sampai di buoy, kemudian data dikirimkan kembali oleh buoy menuju stasiun penerima RDS-BPPT melalui satelit hanya sekitar 1 menit. Kemudian data hasil deteksi dari RDS dikirim menuju BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika) dengan delay sekitar 1 menit, untuk dilakukan peringatan serta desiminasi data secara luas. Adapun target tahapan waktu pengiriman sebelum melakukan peringatan adalah sebagai berikut:

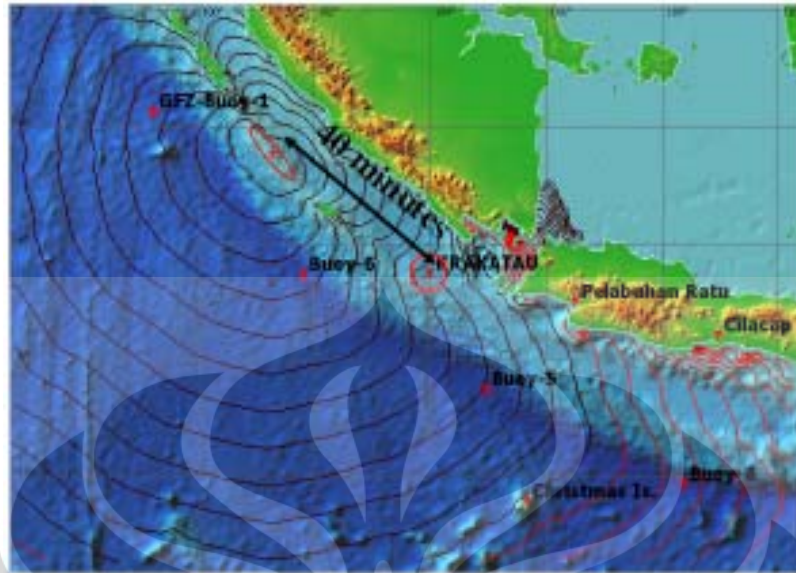
- Sumber gempa → OBU (1 menit)
- OBU → Buoy Surface (1 menit)
- Buoy Surface → RDS (BPPT) (1 menit)
- RDS → BMG (< 1 menit)

Maka hanya dalam waktu kurang dari 4 menit (pada mode tsunami) setelah terjadinya gempa yang berpotensi tsunami maka dapat dilakukan peringatan secepat mungkin untuk segera mengantisipasi masyarakat sekitar agar tidak menjadi korban bencana tsunami. Grafik waktu pengiriman data dari buoy ke stasiun penerima pada bulan juli 2007 dapat dilihat pada gambar 3.8.

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa waktu pengiriman data dari buoy Krakatau menuju RDS di BPPT pada bulan juli 2007 tidak konstan, tetapi bervariasi dengan rata-rata sekitar 1.3 menit, waktu pengiriman tersebut bergantung pada kondisi buoy di laut, semakin baik kondisi buoy (terutama pada antenna telekomunikasinya) maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengiriman data. Waktu pengiriman data merupakan suatu bagian terpenting pada sistem TEWS karena sangat mempengaruhi terhadap seluruh sistem deteksi, apabila waktu pengiriman terlalu lama akan berakibat yang sangat fatal terhadap keselamatan masyarakat sekitar.



Gambar 3.8. Grafik waktu pengiriman data dari buoy ke stasiun penerima.[15]



Gambar 3.9. Gempa di Bengkulu dan travel time pada buoy krakatau

Sebagai contohnya yaitu gempa yang terjadi pada tanggal 12 september 2007 di daerah Bengkulu, tepatnya pada bagian selatan pulau Sumatra dan pada propinsi Sumatra barat Indonesia. Gempa terjadi pada kedalaman 30 km dari permukaan laut dan pusat gempa pada  $4.517^{\circ}$  lintang selatan dan  $101.382^{\circ}$  bujur timur, dan tepatnya terjadi pada waktu origin 11.10 UTC atau 18.10 WIB (Waktu Indonesia bagian Barat). Untuk "UTC + 7 jam" merupakan konversi waktu terhadap WIB. Gempa tersebut terbaca oleh beberapa buoy yang terletak pada posisi tersebut, namun pada skripsi ini membahas pengaruh gempa terhadap Buoy krakatau buatan Indonesia.

Gempa berpotensi tsunami tersebut yang terjadi di Bengkulu diamati berdasarkan data yang di ambil oleh Buoy Krakatau yang terletak pada lokasi  $6.5^{\circ}$  lintang selatan dan  $104^{\circ}$  bujur timur. Berdasarkan Gambar 3.9 yang terlihat bahwa kontur efek dari perambatan gelombang tsunami dapat menyebar dengan radius hingga ratusan kilometer dari pusat gempa, sehingga dapat menyebabkan terjadinya tsunami pada daerah-daerah sekitarnya. Posisi buoy krakatau berada di bagian selatan dari pusat gempa dan jaraknya sekitar 350 km dari pusat terjadinya gempa, namun pengaruhnya sangat besar terhadap pengolahan data serta analisa deteksi tsunami.[15]

Digunakan buoy Krakatau sebagai tolak ukur terjadinya tsunami dengan alasan bahwa buoy tersebut berada pada posisi yang terdekat dengan kepulauan Indonesia khususnya pada selat Sunda yang merupakan perbatasan antara pulau Jawa dengan pulau Sumatra, sehingga dapat diamati ketinggian gelombang yang akan merambat sampai ke pesisir pantai. Dapat dilihat pada gambar bahwa "Travel Time" antara sumber gempa dengan buoy Krakatau adalah 40 menit, Travel Time adalah waktu yang diperlukan gelombang merambat dari sumber gempa hingga sampai ke buoy. Namun dalam hal ini travel time terpenting adalah untuk memperkirakan seberapa waktu yang diperlukan gelombang untuk mencapai ke daratan, oleh karena itu diperlukan suatu sistem peringatan tsunami yang waktu pengiriman datanya sampai dengan melakukan peringatan sangat singkat, sehingga jauh lebih cepat dari travel time dan masyarakat diharapkan mempunyai waktu yang cukup banyak untuk menyelamatkan diri sebelum bencana tsunami datang dan menenggelamkan daerah tersebut.

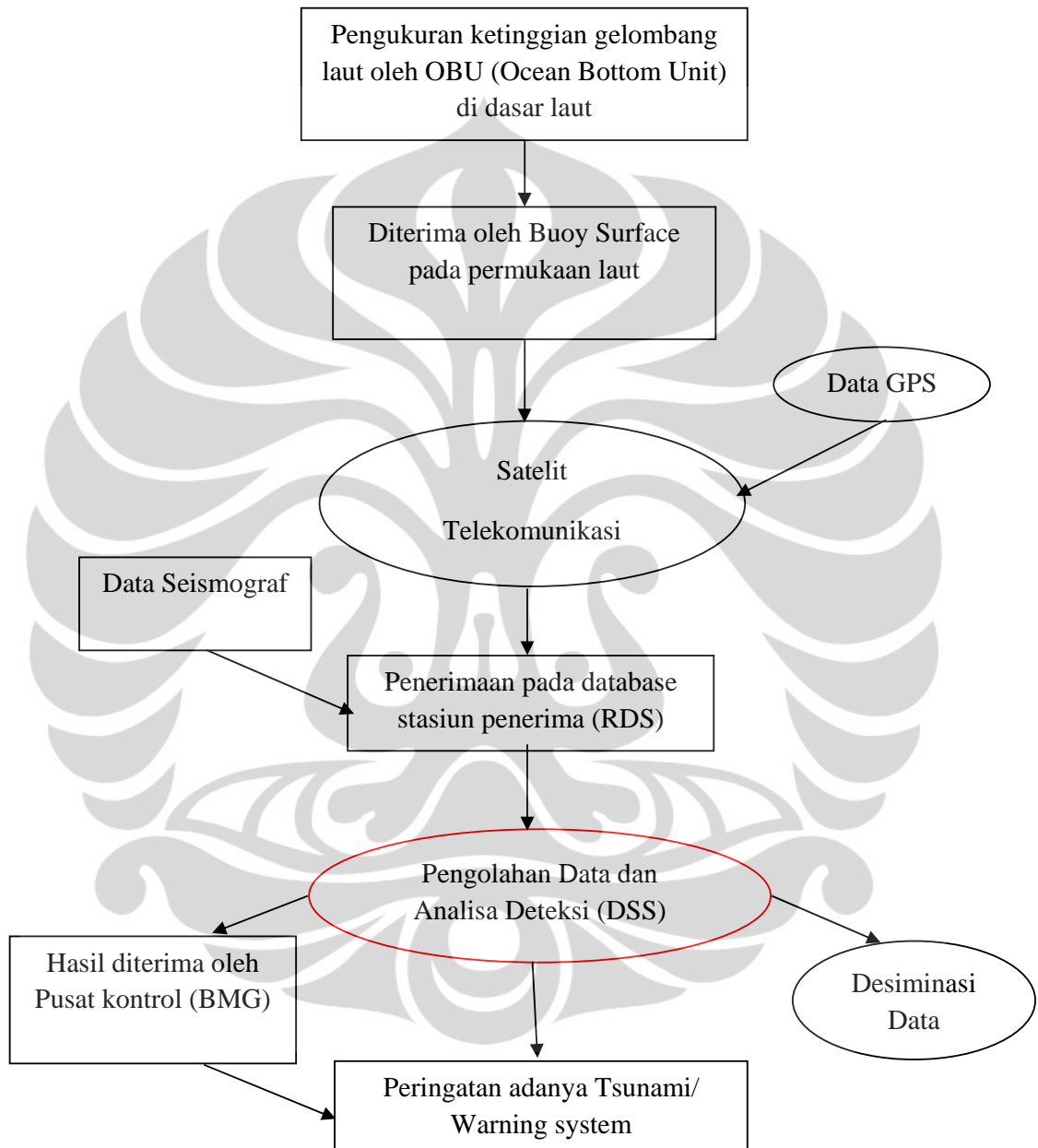
Pengiriman data yang dilakukan buoy melalui satelit menggunakan sistem pengiriman email, data yang telah dikumpulkan pada OBU dikirim setiap 1 jam, untuk pengiriman 4 data yang diambil setiap 15 menit, maka setiap 1 jam satu blok email data dikirimkan ke stasiun penerima. Kelebihan dari sistem pengiriman data dengan email adalah apabila email data tidak dapat diterima oleh stasiun penerima akibat gangguan-gangguan secara teknis atau email hilang di perjalanan (tidak sampai stasiun penerima) maka email akan terus-menerus dikirimkan hingga email tersebut sampai pada tujuannya yaitu stasiun penerima di BPPT (RDS). Kemudian setelah email diterima pada server RDS data ditampilkan secara otomatis dengan database MySQL sebelum dilakukan pengolahan.

Namun untuk sistem pengolahan data hasil pengukuran tersebut masih perlu dilakukan pengembangan, dalam hal ini untuk melakukan analisa serta penarikan keputusan secara DSS (Decision Support System) dengan menggunakan sistem terkomputerisasi untuk menghasilkan observasi data hasil deteksi tsunami.

Pada bagian pengolahan data serta analisa deteksi terjadinya tsunami merupakan bagian terpenting dalam proyek TEWS, karena fungsinya sangat menentukan dalam pengambilan keputusan untuk memberikan peringatan dengan



menyalakan alarm atau melakukan evakuasi secepatnya pada daerah sekitar apabila akan terjadi tsunami. Flowchart untuk sistem pengambilan data hingga peringatan dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10. Blok diagram alur data sistem TEWS

### 3.3 Sistem Pengelolaan Data Buoy

Sistem pengolahan data mentah yang telah diterima oleh BPPT memiliki beberapa fungsi yaitu diantaranya adalah penerimaan data secara *realtime*, web page grafik monitor *data realtime*, *buoy tracking*, sistem alarm, *multi monitor system*, sistem LAN internal, sistem diseminasi data ke BMG, dan aplikasi *desktop real time monitor*. Pada sistem pengelolaan data buoy di stasiun penerima RDS (*Read down Station*) terdapat beberapa fungsi pengelolaan, dalam hal ini fungsi pengelolaan merupakan suatu kinerja yang dilakukan beberapa sistem untuk melakukan analisa terhadap data untuk mendeteksi terjadinya tsunami, sebelum memberikan peringatan kepada masyarakat. Fungsi pengelolaan tersebut yaitu diantaranya sebagai berikut :

- Penerimaan data “real time”
- Penyimpanan Data
- Desiminasi Data
- Pengolahan Data
- Monitoring/ Warning
- Decision Support System

Penerimaan data secara “real time” merupakan suatu sistem yang melakukan penerimaan data dari buoy yang disertakan waktu sebenarnya pada saat melakukan pengambilan data, waktu yang diterima pada sistem, sehingga sistem ini disebut sebagai sistem monitoring data.[19]

Penyimpanan data dilakukan setelah data sampai pada server stasiun penerima, penyimpanan dibuat pada format database MySQL yang selain itu database tersebut juga melakukan back up data yang digunakan sebagai arsip data untuk melakukan pengamatan seketika apabila diperlukan. Dan juga data tersebut merupakan input dari sistem untuk pengolahan data.

Desiminasi data merupakan penyebaran data kepada pihak-pihak yang bersangkutan serta masyarakat luas. Data yang disebarakan kepada masyarakat melalui homepage, sms, atau website internet. Selain disebarakan kepada masyarakat luas secara khusus data dikirimkan pada BMG melalui web service, pada web service BMG data dapat dilakukan sistem pengolahan serta analisa data



untuk melakukan tindak lanjut terhadap data sebelum dilakukan sistem peringatan. Sedangkan data yang ditampilkan atau disebarkan kepada masyarakat hanyalah data yang dapat dibaca dan mudah di mengerti oleh masyarakat, tidak dapat dilakukan tindak lanjut terhadap data tersebut. distribusi data dikhususkan pada masyarakat sekitar yang daerahnya berpotensi terjadi tsunami.

Pengolahan data yang diterima dari buoy dilakukan plotting data prefiltering, dengan metode Wave Plot Graph dengan menampilkan grafik data mentah sebelum dilakukan filtering untuk menganalisa data. Sebelum menampilkan data secara plot grafik, dilakukan sistem validasi terhadap data yang diterima oleh stasiun penerima dengan menggunakan software Perl untuk mengurangi error data yang terkirim.

Format data yang diterima pada stasiun penerima ditampilkan pada format database dalam tujuh kolom yaitu kolom tahun, bulan, tanggal, jam, menit, detik, dan ketinggian seperti pada Gambar 3.11. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa data diambil pada tanggal 8 September 2008, pada jam 02:02:31 WIB mengalami miss data atau data error yang tidak sampai pada stasiun penerima, maka dengan ini digunakan sistem validasi data untuk mengurangi error dari data tersebut.

Lihat data mulai tanggal

2008 September 8

\* Data selama 7 hari

Submit

#Tkn	Bln	Tgl	Jam	Mnt	Detk	Ketinggian
2008	09	08	00	31	00	2438.250
2008	09	08	01	31	00	2438.010
2008	09	08	02	02	31	-
2008	09	08	02	31	01	2437.797
2008	09	08	03	06	59	2437.692
2008	09	08	04	07	01	2437.579
2008	09	08	05	07	02	2437.569
2008	09	08	06	07	02	2437.632
2008	09	08	06	43	01	2437.702

Gambar 3.11. Contoh data error dari proses pengiriman

Selain error data miss (tidak sampai pada stasiun penerima) terdapat error lain seperti data ketinggian yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, data tersebut bukanlah tsunami karena memiliki periode serta panjang gelombang yang kurang dari periode dan panjang gelombang tsunami. Data tersebut hanyalah data error akibat kesalahan sensor ketinggian gelombang (BPR) pada OBU dalam melakukan pengukuran.[6]

Pada sistem monitoring/ warning digunakan sistem visualisasi data pada website internet untuk disebarkan kepada masyarakat atau dengan menggunakan sistem “automatic detection”, yang merupakan sistem pendeteksi otomatis apabila terjadi gelombang tinggi atau tsunami. Misalnya sistem peringatan pada mode normal diantaranya adalah :

Laporan otomatis pada server, contohnya:

- Waktu: yyyy:mm:dd hh:mm UTC
- Posisi “*Tsunameter name*” 24E 16S
- Ketinggian Air: 2059045mm
- Status: normal / tsunami

2. Display data di dalam fitur DSS (Decision Support System) pada BMG Sedangkan pada mode tsunami :

1. Pengiriman SMS atau email secara otomatis kepada masyarakat yang bersangkutan
2. Display data di dalam fitur DSS (Decision Support System) pada BMG



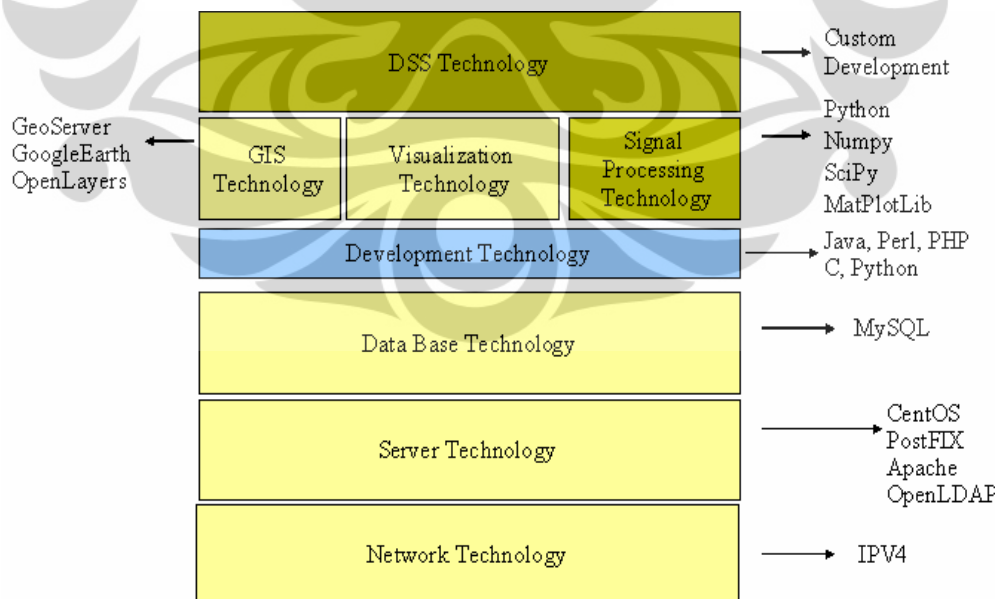
3.12 Sistem multimonitor

Pada stasiun penerima di RDS-BPPT digunakan sistem multimonitor seperti yang terlihat pada Gambar 3.12. Sistem multimonitor merupakan koneksi antara dua monitor yang memuat satu tampilan, sehingga tampilan fitur DSS dapat di display lebih luas.

Decision Support System (DSS) adalah suatu kelas khusus dari sistem informasi yang berbasis komputerisasi dan berfungsi untuk membantu dalam menganalisa data mentah sehingga didapatkan sebuah keputusan, dalam hal ini keputusan untuk menentukan adanya tsunami (pendeteksi tsunami).

Disain fitur tampilan DSS yang direncanakan di dalam sistem ini memiliki tujuh fungsi, yaitu: GIS based view, Graphical Wave Plot, Filter dengan tunable parameter (LPF, HPF), Adaptive Filtering, WindSpeed, WinDir stick plot, dan Control Action. Fungsi tersebut dapat ditampilkan dalam sebuah sistem pemrograman yang berbasis komputasi. Sehingga dapat mempermudah dalam melakukan analisa data mentah yang diterima dari *buoy*, untuk memutuskan bahwa di daerah tersebut terjadi tsunami atau tidak (*Detection*).[19]

Pada fitur DSS digunakan pilihan software yang sesuai dengan fungsi yang akan dibuat untuk menolah data. Adapun bagan atau jenis software yang dapat digunakan pada sistem teknologi terkomputerisasi DSS adalah :



Gambar 3.13. Diagram software teknologi

### 3.4 Sistem Pengolahan Data Untuk Analisa Deteksi Tsunami

Setelah melakukan pengiriman data dari buoy melalui satelit komunikasi menuju stasiun pengiriman data dikirim melalui email dan output yang diterima pada server stasiun penerima ditampilkan berupa database dengan menggunakan software MySQL, data yang diterima tersebut dapat ditampilkan pada database dalam beberapa kolom data, namun data terpenting untuk melakukan analisa sistem deteksi tsunami hanyalah pada kolom data ketinggian gelombang laut dan kolom data waktu pengambilan secara realtime.

Pada tugas akhir ini digunakan metode Digital Signal Processing (DSP) untuk melakukan pengolahan sinyal dari data-data yang telah diterima pada stasiun penerima. Metode digital signal processing merupakan metode pengolahan data secara digital, sehingga input data sinyal yang diolah merupakan sinyal digital, sinyal digital merupakan sinyal konversi dari sinyal analog yang digunakan untuk metode digital dan terdiri dari data high (1) dan low (0) pada metode digital. Namun biasanya sebelum diolah, digunakan suatu sistem yang berfungsi untuk melakukan konversi sinyal dari sinyal analog menjadi sinyal digital yaitu Analog to Digital Converter (ADC), atau dalam hal ini digunakan sistem sampling data (pencuplikan data) dari sinyal analog, pada data tersebut menggunakan periode sampling 15 detik karena pengambilan data secara periodik yang dilakukan setiap 15 detik sekali. Sehingga dapat diketahui bahwa sinyal input dari data ketinggian gelombang laut tersebut merupakan sinyal digital, sehingga mudah digunakan dalam pengolahan data secara digital

Pada skripsi ini lebih menghususkan pada sistem pengolahan sinyal data untuk melakukan analisa serta deteksi tsunami, maka untuk itu perlu dibuat beberapa metode khusus dan membandingkan metode-metode filter sinyal digital tersebut. Karena tujuan utama dari skripsi ini adalah untuk mengusulkan beberapa metode sebagai perbandingan dalam melakukan pengolahan data, adapun metode yang digunakan pada sistem pengolahan data internasional atau negara-negara lain, ada yang pernah menggunakan metode CDM (Cyclic Descent Method) dengan cara melakukan pengukuran beberapa komponen frekuensi gelombang tidal dilaut, untuk membuat sistem prediksi gelombang tidal, sistem prediksi tidal

dibuat dengan menggunakan 22 komponen frekuensi dan dengan melakukan desimasi data terhadap prediksi gelombang tidal tersebut.

Dua metode yang coba diusulkan oleh penulis untuk dibuat pada sistem TEWS Indonesia tersebut yaitu antara lain:

1. Metode Kombinasi Filter Sinyal Digital
2. Metode Filter Tidal Remove Data

kedua metode tersebut menggunakan filter sinyal digital FIR (Finite Impuls Respons) yang digunakan untuk membantu dalam melakukan analisa sistem pendeteksi tsunami. Kedua metode tersebut lebih sederhana dan efisien dari metode CDM, namun perlu analisa lebih lanjut untuk membandingkan kedua metode tersebut.

#### **3.4.1 Pembacaan Data (Input Data)**

Namun sebelum melakukan pengolahan data untuk mendeteksi tsunami. Hal yang perlu dilakukan pada penelitian ini antara lain untuk mengembangkan sistem pengolahan data untuk analisa sistem deteksi tsunami, tahapan penelitian yang dilakukan adalah:

1. Pengembangan aplikasi pembacaan data, yaitu sebagai berikut:

Melakukan koneksi software database dengan pemrograman MySQL yang dibuat sebagai input dari software yang akan digunakan selanjutnya, contoh disain database untuk TEWS dapat dilihat pada Gambar 3.14. Software yang digunakan selanjutnya untuk melakukan pengolahan data serta analisa data gelombang laut tersebut adalah dengan menggunakan software Python. Software python merupakan software dengan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang merupakan software yang bersifat open source dan biasanya software ini digunakan untuk sistem pemrograman yang bersifat melakukan perhitungan numerik, walaupun membutuhkan beberapa modul tambahan untuk melengkapi fungsi dari python tersebut, seperti halnya MATLAB, python dapat melakukan plotting data dengan tampilan grafik. Editor software python dapat dilihat pada Gambar 3.15.

3. Pengembangan aplikasi plotting data pada GUI, sebagai berikut:

Pada disain tampilan awal dilakukan plotting data mentah secara cepat dari input database berdasarkan kolom ketinggian yang diplot terhadap waktu realtime, data realtime tersebut merupakan perhitungan secara UTC. Data yang diplot pada disain tampilan software python tersebut terbagi atas empat grafik untuk melakukan plot dengan cepat secara bersamaan, sehingga setiap empat daerah berbeda dapat diplot langsung pada satu tampilan GUI (Graphical User Interface), maka dapat dilakukan empat sistem pengolahan data dalam satu kali running program, jelas dengan cara ini sistem dapat bekerja lebih cepat serta efisien, contohnya untuk 24 input data dari masing-masing buoy maka hanya perlu melakukan 6 kali running program untuk melakukan analisa data dan untuk melakukan deteksi. Data yang diplot pada grafik tampilan GUI tersebut merupakan data selama satu minggu dan akan bersifat otomatis update dari input database terbaru.

**Indonesia - Tsunami Early Warning System (TEWS)**

[Home Buoy Komodo](#) Buoy Komodo  
[Buoy Krakatau Buoy](#)  
[Dart ETD Buoy Dart](#) Lihat data mulai tanggal  
 II 2008 September 8

\* Data selama 7 hari

#Thn	Bln	Tgl	Jam	Mnt	Dtk	Ketinggian
2008	09	08	00	31	00	2438.250
2008	09	08	01	31	00	2438.010
2008	09	08	02	02	31	.
2008	09	08	02	31	01	2437.797
2008	09	08	03	06	59	2437.692
2008	09	08	04	07	01	2437.579
2008	09	08	05	07	02	2437.569
2008	09	08	06	07	02	2437.632
2008	09	08	06	43	01	2437.702

Gambar 3.14. Database MySQL sistem TEWS. [6]



The image shows two overlapping windows. The top window is a 'Python Shell' with a menu bar (File, Edit, Shell, Debug, Options, Windows, Help) and text indicating it is Python 2.5.2. Below this is a warning message about a firewall connection. The bottom window is an IDE titled 'fl.py - C:\Documents and Settings\User\Desktop\Tugas Akhir Wahyu...' with a menu bar (File, Edit, Format, Run, Options, Windows, Help). It shows a Python script with the following code:

```

>>> -----
>>>
>>>
from __future__ import division
from numpy import *
from scipy import *

def lanc(numwt, haf):
    summ=0.0
    numwt=numwt+1
    wt=zeros((numwt,1))
    for i in range(1,numwt):
        wt[i]=i*0
    rcp=1/numwt
    haf2=haf+haf
    for i in range(1,numwt):
        wt[i]=.5*(1+cos(pi*(i-1)*rcp))

```

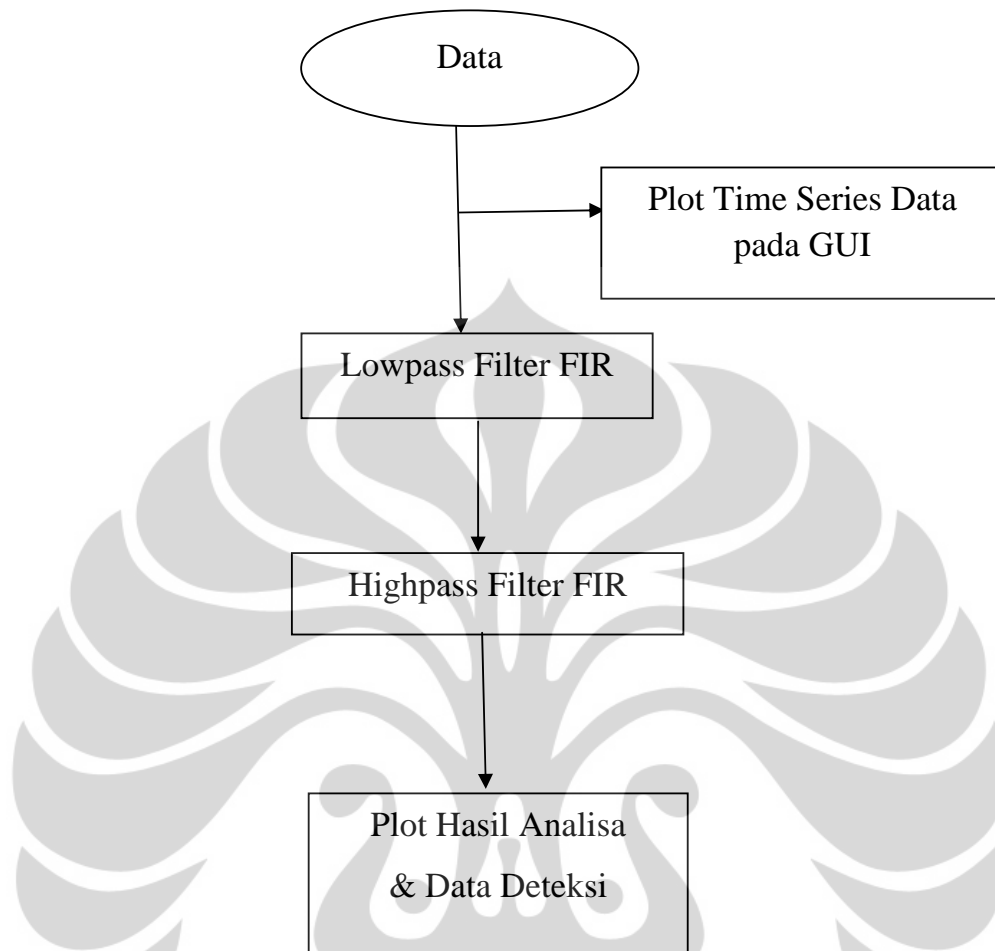
Gambar 3.15. Contoh editor dari software python. [7]

### 3.4.2 Metode Kombinasi Filter Sinyal Digital

Pada metode kombinasi filter sinyal digital ini menggunakan dua kombinasi filter yaitu:

#### 1. Lowpass Filter FIR (Finite Impuls Respons)

Langkah awal adalah dengan melakukan Filtering data dengan menggunakan lowpass filter FIR yang merupakan filtering awal, yang berfungsi untuk menghaluskan sinyal dari data tersebut. Metode tersebut merupakan metode “Smoothing Filter” atau metode penghalusan sinyal, dalam hal ini gelombang tsunami yang terjadi tidak akan hilang karena proses filter tersebut, namun fungsi filter ini hanya untuk mengurangi noise, yaitu untuk memotong frekuensi tinggi pada sinyal gelombang laut untuk mendapatkan sinyal dengan frekuensi rendah.



Gambar 3.16 Flow chart data dengan metode kombinasi filter sinyal digital

## 2. Highpass Filter FIR (Finite Impuls Respons)

Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan filtering sinyal hasil lowpass filter sebelumnya dengan menggunakan highpass filter FIR, merupakan filter yang memotong sinyal dengan frekuensi rendah, sehingga sinyal yang dihasilkan merupakan sinyal dengan frekuensi tinggi. Analisa tersebut dilakukan setelah melakukan filtering data dengan menggunakan lowpass filter (metode smoothing filter), pada sistem kedua filter tersebut memiliki parameter yang dapat diubah-ubah sesuai keperluan untuk analisa.



#### 4. Analisa Hasil Deteksi

Hasil sinyal yang keluar dari filter highpass merupakan sinyal hasil yang telah terdeteksi gelombang tsunami, yaitu tepatnya sinyal pada frekuensi pertengahan antara frekuensi cutoff lowpass dan highpass filter.

Setelah melakukan kombinasi filter tersebut data gelombang tsunami dapat terlihat, sehingga metode ini dapat digunakan untuk sistem pendeteksi tsunami. Sistem flowchart dari metode kombinasi filter sinyal digital ini dapat dilihat pada Gambar 3.16

#### 3.4.3 Metode Filter Tidal Remove Data

Pada metode yang kedua yaitu metode “Tidal Remove Data” digunakan juga sistem filter sinyal digital, namun perbedaannya adalah metode ini menggunakan suatu metode yang digunakan untuk menghilangkan sinyal tidal, yaitu dengan melakukan desimasi data untuk menghasilkan sinyal residual tanpa tidal (detide) agar dapat mempermudah dalam melakukan analisa serta pendeteksian sinyal tsunami, adapun tahapan-tahapan serta metode-metode filter yang digunakan pada metode Tidal Remove Data dapat dijelaskan sebagai berikut:

##### 1. Lowpass Filter FIR (Finite Impuls Respons)

Digunakan lowpass filter untuk menghaluskan sinyal atau mengurangi noise dari sinyal mentah, dengan menggunakan lowpass filter frekuensi sinyal dibatasi oleh frekuensi cutoff dalam hal ini frekuensi tinggi tereliminasi, sehingga frekuensi sinyal hasil dari filter ini merupakan sinyal dengan frekuensi rendah, dalam tahap ini jenis filter lowpass yang digunakan, serta fungsinya sama dengan filter lowpass pada metode kombinasi filter sinyal digital.

##### 2. Metode Pembuatan Sinyal Tidal

Selain melakukan filtering data dengan menggunakan lowpass filter awal untuk mengurangi noise selanjutnya digunakan juga suatu filter yang digunakan untuk melakukan analisa pembuatan sinyal tidal pada metode

Tidal Remove Data, karena pada metode ini diperlukan suatu metode untuk menghilangkan sinyal tidal untuk membantu dalam mempermudah analisa data tersebut. Sinyal tidal merupakan suatu sinyal periodik yang menunjukkan pasang-surut gelombang laut setiap waktunya. Metode detide atau Tidal Remove merupakan metode yang fungsi utamanya adalah melakukan penghilangan sinyal tidal (pasang-surut) pada sistem untuk deteksi tsunami. Adapun metode filter yang digunakan pada detide signal processing adalah membuat filter data dengan metode lowpass filter yang memiliki orde yang sangat tinggi karena digunakan untuk memfilter data mentah untuk menghilangkan sinyal tsunami dan untuk menghasilkan sinyal periodik tidal murni (yang telah halus) hingga menghilangkan seluruh pengaruh dari sinyal tsunami. Jadi sinyal yang dihasilkan filter ini hanya berupa sinyal tidal asli pada saat terjadinya gempa atau tsunami.

#### 5. Metode Desimasi Data

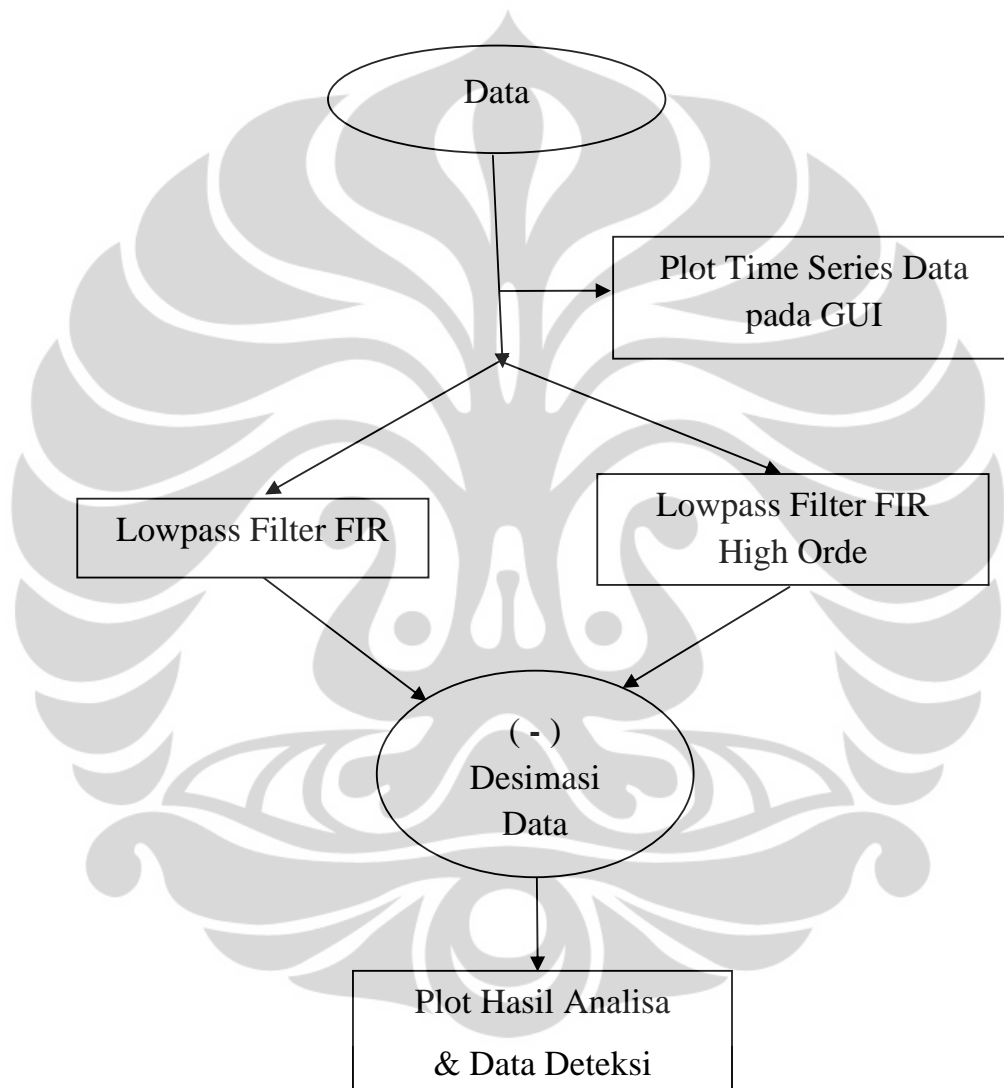
Pada metode berikutnya adalah metode yang dilakukan untuk menghilangkan pengaruh sinyal tidal yaitu dengan melakukan desimasi data atau pengurangan sinyal antara sinyal hasil filter lowpass pertama (filtering awal dengan menggunakan lowpass filter orde rendah) yang hasilnya masih dipengaruhi oleh sinyal ripple tsunami, dikurangi dengan hasil filter lowpass yang kedua yang telah merupakan sinyal tidal murni yang menjadi halus tanpa pengaruh ripple tsunami (berupa gelombang tidal), sehingga dapat dilakukan eliminasi tidal.

#### 6. Analisa Hasil Deteksi

Hasil deteksi dengan menggunakan metode ini tidak jauh berbeda dengan hasil deteksi dengan metode sebelumnya yaitu metode kombinasi filter sinyal digital, namun terdapat beberapa perbedaan yang terjadi pada hasil deteksi sinyal, yang lebih lanjut akan dijelaskan pada bab 4 pembahasan.

Pada pembahasan dan analisa hasil penelitian yang telah dilakukan. Sebenarnya masih banyak dalam tahap pengembangan yang masih harus terus dilakukan untuk penyempurnaan proyek ini, pada sistem pendeteksi sinyal

tsunami ini merupakan bagian dari proyek *Read Down Station - Tsunami Early Warning System* yang sedang dikembangkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) untuk mendeteksi lebih awal bencana tsunami. Adapun flowchart tahapan penelitian pengolahan data untuk metode Tidal Remove Data dapat dilihat pada Gambar 3.17



Gambar 3.17 Flow chart metode tidal remove data

### 3.4.4 Disain Tampilan Data Pada GUI

Selain menampilkan hasil tampilan grafik sinyal data secara keseluruhan pada metode filter-filter sinyal digital sebelumnya, diperlukan sistem untuk menghasilkan gambar tampilan GUI yang jelas sehingga mudah untuk melakukan analisa, adapun beberapa tahapan yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas dari tampilan GUI adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pembesaran tampilan grafik (zoom) atau melakukan plotting grafik dengan skala kecil untuk mempermudah melakukan analisa serta pembacaan sinyal riak tsunami. Sehingga metode tersebut dapat digunakan untuk melakukan analisa dan deteksi secara cepat kemungkinan terjadinya tsunami di suatu daerah.
2. Menampilkan serta menyimpan disain grafik hasil pengolahan sinyal-sinyal tersebut dalam bentuk PNG atau JPEG (Bentuk foto gambar), sehingga data-data dalam bentuk grafik tersebut dapat di simpan lebih lama sebagai arsip data sesuai dengan waktu pengambilan data. Sehingga arsip tersebut dapat dimanfaatkan seterusnya untuk membantu dalam melakukan analisa data.

## **BAB. IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisa Perangkat Software**

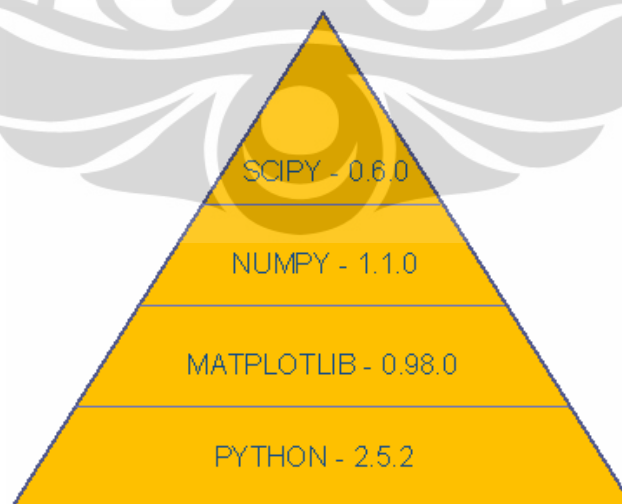
Software yang digunakan pada tugas akhir ini adalah software pemrograman Python yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dapat digunakan untuk signal processing technology seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 3.13. Software python dapat digunakan pada aplikasi server linux maupun windows, selain itu python bersifat open source sehingga sumber dapat ditambahkan langsung pada software tersebut, source code tambahan yang digunakan pada pengolahan data ini misalnya adalah Matplotlib, NumPy, serta Scipy. Ketiga source code tersebut merupakan modul tambahan yang digunakan untuk melengkapi fungsi-fungsi dari python. Selain itu python juga dapat lebih mudah dikoneksikan dengan database untuk input pengolahan data sistem.

Matplotlib adalah source code tambahan python yang berfungsi penting untuk membuat desain tampilan GUI (Graphical User Interface), fungsi utama matplotlib pada sistem ini adalah untuk menampilkan grafik hasil plot data dari database yang diterima dari buoy. Data yang diplot secara kontinu tersebut menghasilkan bentuk sinyal yang bersifat periodik. Sehingga dapat dilakukan pengolahan dengan menggunakan metode Digital Signal Processing (DSP). Pengolahan data tersebut dilakukan dengan menggunakan fungsi-fungsi tambahan yang terdapat pada modul NumPy (Numerical Python) dan SciPy (Scientific Python), kedua modul tersebut merupakan modul numerik yang digunakan untuk melakukan perhitungan numerik yang kompleks misalnya untuk aplikasi pembuatan filter sinyal digital. Adapun piramida fungsi software yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan peran serta fungsinya terhadap metode pengolahan yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari gambar tersebut diketahui bahwa seri/ edisi matplotlib, numpy, serta scipy yang digunakan pada server windows maupun linux diharapkan compatible terhadap software python yang digunakan, dalam hal ini edisi source code matplotlib-0.98.0, numpy-1.1.0, dan scipy-0.6.0 sesuai dengan python edisi 2.5.2, namun dalam hal ini installer software yang

digunakan untuk server windows berbeda dengan linux, misalnya untuk server windows digunakan file .exe sedangkan untuk server linux installer program dipilih file .tgz, dan untuk menginstall software tersebut pada server linux lebih sulit karena harus melalui terminal linux serta menggunakan fungsi-fungsi pada terminal tersebut.[2]

Berdasarkan urutan piramida fungsi software tersebut dapat diketahui bahwa python merupakan software inti dari sistem ini dan editor python digunakan untuk membuat sistem pengolahan data ini. Fungsi matplotlib juga berperan penting pada sistem ini, khususnya untuk menghasilkan tampilan grafik plot data pada GUI python dan digunakan sebagai plot tanggal serta waktu real time terhadap ketinggian gelombang laut. Sedangkan fungsi numpy berperan penting untuk melakukan perhitungan numerik data seperti perhitungan data secara matriks pada kolom data ketinggian, serta ditambahkan dengan fungsi scipy yang dapat digunakan sebagai modul disain filter digital untuk mempermudah dalam melakukan pengolahan data, yang kemudian sinyal ditampilkan pada GUI python.

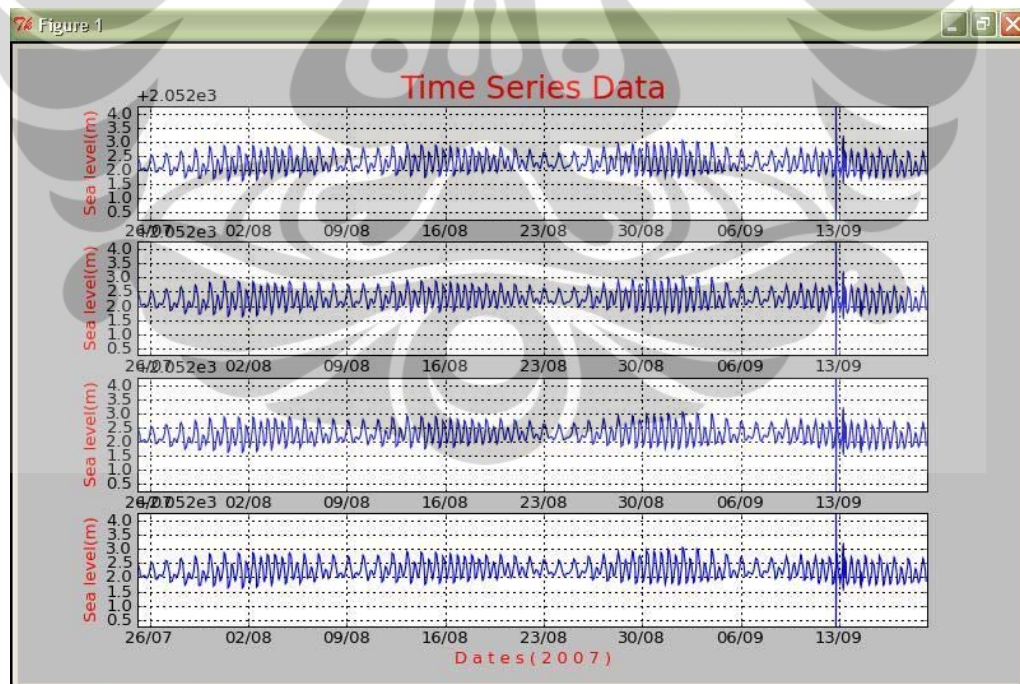
Namun dalam hal ini penelitian di coba dengan menggunakan server windows. Dari piramida tersebut tergambar bahwa fungsi yang digunakan keseluruhan adalah fungsi pada Python , yang selanjutnya digunakan fungsi tambahan dari Matplotlib, dan selanjutnya NumPy serta terakhir SciPy yang fungsinya hanya pengembangan dari NumPy.



Gambar 4.1. Piramida fungsi software

## 4.2 Analisa Disain Time Series Data

Setelah dilakukan validasi data sebelumnya untuk mengurangi error data, maka selanjutnya data di display melalui plotting pada tampilan GUI (Graphical User Interface), data yang diplot berdasarkan ketinggian gelombang laut terhadap waktu real time, waktu yang diterima dari buoy merupakan waktu dalam format UTC yang berlaku untuk internasional, namun sebelum dilakukan plot data pada GUI, dilakukan konversi terhadap waktu dengan format WIB dengan cara menambahkan 7 jam dari data UTC. contoh data yang digunakan untuk acuan pembuatan sistem pada eksperimen ini adalah data gempa yang terjadi di Bengkulu tepatnya pada kepulauan Sumatra bagian selatan yang terjadi tsunami pada 12 September 2007 yang lalu, waktu yang di plot pada sumbu x pada gambar 4.2 merupakan format WIB, kedalaman gempa yang terjadi sekitar 30 km dari permukaan laut dan pada posisi  $4.517^{\circ}$  lintang selatan dan  $101.382^{\circ}$  lintang timur. Data di terima dari buoy Krakatau yang berada pada pada posisi  $6.5^{\circ}$  lintang selatan dan  $104^{\circ}$  lintang timur. Tampilan Time Series Data pada disain metode Graphical Wave Plot dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2. Plot data dari empat sumber lokasi

Data diplot dari 4 sumber data lokasi buoy berbeda namun sebagai contoh pada tampilan Gambar 4.2, data yang digunakan hanya data dari buoy Krakatau yang diambil dari tanggal 26 Juli sampai dengan 20 September 2007. Data yang diplot dalam hal ini berkisar sekitar dua bulan, sehingga plot sinyal yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 begitu rapat sehingga lebih sulit untuk melakukan analisa, namun pada pelaksanaan sistem time series data ini grafik diplot dengan data selama 7 hari, sehingga sinyal yang terlihat tidak terlalu rapat. Sistem database yang menerima data dari buoy selalu update, sehingga sistem pemrograman untuk analisa deteksi tsunami ini di jalankan dengan sistem automatic update, yaitu sistem melakukan plot data secara otomatis apabila terdapat data terbaru (data update), yang diplot pada GUI dengan menampilkan gambar pada format .PNG (format gambar) dengan menggunakan perintah pemrograman `savefig ('namafile.png')`, yang digunakan untuk menyimpan langsung tampilan gambar pada directory yang sama dengan file sistem ditempatkan. Digunakan empat subplot gambar untuk empat sumber lokasi buoy yang berbeda, skala ketinggian gelombang laut (sumbu y) pada keempat lokasi buoy tersebut diambil pada waktu yang bersamaan secara real time (sumbu x).

Dari tampilan awal pada plotting data mentah dengan tampilan data secara time series terlihat bahwa gelombang tidal (pasang-surut) yang banyak terjadi pada kondisi normal, namun beberapa saat telah dapat terlihat sinyal anomali yang terjadi pada bagian akhir data, yaitu tepatnya sekitar tanggal 12 September 2007 yang merupakan gempa yang terjadi, namun perlu dilakukan analisa sebelumnya untuk memastikan dan mengetahui apakah anomali tersebut merupakan anomali akibat gempa di dasar laut atau kemungkinan disebabkan faktor lain, yang dapat memungkinkan berpotensi untuk menghasilkan bencana tsunami.

Pada desain tampilan grafik GUI tersebut digunakan axis sumbu x merupakan format tanggal dan bulan seperti "dd/mm" dan tahunnya di lihat pada bagian bawah yaitu keterangan sumbu x. Format tanggal yang ditampilkan pada grafik dapat diubah sesuai dengan keperluan dengan mengubah formatter dates pada pylab dari modul matplotlib. Sedangkan pada axis sumbu y merupakan ketinggian gelombang dalam satuan meter, dalam hal ini dengan range 2052–2056 meter dengan gelombang tidal (pasang-surut) rata-rata sekitar 2054 meter.

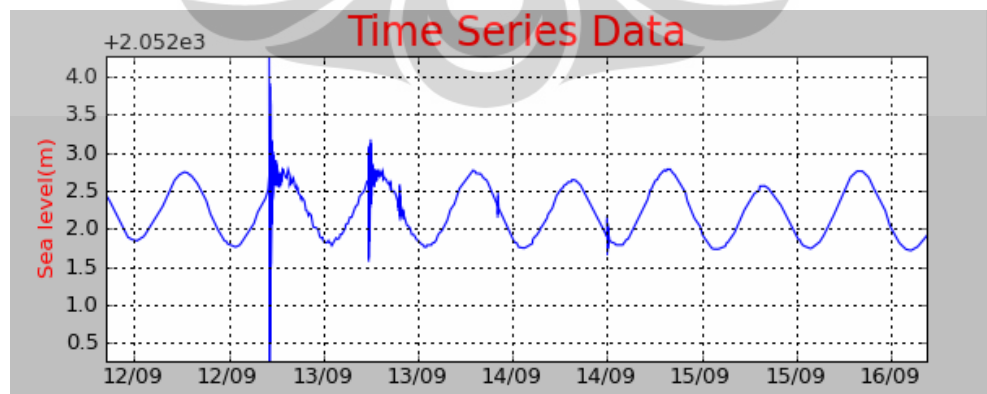


### 4.3 Analisa Implementasi Parameter Filter

Selanjutnya setelah melakukan plot data mentah dari buoy pada time series data sebelumnya, maka perlu dilakukan pengkajian lebih dalam mengenai anomali data yang terjadi pada bagian akhir data yang diterima dari buoy Krakatau, anomali data tersebut dapat dilihat secara jelas pada Gambar 4.3.

Sinyal tersebut memiliki perbedaan dengan sinyal tidal (pasang-surut) dari gelombang laut biasanya karena besar amplitudonya lebih dari range 2052 – 2056. Sehingga anomali tersebut perlu dilakukan peninjauan lebih lanjut untuk mengetahui kepastian terjadinya gempa atau tsunami.

Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa ripple sinyal yang terjadi pada tanggal 12 September 2007 sangat besar dengan double amplitudo yang melebihi 4 meter, dari pengamatan biasa terlihat 3 kali amplitudo besar yang terjadi yaitu pada tanggal 12 dan 13, namun perlu dipastikan keberadaan sinyal tsunami yang terjadi sehingga perlu dilakukan langkah lebih lanjut untuk membantu melakukan analisa yaitu dalam hal ini menggunakan processing sinyal menggunakan software yang mempergunakan metode filter sinyal digital. Maka untuk mempelajari dan menganalisa hasil gelombang laut tersebut maka diperlukan suatu sistem alat (software) untuk mempermudah melakukan analisa sinyal, misalnya dalam hal ini adalah filter sinyal digital. Namun untuk membuat suatu filter sinyal perlu diketahui karakteristik gelombang serta jenis-jenis gelombang laut yang dibangkitkan oleh faktor alam atau faktor-faktor lainnya, ataupun sinyal gelombang laut yang merupakan gelombang tsunami, faktor-faktor pembangkit gelombang tersebut perlu diketahui untuk membedakan sinyal gelombang laut



Adapun beberapa sumber yang dapat diklasifikasikan sebagai komponen-komponen pembangkit gelombang laut antara lain:

- Wind Waves (Gelombang Angin)
- Swell (Gelombang Besar/ Ombak)
- Long Wave/ Storm (Gelombang Panjang/ Badai)
- Tidal Wave (Gelombang Pasang-Surut)
- Tsunami Wave (Gelombang Tsunami)

Berdasarkan gelombang diatas kategori gelombang wind waves, swell, dan long wave/ storm merupakan gelombang laut yang disebabkan oleh gaya yang dibangkitkan oleh gaya angin, sehingga besar, kecepatan dan arahnya masih wajar atau masih tergolong gelombang laut biasanya.

Sedangkan gelombang tsunami merupakan gelombang yang sebagian besar disebabkan oleh gempa yang berada di dasar laut, atau bencana-bencana alam lainnya, adapun berdasarkan persentasi survei sumber-sumber penyebab terjadinya tsunami dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Persentase sumber pembangkit tsunami

<b>Source</b>	<b>%</b>
Earthquake	72
Volcanoes	10
Landslide	10
Tsunami-like weather system, meteorological	2
Meteorite impacts & others unknown	11

Berdasarkan tabel survei tersebut 72% gelombang tsunami terjadi akibat gempa bumi yang terjadi di dasar laut. Dan sisanya disebabkan oleh bencana alam lainnya.[15]

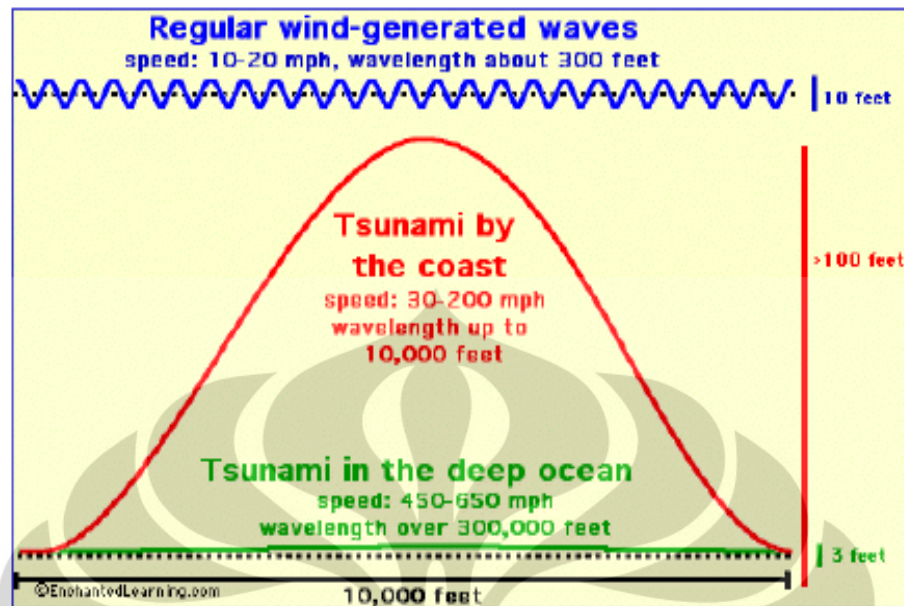
Perbedaan spesifikasi komponen gelombang laut antara yang gelombang dibangkitkan oleh angin dengan gelombang yang disebabkan oleh gempa didasar laut, yaitu antara lain :

1. Gelombang laut yang dibangkitkan karena gaya angin

- Memiliki periode antara 1 – 30 detik
- Memiliki panjang gelombang antara 50 – 500 m
- Memiliki panjang gelombang yang jauh lebih kecil dibandingkan kedalaman laut (kecuali ketika mendekati garis pantai)
- Memiliki kecepatan group:  $C_g = f(T) \rightarrow 5 - 100 \text{ Km/ jam}$
- Periode yang lebih panjang disebabkan oleh gaya angin yang lebih cepat
- Bergerak mendatar keseluruh bagian lautan
- Gelombang tersebut termasuk swell dan storm

2. Gelombang laut yang dibangkitkan karena gempa bumi di dasar laut

- Memiliki periode antara 6 – 60 menit
- Panjang gelombang yang dimiliki sangat besar hingga ratusan kilometer
- Memiliki panjang gelombang  $\gg$  kedalaman laut
- Memiliki energi disipasi yang kecil
- Memiliki kecepatan group:  $C_g = (g \times h)^{0.5}$  antara 30-1000 Km/jam
  - $C = 36 \text{ Km/ jam}$  @  $h = 10 \text{ m}$
  - $C = 360 \text{ Km/ jam}$  @  $h = 1000 \text{ m}$
  - $C = 805 \text{ Km/ jam}$  @  $h = 5000 \text{ m}$
- Tidak seluruhnya merupakan gelombang sinusoidal, karena mengandung banyak frekuensi
- Gelombang tsunami dapat bergerak keseluruh bagian lautan.



Gambar 4.4. Perbedaan panjang gelombang serta amplitudo gelombang

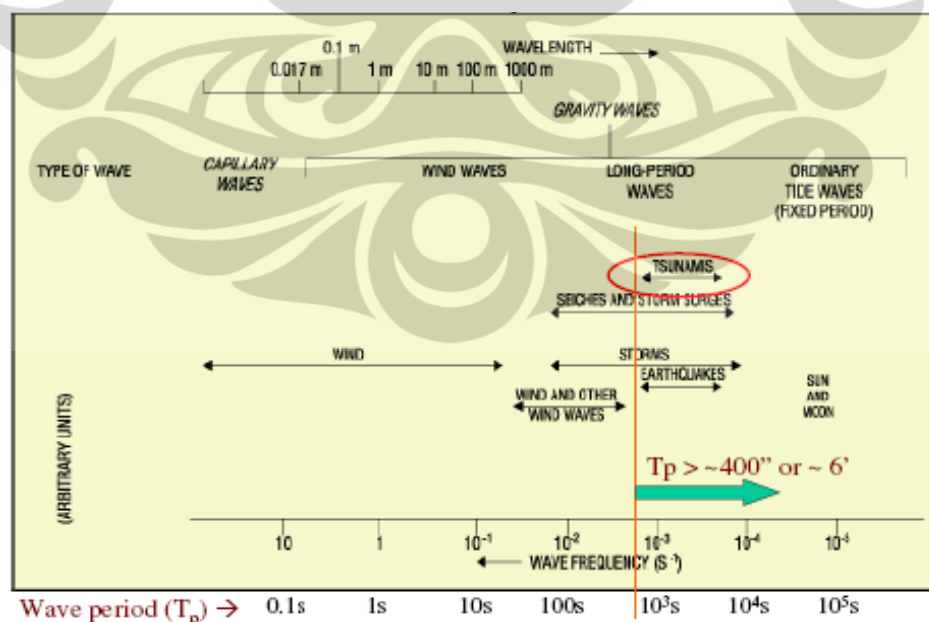
Sedangkan karakteristik gelombang tidal adalah gelombang pasang-surut yang memiliki 1 atau 2 siklus gelombang per hari, gelombang pasang-surut ini disebabkan oleh gaya memugar (sentrifugal) dari gravitasi bumi, yang selanjutnya merupakan fungsi gaya gravitasi dari matahari dan bulan, hal ini telah dijelaskan pada teori pasang-surut pada bab 2, periode gelombang tidal antara lain: 6, 12, atau 24 jam dan dapat lebih panjang. Sedangkan panjang gelombang tidal jauh lebih besar dari kedalaman lautnya, dan selain itu gelombang pasang-surut merupakan gelombang yang predictable (dapat diprediksi) karena merupakan gelombang yang periodik.

Berdasarkan Gambar 4.4. Gelombang tsunami pada laut dalam memiliki amplitudo ketinggian yang sangat kecil jika dibandingkan dengan kedalamannya (biasanya memiliki amplitudo lebih kecil dari 1 meter) namun memiliki panjang gelombang yang besar dan kecepatan yang tinggi, sedangkan gelombang tsunami yang terjadi setelah merambat ke laut dangkal (daerah pesisir pantai) memiliki amplitudo yang sangat besar dengan mencapai ketinggian hingga beberapa meter dari permukaan laut, namun memiliki panjang gelombang dan kecepatan yang lebih rendah jika dibandingkan pada laut dalam, karena energi gelombang tsunami bersifat konstant yang merupakan fungsi dari amplitudo dan kecepatannya. maka

untuk itu perlu dilakukan metode-metode khusus untuk melakukan deteksi dini gelombang tsunami yang terjadi pada laut dalam.

Berdasarkan spesifikasi karakteristik komponen-komponen gelombang laut, maka dapat digambarkan suatu sistem spektrum gelombang sesuai dengan spesifikasi dari gelombang-gelombang tersebut. seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.5.

Terlihat bahwa periode gelombang ( $T$ ) tsunami berada pada posisi  $> 400$  detik atau sekitar 6 menit atau tepatnya adalah pada range 6 – 60 menit, maka perlu dibuat filter data dengan periode cutoff sekitar 6 menit untuk mendapatkan gelombang tsunami, filter yang digunakan adalah Lowpass filter FIR (Finite Impuls Response) dengan periode cutoff sebesar 6 menit, digunakan lowpass filter karena kita akan memfilter sinyal yang memiliki periode dibawah periode cutoff (mengeliminasi frekuensi tinggi) untuk mendapatkan sinyal tsunami yang sesungguhnya. Karena pada gelombang yang memiliki periode dibawah 6 menit hanya merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh gaya angin seperti wind waves, swell, dll. Sehingga dapat dikatakan pada frekuensi tinggi banyak mengandung noise atau sinyal yang tidak diperlukan dalam sistem untuk mendeteksi gelombang tsunami pada kedalaman laut hingga puluhan kilometer.

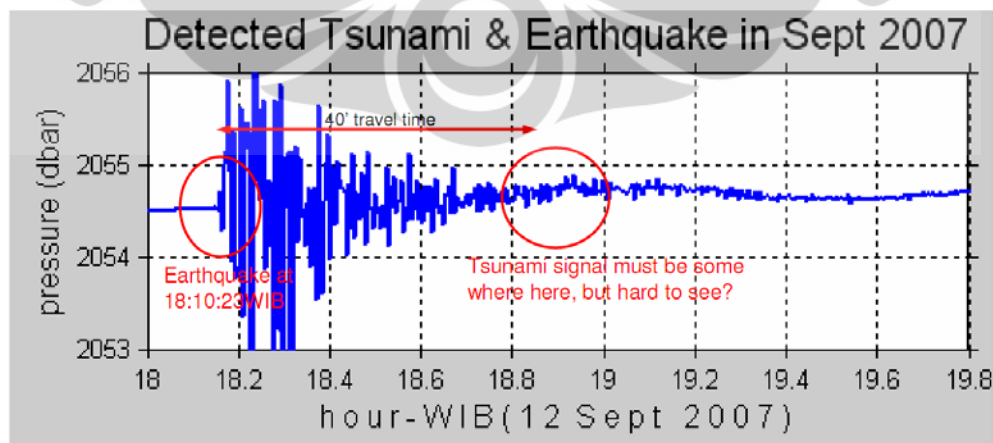


Gambar 4.5. Analisa karakteristik spektrum gelombang laut

Karena data yang digunakan merupakan data gempa dan tsunami yang terjadi dibengkulu dapat dilihat dengan jelas sinyal gelombang pada awal terjadinya gempa yaitu tepatnya pada tanggal 12 September 2007, tampilan data sebelum dilakukan filter data atau analisa seperti terlihat pada Gambar 4.6 yang merupakan hasil pembesaran dari Gambar 4.3

Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat bahwa waktu awal terjadinya gempa bumi yaitu sekitar pukul 18:10:22 WIB sedangkan waktu terjadinya tsunami yaitu mengalami travel time atau selang waktu sekitar 40 menit, maka tsunami terjadi sekitar pukul 18:50:22 WIB, gelombang tsunami yang diterima buoy memiliki travel time karena sumber gempa memiliki jarak sekitar 350 km dari buoy Krakatau, seperti terlihat pada Gambar 3.9.

Namun dalam hal ini sulit untuk menentukan amplitudo tsunami yang terjadi, karena noise gempa yang begitu besar, sehingga sulit menemukan sinyal tsunami yang sebenarnya untuk menguatkan dugaan dan memastikan bahwa pada daerah tersebut telah terjadi tsunami sebelum dilakukan peringatan serta membunyikan alarm tsunami. Maka diperlukan suatu metode analisa, dalam hal ini dicoba dengan menggunakan filter sinyal digital khususnya lowpass filter yang menggunakan metode FIR (Finite Impuls Respons) untuk menghilangkan frekuensi tinggi atau noise dari sinyal ketinggian gelombang laut, dalam hal ini noise merupakan sinyal-sinyal dengan frekuensi tinggi selain sinyal tsunami seperti gelombang yang dibangkitkan oleh angin dsb. Hal tersebut dilakukan untuk mempermudah dalam menemukan sinyal tsunami.



Gambar 4.6. Deteksi gempa dan tsunami awal

Pada disain metode "Time Series Data" yang merupakan disain tampilan GUI sinyal yang difilter dengan menggunakan filter software dari software pemrograman python, pada disain tampilan awal adalah sinyal mentah sebelum dilakukan filter, dan kemudian pada langkah berikutnya adalah melakukan analisa sinyal dengan filter dalam hal ini dicoba dengan menggunakan lowpass filter FIR dengan periode cutoff 6 menit dan periode sampling 15 detik, di ambil sampling sebesar 15 detik karena pengambilan data dilakukan pada mode tsunami.

Untuk membuat filter FIR yang merupakan filter sinyal digital (digital signal processing) maka sebelumnya perlu dilakukan sistem pendigitalan sinyal, karena sinyal yang didapat awalnya berupa sinyal analog, maka perlu dilakukan sampling data dengan periode sampling setiap 15 detik untuk mendapatkan data diskrit untuk melakukan pengolahan data secara digital.

Adapun persamaan yang digunakan untuk mendapatkan frekuensi cutoff digital atau frekuensi normalisasi dari frekuensi-frekuensi analog sebelumnya adalah:

$$f_{cutoff\ digital} = \frac{2f_{cutoff\ analog}}{f_{sampling\ analog}} \quad \text{dengan} \quad f = \frac{1}{T} \quad (4.1)$$

[21]

Lowpass filter FIR yang dibuat memiliki orde 32 (orde dapat ditentukan sesuai kebutuhan). Dalam membuat filter sinyal digital hal yang terpenting adalah menentukan koefisien filter dengan menggunakan perintah "signal.firwin (orde, frekuensi normalisasi cutoff)" yang terdapat dalam modul filter\_design pada scipy yang merupakan filter lowpass FIR digital dengan window kaiser. Dengan command tersebut didapatkan koefisien filter "b", yang jumlahnya sama seperti orde filter yang digunakan, koefisien filter tersebut yaitu antara lain:

```
b = [-1.44482329e-03 -1.39736668e-03 -1.37060439e-03 -1.04643835e-03
      7.31179264e-19 2.23308262e-03 6.07217762e-03 1.18037082e-02
      1.95051145e-02 2.89949380e-02 3.98195844e-02 5.12816595e-02
      6.25080489e-02 7.25492509e-02 8.04960340e-02 8.55962296e-02
      8.73539857e-02 8.55962296e-02 8.04960340e-02 7.25492509e-02
      6.25080489e-02 5.12816595e-02 3.98195844e-02 2.89949380e-02
      1.95051145e-02 1.18037082e-02 6.07217762e-03 2.23308262e-03
      7.31179264e-19 -1.04643835e-03 -1.37060439e-03 -1.39736668e-03]
```



Dan kemudian dilakukan perhitungan konvolusi dengan menggunakan metode filter FIR, dengan menggunakan persamaan :

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b_k x[n-k] \quad (4.2)$$

Dengan  $x$  merupakan input data sebelum di filter dan  $y$  merupakan output hasil pemfilteran secara FIR dengan menggunakan  $b$  yang merupakan koefisien filter, dengan nilai  $k$  yang berjalan terus hingga  $M$  (jumlah koefisien filter/ orde filter), dan  $n$  merupakan sequence data, sistem perhitungan tersebut merupakan sistem perhitungan secara konvolusi, contoh perhitungan secara konvolusi banyak digunakan dalam sistem digital signal processing untuk melakukan perkalian sinyal yang disebut sebagai perkalian secara konvolusi.[20]

Sebagai contoh perkain konvolusi sebagai berikut:

$$y[0] = b_0 * x[0 - 0]$$

$$y[1] = b_0 * x[1 - 0] + b_1 * x[1 - 1]$$

$$y[2] = b_0 * x[2 - 0] + b_1 * x[2 - 1] + b_2 * x[2 - 2]$$

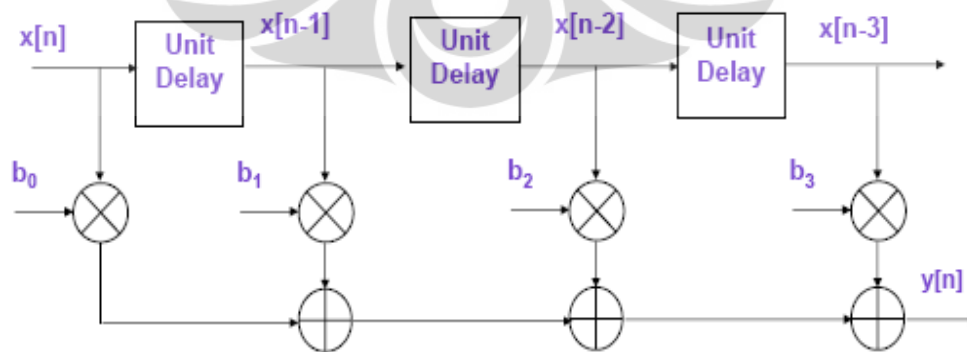
$$y[3] = b_0 * x[3 - 0] + b_1 * x[3 - 1] + b_2 * x[3 - 2] + b_3 * x[3 - 3]$$

.

.

.

Berikut gambar blok diagram perhitungan secara konvolusi :

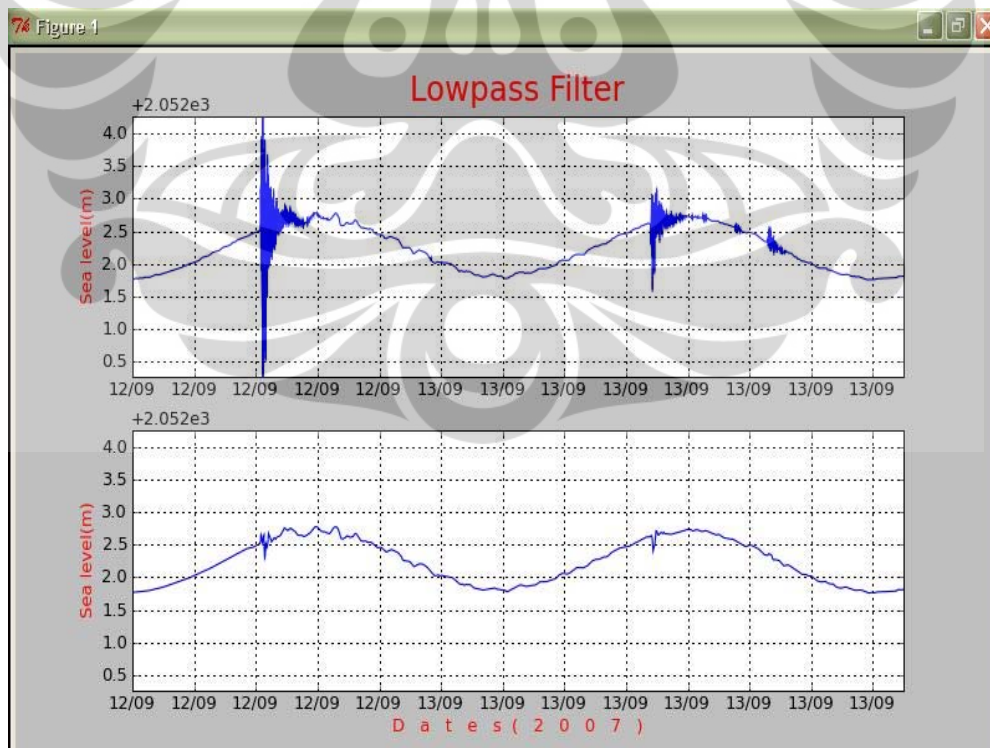


Gambar 4.7. Blok diagram perhitungan konvolusi filter FIR. [16]



Pada pembuatan filter dengan metode FIR (Finite Impuls Respons) kelemahannya adalah perlu digunakan orde yang tinggi untuk menghasilkan filter yang baik. Dalam hal ini lowpass filter hanya digunakan orde 32 (orde yang tidak cukup besar) untuk menghaluskan sinyal (Smoothing Filter Method), sehingga banyak data error yang terjadi dalam melakukan filtering data tersebut, maka perlu dilakukan koreksi filter. Dalam hal ini jumlah data error kurang lebih sama dengan jumlah orde filter yaitu 32 data error, namun letak data error tersebut berada pada 16 data awal dan 16 data terakhir, maka perlu dilakukan eliminasi terhadap data-data error tersebut.

Hasil data yang telah difilter panjang datanya tidak sama dengan data awalnya sebelum difilter, hal tersebut karena data yang telah difilter mengandung data-data error, setelah melakukan eliminasi data error tersebut (melakukan koreksi filter) maka data telah kembali compatible terhadap axis x nya yang berupa waktu real time, karena dalam melakukan plotting data kembali perlu menyesuaikan panjang data antara sumbu x dan sumbu y. Adapun hasil tampilan sinyal yang telah di filter dengan lowpass filter FIR tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8.

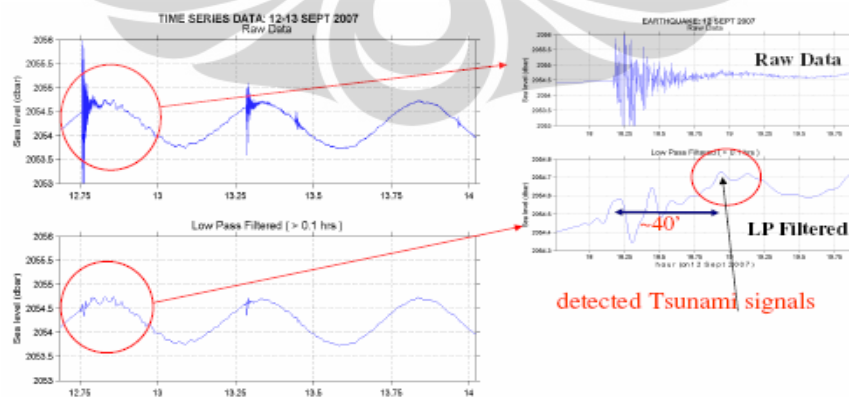


Gambar 4.8 Sinyal setelah difilter dengan menggunakan lowpass filter FIR

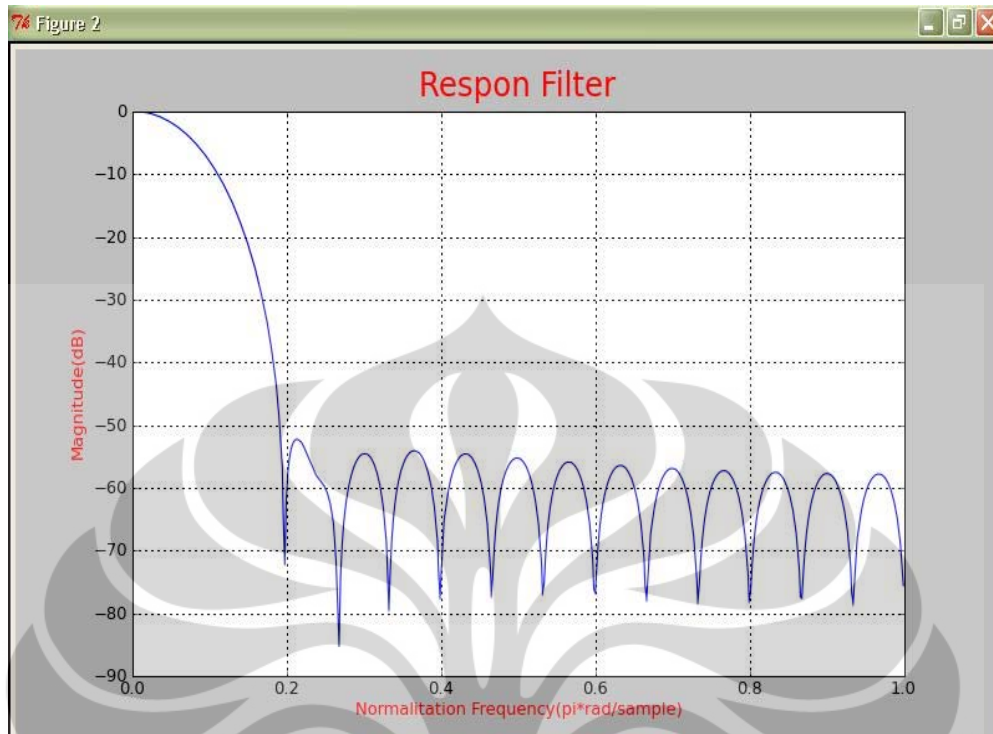
Pada Gambar 4.8 merupakan filter data dengan menggunakan lowpass filter FIR dengan periode cutoff 6 menit, dengan menggunakan lowpass filter tersebut terlihat bahwa sinyal yang memiliki periode dibawah 6 menit dipotong seluruhnya oleh filter tersebut dan sinyal yang memiliki periode diatas 6 menit termasuk gelombang tsunami dapat dilewatkan sehingga dapat terlihat bahwa sinyal tsunami tersebut tidak hilang atau halus secara keseluruhan, hal tersebut membuktikan bahwa sinyal gempa/ tsunami yang di filter dengan cutoff 6 menit akan menghasilkan sinyal tsunami yang sebenarnya. Sehingga menurut analisa tersebut maka filter lowpass dapat digunakan untuk alat yang membantu dalam melakukan analisa untuk menentukan gelombang tsunami

Pada Gambar 4.8 tepatnya pada grafik bagian atas terlihat bahwa data anomali yang terjadi sebelum dilakukan filtering data, dan apabila tidak diamati lebih dekat (zoom) tidak dapat dilihat dengan jelas waktu awal terjadi gempa bumi serta selang waktu terjadinya tsunami di daerah tersebut, yang terdeteksi oleh buoy hanyalah sinyal ripple akibat gempa yang terjadi dengan amplitudo yang begitu besar hingga beberapa meter di laut dalam.

Namun seperti terlihat ada Gambar 4.9 yang merupakan perbandingan antara sebelum menggunakan filter dengan setelah menggunakan filter khususnya lowpass filter FIR. Dari gambar tersebut terlihat perbedaan setelah menggunakan filter sinyal tsunami terlihat lebih jelas, karena frekuensi tinggi dari gempa telah dihilangkan dari periode cutoff  $> 0.1$  jam (6 menit). Berdasarkan Gambar 4.9 sinyal tsunami ditemukan tepatnya pada grafik kedua yang telah dilingkari pada bagian sebelah kanan (zoom) setelah garis waktu travel time selama 40 menit.



Gambar 4.9 Metode lowpass filter untuk menemukan sinyal tsunami



Gambar 4.10 Respon frekuensi lowpass filter

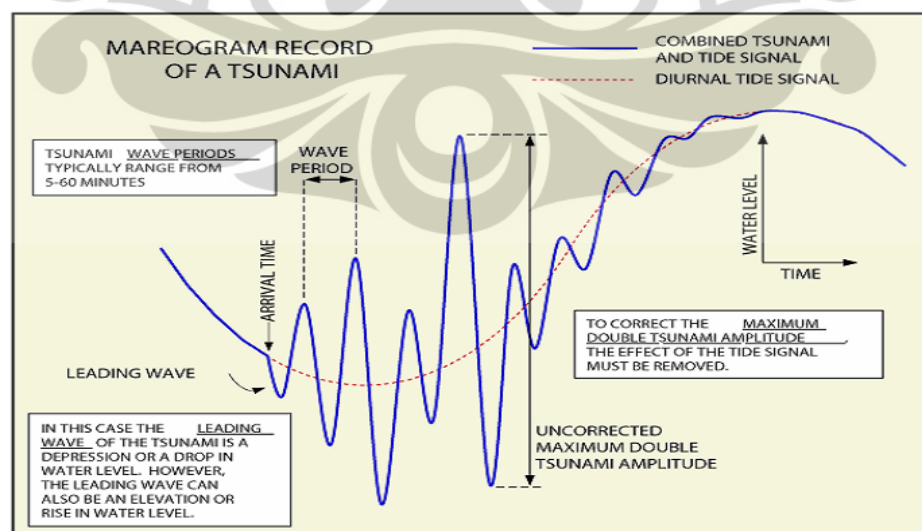
Pada Gambar 4.10 menggambarkan respon frekuensi dari filter lowpass yang digunakan pada sistem analisa ini. Kemiringan grafik yang langsung menelusup begitu curam disebabkan oleh frekuensi cutoff ternormalisasi yang sangat kecil dalam hal ini frekuensi cutoff ternormalisasi sama dengan frekuensi cutoff digital, sesuai dengan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Frekuensi tinggi dalam hal ini akan dipotong untuk mendapatkan hasil sinyal output yang lebih halus yang merupakan sinyal yang telah berkurang noisanya. Sinyal yang memiliki frekuensi tinggi merupakan noise sinyal tsunami dalam hal ini frekuensi tinggi yaitu lebih kecil dari 6 menit karena dalam batas ambang tersebut merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh angin sedangkan sinyal tsunami hanya berada pada range 6 – 60 menit sehingga dari filter tersebut dapat mengurangi noise frekuensi tinggi. Respon frekuensi filter lowpass FIR ini menggunakan window kaiser. Dari gambar frekuensi cutoff ternormalisasi sekitar  $0.1 \pi$  rad/sample, dan slope kemiringan yang cukup besar yaitu sekitar 50 dB/dekade. Dalam hal ini semakin curam gradien kemiringan respon frekuensi yang dihasilkan maka filter yang dihasilkan akan semakin baik. Dan untuk membuat

respon frekuensi pada pemrograman python digunakan command `signal.freqz` yang merupakan modul fungsi dari `scipy` untuk menghasilkan `h` yang merupakan respon frekuensi digital dari filter dan digunakan persamaan:

$$M = 20 \log(h) \quad (4.3)$$

Dengan  $M$  yang merupakan magnitude dari frekuensi filter, respon frekuensi filter tersebut diplot antara magnitude terhadap frekuensi ternormalisasi. Nilai  $h$  merupakan fungsi transfer dari filter lowpass yang digunakan untuk menghasilkan magnitude filter dengan menggunakan persamaan 4.3 untuk melihat respon frekuensi yang dihasilkan oleh filter untuk analisa filter yang digunakan untuk filter data awal untuk melakukan penghalusan sinyal dan mengurangi noise tanpa menghilangkan sinyal tsunami.

Namun pada sinyal hasil filter lowpass tersebut masih terlihat osilasi yang disebabkan oleh terjadinya gelombang tidal atau pasang-surut dilaut. Karena pada dasarnya karakteristik dari sinyal gempa (seismik) atau tsunami yang terjadi di lautan biasanya terkomposisi (bercampur) dengan sinyal tidal, sehingga lebih sulit untuk mendeteksi sinyal tsunami. Maka diperlukan metode-metode khusus untuk mengeliminasi atau menghilangkan pengaruh osilasi sinyal tidal (detide) dari sinyal awal pengukuran untuk menemukan atau mendeteksi sinyal tsunami.



Gambar 4.11. Karakteristik sinyal tsunami

Pada Gambar 4.11 terlihat karakteristik dari sinyal tsunami yang terkombinasi dengan sinyal tidal, terlihat bahwa sinyal tsunami memiliki periode pada range 6 - 60 menit, sedangkan sinyal tidal memiliki periode yang jauh lebih besar yaitu sekitar 6 - 12 jam, maka sinyal tidal juga merupakan sinyal yang tidak diperlukan dan perlu dihilangkan. Karena gelombang tidal merupakan sinyal noise dari sinyal tsunami maka perlu dilakukan berbagai metode filter yang dapat menghilangkan sinyal tidal tersebut, yaitu antara lain akan mencoba melakukan suatu metode khusus untuk mengeliminasi sinyal tidal. Dari spesifikasi karakteristik sinyal tsunami pada Gambar 4.11 diketahui bahwa periode sinyal tsunami jauh lebih kecil dibandingkan dengan periode sinyal tidal, dan double amplitudo sinyal tersebut merupakan double amplitudo sinyal yang belum dikoreksi atau masih terpengaruh oleh sinyal tidal. Tetapi gelombang pasang-surut tersebut bersifat periodik sehingga dapat dihilangkan dengan cara mengeliminasinya (menggunakan desimasi sinyal). Sehingga untuk mengetahui amplitudo sinyal tsunami yang sebenarnya harus menghilangkan pengaruh sinyal tidal.

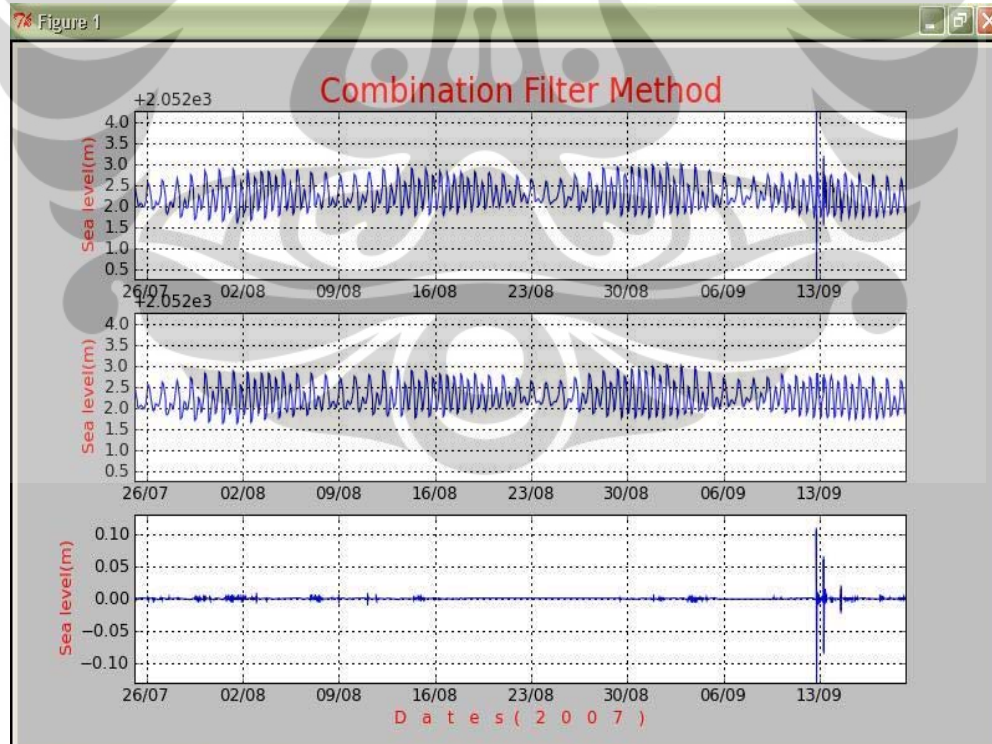
Pada bagian awal terjadinya ripple pada gelombang tidal yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 disebut leading wave atau gelombang awal terjadinya gempa, leading wave biasanya terjadi akibat gempa (gelombang seismik) yang terjadi di dasar laut yang getarannya merambat melalui medium air yang arahnya vertikal.

Gelombang tsunami hanya terjadi apabila gempa didasar laut yang terjadi pada daerah fault atau sesar baik sesar normal, naik/turun, dan besar kecilnya gelombang tsunami yang terjadi, disamping bergantung pada bentuk morfologi pantai, juga ditentukan oleh karakteristik sumber gangguan impulsif yang menimbulkannya. Sebagian besar sumber gangguan impulsif yang menimbulkan tsunami dahsyat adalah gempa bumi yang terjadi di bawah dasar laut dengan deformasi dasar laut yang besar. Tsunami bergerak maju ke satu arah dari sumbernya, Namun demikian, gelombang tsunami dapat juga berbelok ke berbagai arah di sekitar daratan. Gelombang ini juga dapat berlaku tidak simetris. Gelombang ke satu arah mungkin lebih kuat dibanding gelombang ke arah lainnya, tergantung dari peristiwa alam yang memicunya dan kondisi geografis wilayah sekitarnya.



### 4.3 Analisa Implementasi Metode Kombinasi Filter Sinyal Digital

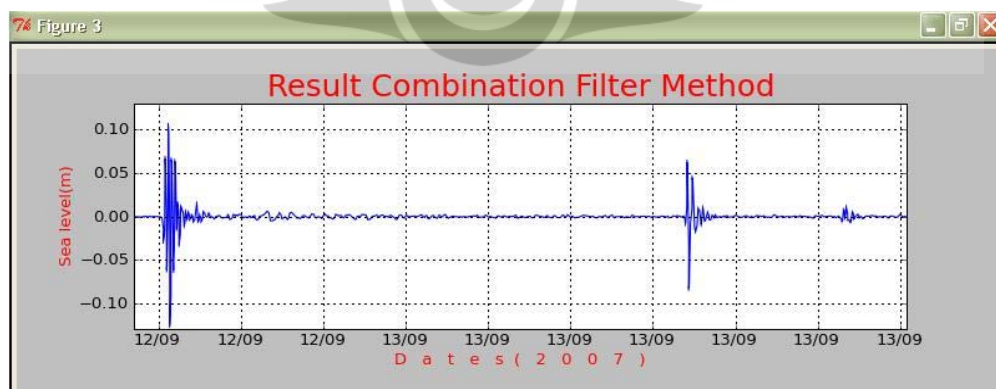
Pada metode ini sistem utama yang digunakan adalah filter sinyal digital yang dikombinasikan satu sama lain untuk mendapatkan informasi mengenai anomali sinyal yang terjadi pada Gambar 4.3 yaitu, menghasilkan keputusan mengenai jenis sinyal yang dideteksi untuk melakukan peringatan tsunami (warning system), adapun jenis filter yang berperan penting pada metode ini adalah Lowpass filter dan Highpass filter. Parameter kedua filter tersebut dapat diatur atau diubah-ubah sesuai dengan keperluan analisa, dalam hal ini telah dijelaskan sebelumnya mengenai analisa parameter yang digunakan pada filter sinyal tsunami. Pada Gambar 4.12 merupakan hasil deteksi dengan menggunakan metode kombinasi filter sinyal digital, pada subplot pertama adalah plotting dari data mentah yang belum difilter sedangkan pada subplot kedua merupakan sinyal hasil filter dengan menggunakan lowpass filter FIR dengan orde 32 dan frekuensi cutoff 6 menit, kemudian pada subplot grafik ketiga merupakan sinyal hasil filter dengan menggunakan highpass filter FIR orde 32 dan frekuensi cutoff 1 jam.



Gambar 4.12 Sinyal hasil metode kombinasi filter sinyal digital

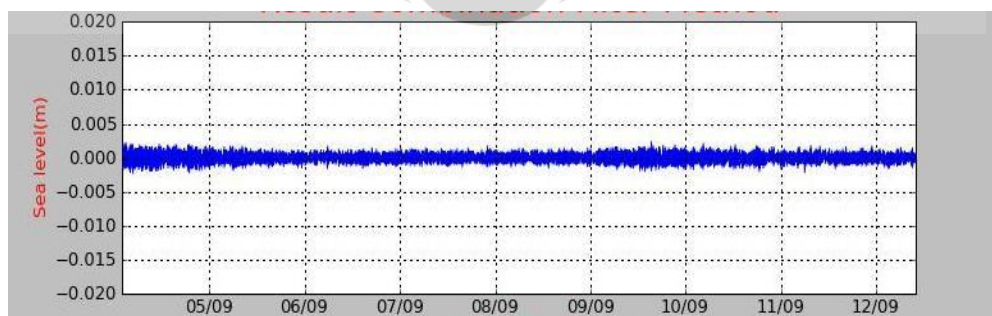
Berdasarkan Gambar 4.12 tersebut terlihat bahwa pada metode pertama dengan mengkombinasikan filter sinyal digital yang dapat melakukan deteksi tsunami, seperti yang terlihat pada subplot grafik ke 3 yang merupakan sinyal hasil filter highpass FIR yang merupakan sinyal output dari metode ini. Dari analisa gelombang tidal telah dihasilkan metode yang dapat menghilangkan gelombang tidal, karena terlihat pada hasil sinyal tersebut ripple sinyal tidak lagi dipengaruhi oleh gelombang tidal, selanjutnya dapat di lihat bahwa amplitudo sinyal tsunami yang dihasilkan yaitu kurang lebih sekitar 13 cm dari permukaan laut, dan berdasarkan pengamatan dari Gambar 4.12 pada subplot grafik ketiga yang merupakan sinyal hasil deteksi terlihat bahwa deteksi sinyal yang terlihat terdapat tiga buah peak yang terjadi pada sekitar tanggal 12 – 13 September 2007, ketiga peak terbesar tersebut berpotensi terjadi tsunami maka dapat dilakukan pembesaran gambar dengan melakukan perubahan skala grafik pada GUI python sehingga dapat diamati lebih jelas untuk mengetahui identitas sinyal tersebut, hasil pembesaran grafik (zoom grafik) yang telah dilakukan pada daerah sekitar tanggal 12 – 13 September 2007 dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Berdasarkan Gambar 4.13 terlihat hasil deteksi sinyal yang terdiri dari 3 sinyal yang memiliki amplitudo yang melebihi sinyal sekitarnya, pada sinyal pertama dari kiri, sinyal tersebut merupakan sinyal yang sangat berpotensi terjadi tsunami karena sinyal tersebut merupakan sinyal awal yang memiliki amplitudo yang lebih besar dari sinyal sebelumnya. Anomali sinyal berikutnya memiliki amplitudo yang lebih rendah dari sinyal yang pertama yang memungkinkan bahwa sinyal tersebut merupakan sinyal gempa selanjutnya setelah gempa awal terjadi yang biasanya disebut sebagai gempa susulan.



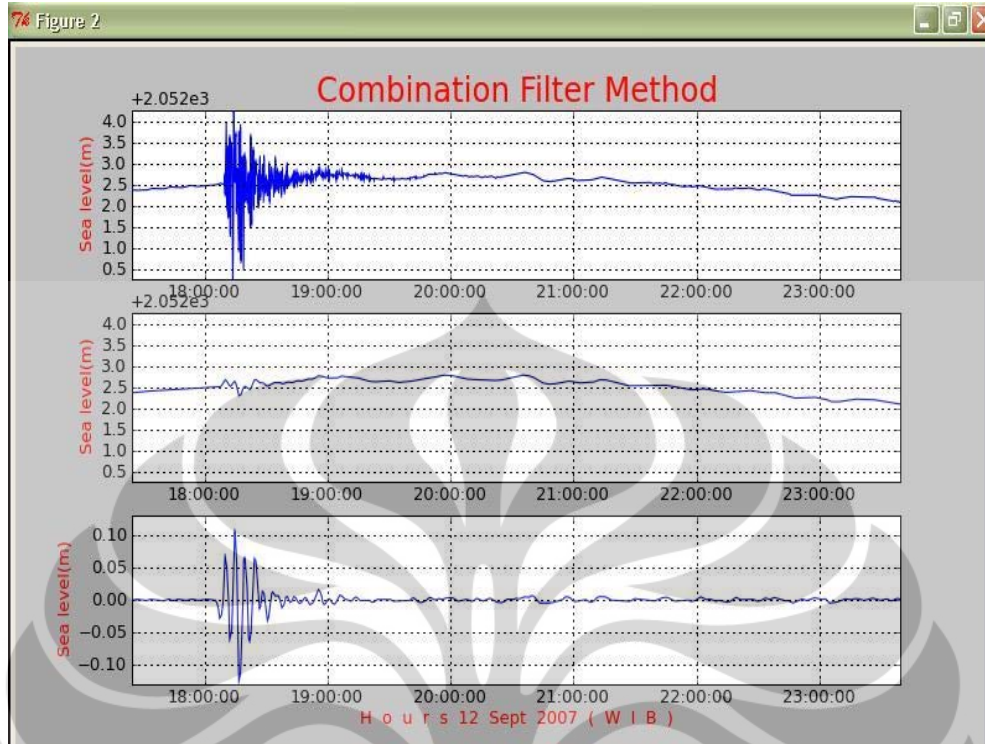
Gambar 4.13 Sinyal hasil deteksi pada tanggal 12-13 September 2007

Ketiga anomali sinyal tersebut melebihi amplitudo sinyal sebelumnya karena berdasarkan riset PTWC (*Pasific Tsunami Warning Center*) batas ambang (Threshold) gelombang tsunami di laut dalam yaitu sekitar 3 cm dari permukaan laut, sehingga apabila setelah filter dilakukan namun menghasilkan sinyal dengan amplitudo yang lebih besar dari 3 cm maka perlu dilakukan peringatan segera karena sinyal tersebut berpotensi terjadinya tsunami, namun biasanya sinyal yang memiliki amplitudo tinggi tersebut diakibatkan oleh gempa sehingga peringatan sebaiknya dapat dilakukan setelah melakukan analisa sinyal tsunami, karena gempa di dasar laut dapat juga tidak menghasilkan tsunami. Pada Gambar 4.14 menunjukkan sinyal gelombang laut sebelum terjadinya tsunami yang telah dihilangkan pengaruh tidalnya dari gambar tersebut terlihat bahwa sinyal gelombang yang telah terfilter amplitudonya kurang dari 3 cm yaitu dalam hal ini sekitar 1-2 cm, namun pada amplitudo gempa dan tsunami selalu lebih besar dari 3 cm. Dan selain itu karakteristik sinyal yang dihasilkan oleh metode ini memiliki periode yang sangat kecil (sinyal yang rapat) karena output dari metode ini merupakan output dari highpass filter sehingga merupakan sinyal dengan frekuensi tinggi, namun sesungguhnya output sinyal pada metode ini merupakan sinyal yang memiliki periode antara 6-60 menit, karena frekuensi diatas periode 6 menit dan frekuensi dibawah periode 60 menit telah dipotong oleh kombinasi kedua filter tersebut. Namun untuk mengetahui lebih lanjut mengenai karakteristik sinyal yang telah dideteksi dengan menggunakan metode ini maka perlu dilakukan pembesaran pada awal sinyal gempa yang terjadi setelah difilter dengan menggunakan metode ini, adapun sinyal yang dihasilkan dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.15. Pada gambar tersebut terlihat sinyal hasil deteksi pada tanggal 12 September 2007 dari jam 6 sore hingga jam 12 malam.



Gambar 4.14 Sinyal sebelum gempa pada tanggal 5-11 September 2007

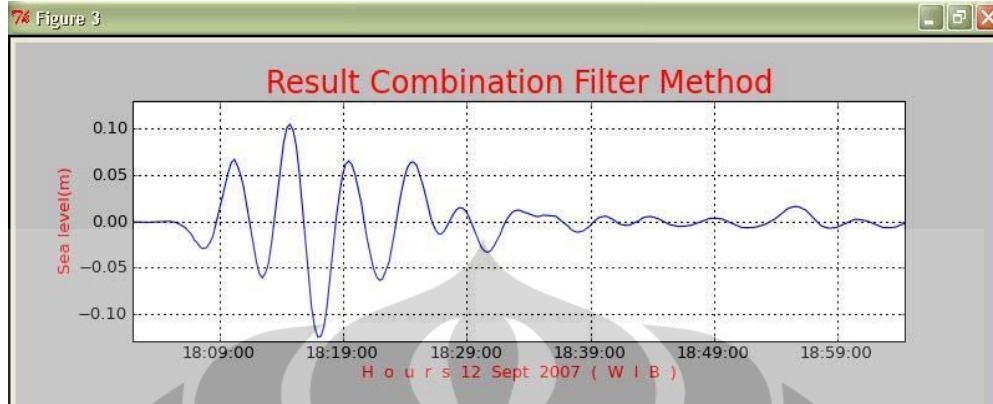




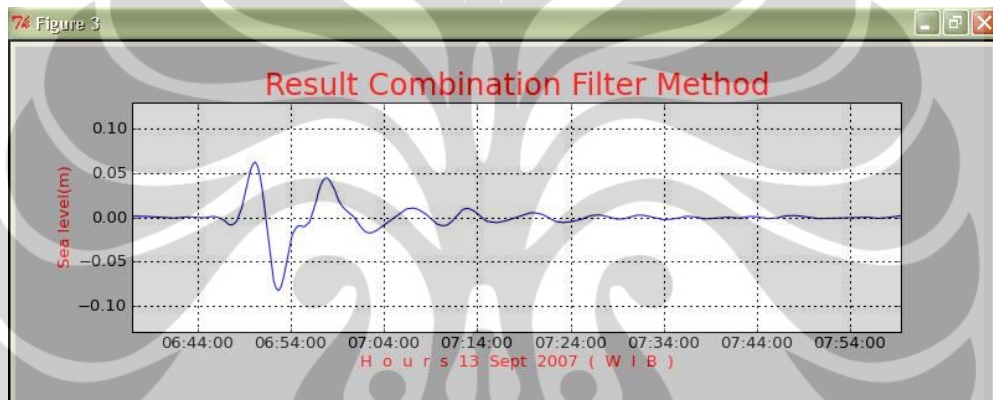
Gambar 4.15 Hasil pembesaran Metode Kombinasi Filter

Pada Gambar 4.15 merupakan gambar pembesaran sinyal hasil dari metode kombinasi filter yang diolah menggunakan kombinasi filter lowpass dan highpass FIR, dengan parameter periode cutoff lowpass dan highpass sesuai dengan batas range periode gelombang tsunami yaitu antara 6 – 60 menit, dari hasil tampilan tersebut telah terlihat bahwa metode pendeteksi yang dihasilkan Gambar 4.15 pada subplot grafik ke 3 dapat mendeteksi sinyal anomali sesuai spesifikasi sinyal tsunami, seperti menghilangkan sinyal tidal, mendeteksi amplitudo maksimum sekitar 13 cm, dan mendeteksi sinyal dengan periode pada range 6 – 60 menit, sehingga metode ini dapat dikatakan berhasil dan dapat digunakan untuk sistem pendeteksi sinyal gempa dan tsunami pada laut dalam.

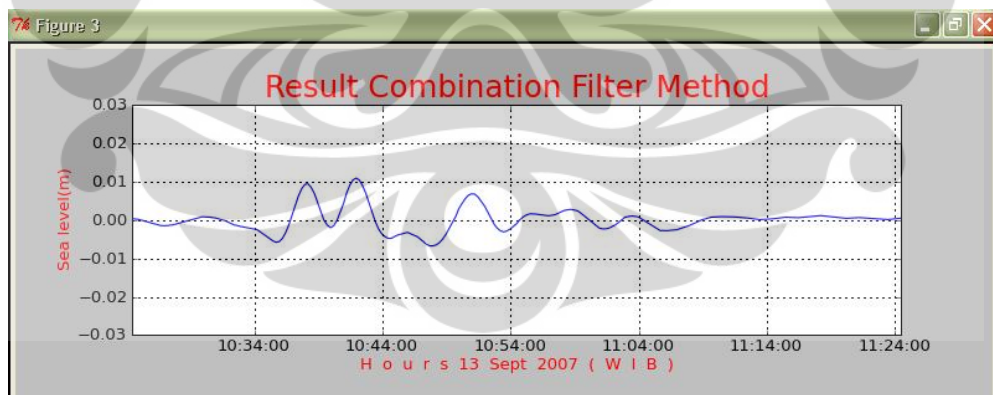
Pada Gambar 4.16 terlihat tampilan ketiga sinyal hasil deteksi metode ini pada Gambar 4.16 (a) terlihat hasil pembesaran anomali sinyal pertama yang merupakan sinyal awal terjadinya gempa dengan amplitudo gelombang 13 cm, pada Gambar 4.16 (b) terlihat hasil pembesaran sinyal gempa kedua (gempa susulan tepatnya sekitar pukul 06:40 pada tanggal 13 September 2007 dengan amplitudo sekitar 7 cm dari permukaan laut.



(a)



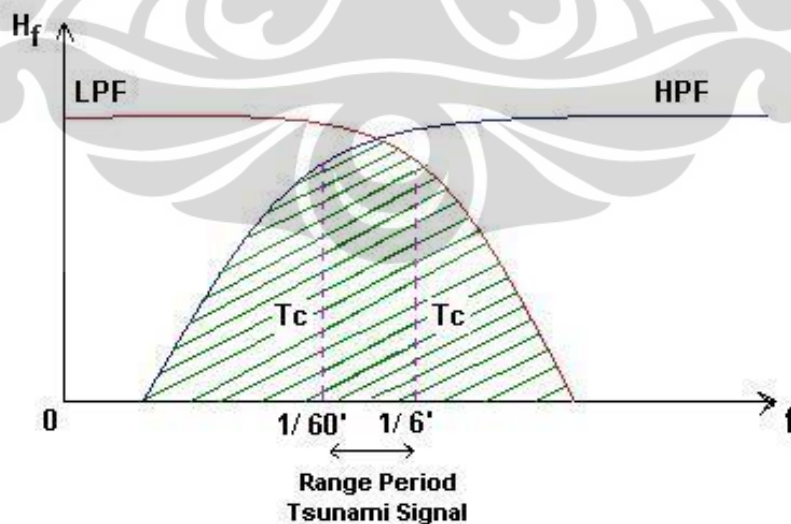
(b)



(c)

Gambar 4.16 (a) Pembesaran sinyal anomali hasil deteksi pertama  
(b) Pembesaran sinyal anomali hasil deteksi kedua  
(c) Pembesaran sinyal anomali hasil deteksi ketiga

Pada Gambar 4.16 (c) merupakan hasil pembesaran grafik sinyal anomali yang ketiga yaitu tepatnya pada sekitar pukul 10:37 WIB pada tanggal 13 September 2007, namun sinyal tersebut amplitudonya kurang dari batas ambang tsunami yaitu 3 cm sehingga dapat disimpulkan bahwa sinyal ini bukan merupakan sinyal gempa ataupun sinyal tsunami karena hanya memiliki batas ketinggian amplitudo sekitar 1,2 cm, namun sinyal yang dihasilkan tersebut masih sulit dibedakan antara sinyal seismik dengan sinyal tsunami. Sinyal seismik merupakan sinyal yang dihasilkan akibat perambatan gelombang gempa dari dasar laut ke permukaan. Sehingga biasanya sinyal seismik mendahului sinyal tsunami, namun pada sinyal hasil deteksi pada Gambar 4.16 (a) tidak terdapat perbedaannya, hanya terlihat beberapa osilasi gelombang dengan amplitudo yang berbeda. Dengan membedakan antara sinyal seismik dengan sinyal tsunami maka dapat diketahui berapa lama rentang perbedaan waktu terjadinya tsunami setelah timbulnya gempa. Kekurangan tersebut mungkin dapat dianalisa melalui respon frekuensi, bentuk dari respon frekuensi pada metode ini dapat dilihat pada Gambar 4.17. Berdasarkan metode kombinasi filter sinyal digital digunakan dua respon frekuensi yaitu lowpass filter (LPF) dan highpass filter (HPF) yang respon frekuensinya dikombinasikan untuk mendapatkan sinyal pada range frekuensi sinyal tsunami yaitu pada rentang periode antara 6-60 menit, sehingga digunakan periode cutoff LPF 6 menit dan periode cutoff HPF 60 menit.

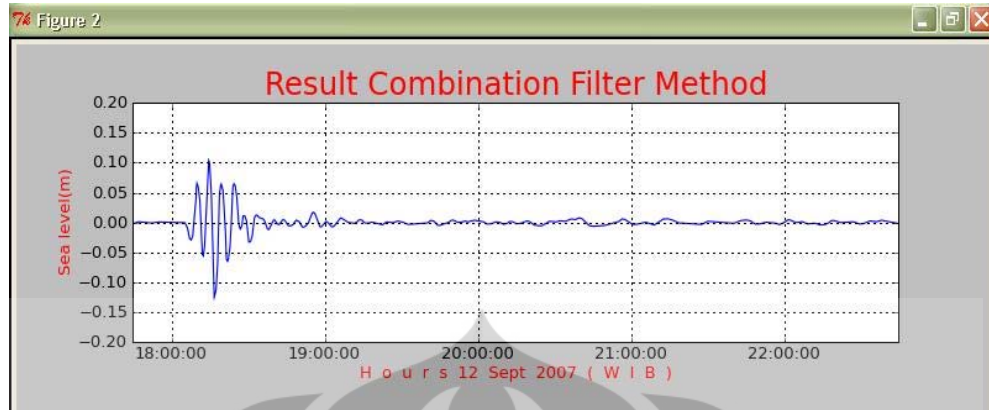


Gambar 4.17 Respon frekuensi metode kombinasi filter sinyal digital

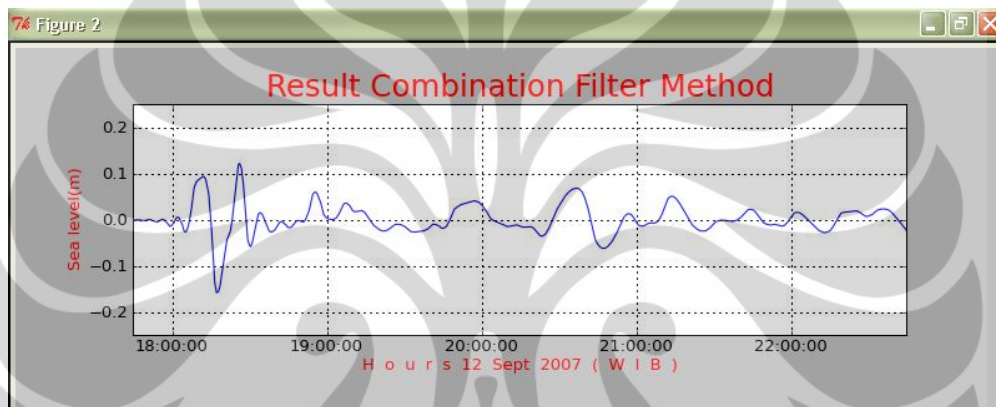
Namun untuk mendapatkan sinyal pada rentang periode 6-60 menit seperti daerah didalam garis putus-putus pada Gambar 4.17 masih sulit diwujudkan karena pengaruh kemiringan grafik, sehingga daerah sinyal yang didapatkan yaitu pada daerah yang diarsir dengan garis hijau, sehingga dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan dengan metode ini masih dipengaruhi sedikit daerah frekuensi tinggi dan rendah dari range periode sinyal tsunami, sehingga semakin baik filter yang digunakan dengan kemiringan respon yang lebih curam maka semakin baik sinyal yang dihasilkan, maka dengan kekurangan tersebut maka metode ini perlu dilakukan perbandingan dengan metode lain untuk mengetahui metode yang lebih baik untuk digunakan dalam mendeteksi sinyal tsunami pada proyek TEWS.

Namun apabila dilakukan pembesaran nilai orde dari filter lowpass dan highpass pada sistem kombinasi filter digital tersebut maka akan didapatkan sinyal seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 yaitu apabila nilai orde filter dari highpass filter diperbesar hingga pada orde 500 seperti pada karakteristik sinyal tidal maka terlihat pada Gambar sinyal tsunami yang terpotong oleh filter sebelumnya, mulai dapat terlihat yaitu sinyal yang peaknya berada pada sekitar waktu 19:00 WIB yang merupakan sinyal tsunami dan didahului oleh sinyal yang memiliki frekuensi tinggi yaitu sinyal seismik, maka dapat disimpulkan bahwa sinyal seismik dan sinyal tsunami dapat terdeteksi dengan menggunakan metode kombinasi filter sinyal digital dengan memperbesar orde hingga orde filter 500, hal tersebut terjadi karena karakteristik dari metode Finite Impuls Respons (FIR) akan menghasilkan sinyal yang stabil dan baik apabila digunakan pada orde tinggi.

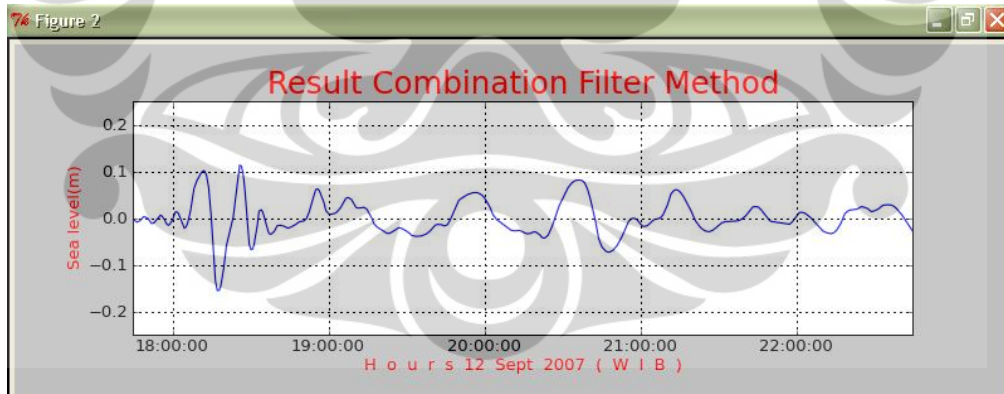
Pada Gambar 4.18 menunjukkan sinyal hasil deteksi dengan menggunakan metode kombinasi filter sinyal digital yang apabila diamati, akan terlihat bahwa sinyal tsunami semakin timbul apabila orde filter yang digunakan semakin tinggi sehingga dilakukan sistem atau tahapan merubah/memperbesar orde filter yang dilakukan seperti pada Gambar 4.18, karena dengan meningkatkan orde dari filter highpass tersebut maka sinyal yang dihasilkan menjadi lebih baik, dalam hal ini lebih baik karena dapat membedakan antara sinyal seismik dengan sinyal tsunami. Dan dapat diamati bahwa amplitudo gelombang seismik sekitar 12 cm, namun amplitudo gelombang tsunami hanya sekitar 7 cm pada filter orde 500.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.18. Hasil deteksi sinyal dengan metode kombinasi filter

Gambar (a) Hasil deteksi pada filter orde 32

Gambar (b) Hasil deteksi pada filter orde 200

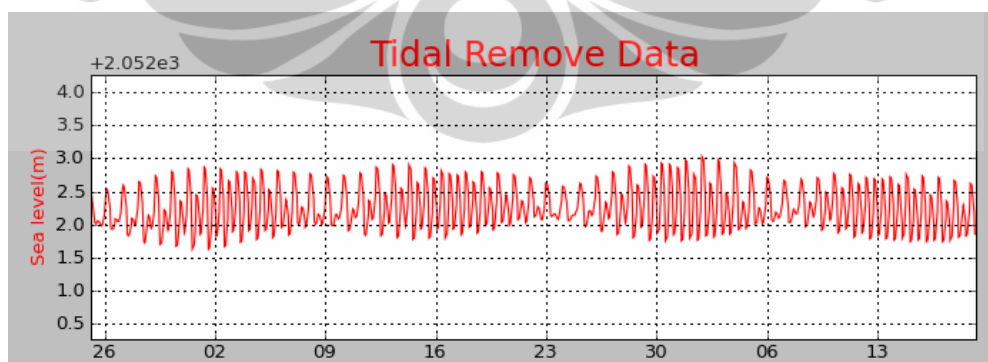
Gambar (c) Hasil deteksi pada filter orde 500



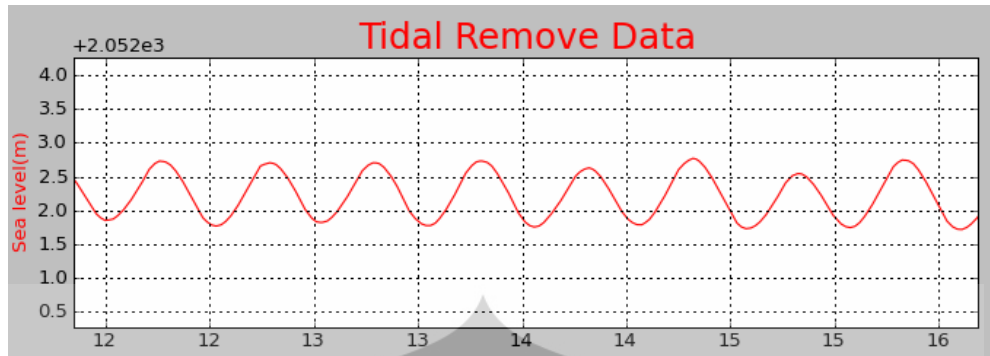
Pada Gambar (a) terlihat bahwa sinyal seismik terdeteksi namun sinyal tsunami belum dapat terdeteksi, sehingga dilakukan peningkatan orde filter sampai orde 200, sehingga pada tahap selanjutnya dihasilkan sinyal deteksi seperti pada Gambar (b), maka dilakukan peningkatan orde kembali hingga orde filter menjadi 500 dan sinyal deteksi yang dihasilkan dapat membedakan antara sinyal seismik dengan sinyal tsunami, dan untuk itu perlu dilakukan pembuktian dengan menggunakan metode lainya yaitu metode filter tidal remove untuk membuktikan apakah sinyal tsunami dan sinyal seismik yang dideteksi adalah benar. Dan untuk melakukan perbandingan antara kedua metode tersebut.

#### 4.4 Analisa Implementasi Metode Filter Tidal Remove Data

Pada metode kedua yaitu dengan sistem pengolahan yang hampir sama dengan metode sebelumnya yaitu dengan menggunakan filter sinyal digital, namun dalam hal ini untuk menghilangkan pengaruh sinyal tidal pada sinyal data yang berpotensi gempa atau tsunami, maka perlu dilakukan dengan suatu metode khusus yang disebut metode "Tidal Remove Data" yaitu metode penghilangan sinyal tidal dengan melakukan desimasi sinyal (pengurangan sinyal) hasil pengukuran tersebut dengan sinyal periodik tidal. Sinyal periodik tidal dapat dibuat dengan cara melakukan filtering data mentah dengan menggunakan lowpass filter FIR dengan periode cutoff 12 jam (berdasarkan karakteristik periode gelombang tidal) dan menggunakan nilai orde sangat tinggi yaitu dengan menggunakan filter lowpass FIR dengan orde 500.



Gambar 4.19. Sinyal tidal hasil filter

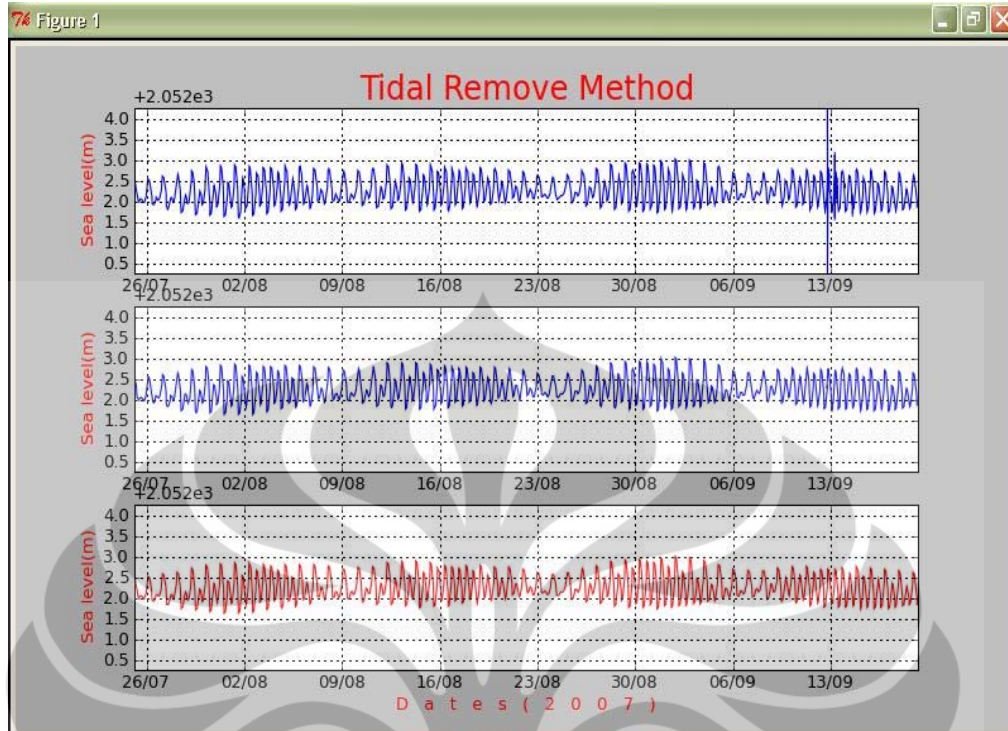


Gambar 4.20. Zoom sinyal tidal pada tanggal 12-16 September 2007

Filter Lowpass dengan orde tinggi tersebut dapat berfungsi untuk menghasilkan sinyal tidal dengan cara menghilangkan pengaruh sinyal gempa dan tsunami pada sinyal hasil pengukuran, sehingga sinyal yang dihasilkan tersebut merupakan sinyal murni tidal tanpa terpengaruh sinyal gempa atau tsunami. Adapun sinyal hasil filter ini yang berupa sinyal tidal dapat dilihat pada Gambar 4.19. dari gambar tersebut terlihat bahwa sinyal gempa atau tsunami yang terjadi pada tanggal 12-13 September 2007 telah halus sehingga hanya gelombang tidal yang dihasilkan pada output filter dengan orde tinggi tersebut. Seperti sinyal tidal yang dapat dilihat pada Gambar 4.20

Kemudian untuk tampilan lebih jelas dapat dilihat berdasarkan Gambar 4.20 tersebut, dapat dilihat bahwa pengaruh sinyal gempa dan tsunami telah hilang yang tepatnya berada di sekitar tanggal 12 September 2007 pada pukul 18:10:22 WIB sehingga sinyal ini hanya menjadi sinyal tidal murni atau sinyal dari gelombang pasang-surut laut pada saat terjadinya gempa tersebut.

Selain membuat sinyal tidal pada metode ini juga melakukan filter data menggunakan lowpass filter FIR dengan periode cutoff 6 menit dan orde filter 32 yang berfungsi untuk memotong sinyal dengan frekuensi tinggi dalam hal ini sinyal yang memiliki periode kurang dari 6 menit, sistem filter ini sama dengan filter data yang dilkaskan pada filter awal metode kombinasi filter sinyal digital. Dan tentunya kedua filter lowpass FIR tersebut digunakan periode sampling 15 detik sesuai pengambilan data pada mode tsunami. Disain penggambaran kedua filter lowpass FIR tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.21.

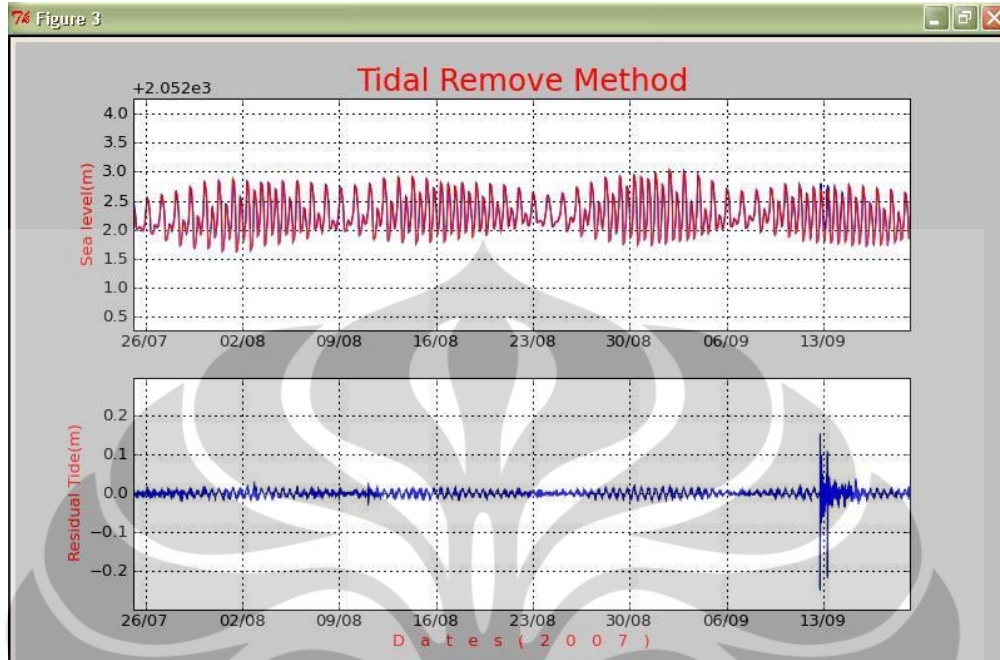


Gambar 4.21. Filter lowpass FIR orde 32 (biru) dan orde 500 (merah)

Maka proses selanjutnya pada metode Tidal Remove adalah dengan melakukan pengurangan sinyal (eliminasi data) atau biasa disebut sebagai desimasi sinyal yaitu antara lain mengurangi sinyal hasil filter pertama pada Gambar 4.21 pada subplot grafik kedua, yaitu merupakan sinyal hasil filter dengan menggunakan lowpass filter dengan parameter periode cutoff 6 menit, dikurangi terhadap sinyal tidal murni yang telah dibuat dengan metode filter lowpass orde tinggi dengan parameter periode cutoff 12 jam seperti yang terlihat pada subplot grafik ketiga pada Gambar 4.21.

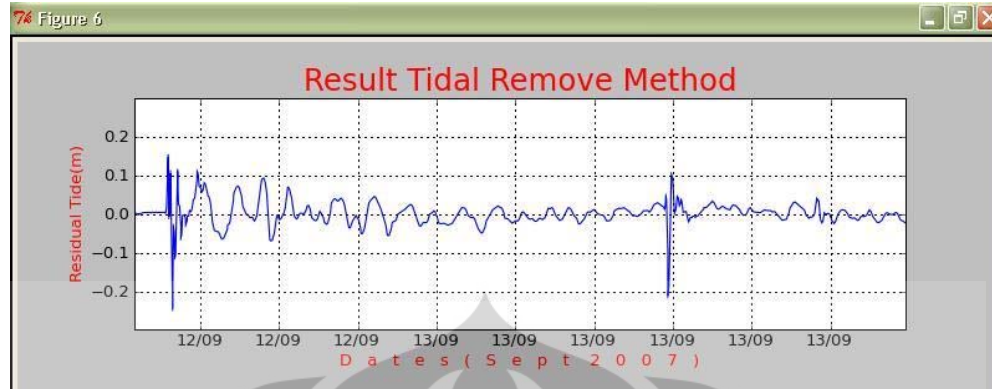
Spesifikasi kedua filter tersebut antara lain menggunakan periode sampling yang sama, yaitu setiap 15 detik, namun memiliki orde yang sangat jauh berbeda, yaitu pada filter lowpass FIR awal digunakan orde 32 untuk melakukan filtering data mentah untuk mengurangi noise frekuensi tinggi, sedangkan lowpass filter FIR yang kedua dilakukan sistem filter dari data mentah dan memotong frekuensi tinggi juga namun tujuannya untuk menghasilkan sinyal tidal (pasang-surut) dengan menggunakan orde yang besar untuk memperhalus sinyal yaitu orde 500.





Gambar 4.22. Sistem desimasi sinyal untuk menghilangkan sinyal tidal

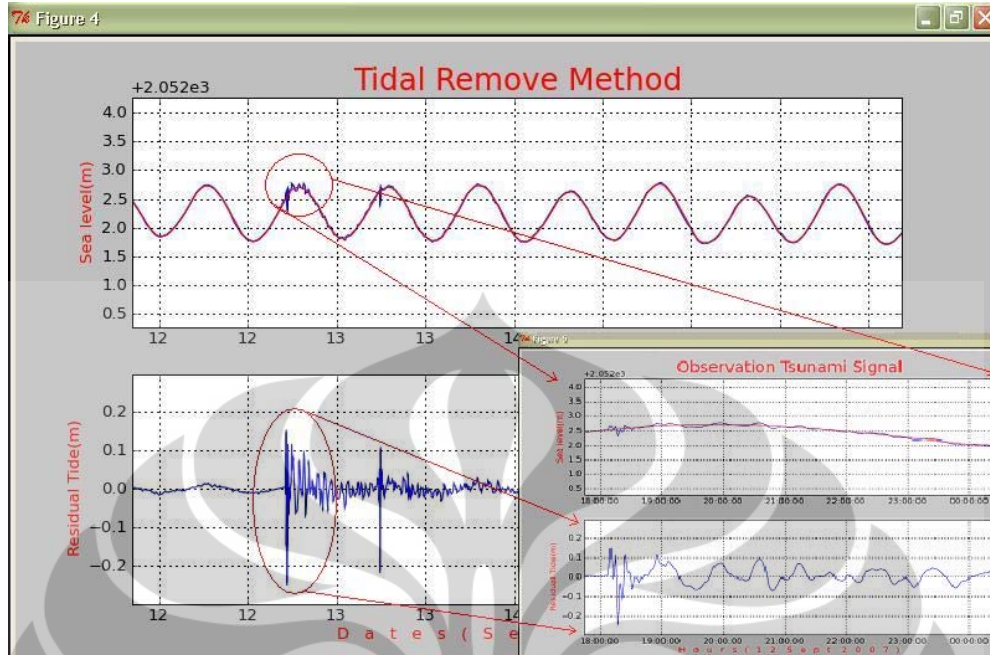
Sistem desimasi sinyal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22, yaitu sinyal awal filter (biru) dikurangi dengan sinyal tidal (merah), tujuan dari sistem desimasi data ini adalah untuk menghilangkan pengaruh sinyal tidal untuk mengurangi noise pada sinyal gempa atau tsunami karena seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa sinyal tsunami biasanya bercampur dengan sinyal tidal sehingga sulit untuk menemukan sinyal tsunami sehingga muncul ide metode Tidal Remove ini untuk menghilangkan pengaruh sinyal tidal dari sinyal gelombang laut. Dan hasilnya setelah dilakukan desimasi sinyal (pada subplot grafik kedua Gambar 4.22) dapat dilihat bahwa nilai amplitudo ketinggian gelombang laut yang dihasilkan sinyal tersebut mendekati nol (sinyalnya mendekati garis lurus) sehingga dapat diketahui bahwa dengan menggunakan desimasi sinyal dapat menghilangkan pengaruh osilasi sinyal tidal, namun hanya pada bagian yang terdapat anomali sinyal gempa atau tsunami terlihat dengan jelas karena memiliki amplitudo yang lebih tinggi dari sinyal lainnya dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.23 Sinyal deteksi dari metode Tidal Remove

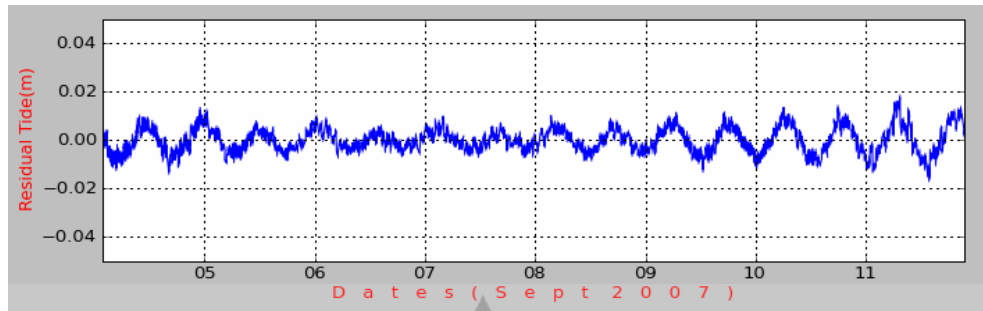
Maka setelah melakukan proses desimasi sinyal maka didapatkan deteksi sinyal yang berpotensi terjadinya tsunami seperti yang terlihat pada Gambar 4.23, terdapat dua kemungkinan sinyal gempa atau tsunami yang terlihat pada tanggal 12-13 September 2007, seperti yang telah dianalisa sebelumnya bahwa anomali sinyal yang ketiga yaitu tepatnya pada pukul 10:37 WIB 13 September 2007 bukan merupakan sinyal gempa atau tsunami karena amplitudonya tidak melebihi batas ambang amplitudo tsunami yaitu  $\pm 3$  cm, sehingga pada metode ini hanya akan membahas dua anomali sinyal yang terdeteksi dengan amplitudo yang tinggi. Dari Gambar 4.23 terlihat bahwa ketika terdeteksi sinyal gempa atau tsunami sinyal osilasi yang terjadi memiliki amplitudo yang lebih besar dari sinyal sebelum terjadi gempa, hal tersebut dikarenakan gempa yang terjadi begitu besar dan menghasilkan getaran serta perambatan gelombang ke semua arah sehingga mengakibatkan ketidakstabilan ketinggian gelombang laut.

Apabila dilakukan pengamatan lebih lanjut dalam sistem desimasi data pada metode ini spesifikasi kedua sinyal yang akan dikurangi tersebut harus memiliki fase yang sama agar pengaruh sinyal tidal akan dapat dihilangkan, karena apabila sinyal yang mengurangi (tidal) memiliki fase yang mendahului/terlambat dari sinyal yang akan dikurangi maka pengaruh osilasi sinyal tidal tidak dapat dihilangkan, untuk melihat fase osilasi sinyal dapat dilakukan dengan memperbesar tampilan metode ini seperti yang terlihat pada subplot grafik pertama pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Proses desimasi sinyal dan pembesaran tampilan untuk menemukan sinyal tsunami

Pada gambar tersebut terlihat bahwa sinyal hasil pengukuran (biru) dan sinyal tidal (merah) memiliki fase osilasi gelombang yang sama sehingga apabila dilakukan pengurangan atau desimasi akan menghasilkan sinyal lurus tanpa osilasi (seharusnya) pada nilai amplitudo yang mendekati nol, namun pada anomali sinyal tersebut terlihat lebih jelas berdasarkan amplitudo sinyal yang lebih besar dari amplitudo lainnya. Hal tersebut nampak karena hasil desimasi sinyal tersebut merupakan riak (ripple) dari permukaan laut akibat gempa di dasar laut, sehingga apabila tidak terjadi gempa atau tsunami di laut dalam, maka sinyal ripple gelombang laut tidak akan melebihi batas treshold tsunami. Berdasarkan Gambar 4.24 subplot grafik kedua terlihat sinyal gempa atau tsunami telah terdeteksi spesifikasi sinyal yang dapat terlihat dengan jelas adalah besar amplitudo yang melebihi batas treshold tsunami yaitu besarnya sekitar 13 cm sama seperti amplitudo yang terdeteksi dengan metode pengolahan sebelumnya, namun pada metode ini apabila dilakukan pembesaran tampilan grafik seperti pada Gambar 4.24 dapat dilihat perbedaan bentuk sinyal dari metode sebelumnya, misalnya yaitu sinyal ketinggian gelombang laut pada saat tidak terjadi tsunami.

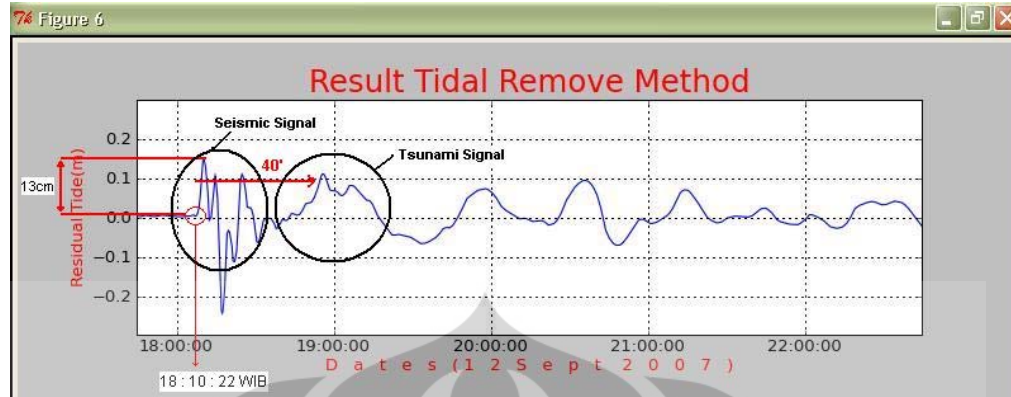


Gambar 4.25 Sinyal hasil desimasi pada tanggal 5-11 September 2007

Seperti terlihat pada Gambar 4.25 yang merupakan contoh gambar sinyal hasil dari desimasi sinyal tidal pada bagian lain yang tanpa dipengaruhi adanya sinyal gempa dan tsunami. Misalnya pada tanggal 5 – 11 September 2007 terlihat bahwa amplitudo sinyal tidal tersebut tidak melebihi batas threshold  $\pm 3$  cm , karena pada sistem pendeteksi ini dibuat batas ambang (threshold) gelombang sebesar  $\pm 3$  cm, sehingga apabila amplitudo sinyal hasil analisa software tersebut melebihi  $\pm 3$  cm maka alarm sistem peringatan langsung dibunyikan pada stasiun penerima RDS – BPPT dan daerah sekitar yang kemungkinan akan terkena bencana. Pada Gambar 4.25 tersebut terlihat frekuensi dari sinyal tidak terlalu besar seperti pada metode sebelumnya, dan selain itu pengaruh sinyal periodik dari tidal masih ada namun dengan amplitudo yang tidak melabih batas threshold tsunami.

Pada permasalahan metode sebelumnya sinyal hasil deteksi dari kombinasi filter dalam hal ini masih sulit untuk membedakan antara sinyal gempa dengan sinyal tsunami, maka diperlukan perbandingan dengan metode Tidal Remove untuk membandingkan sinyal hasil deteksi dari kedua metode, adapun sinyal hasil deteksi dari metode Tidal Remove ini dapat dilihat pada Gambar 4.26. Seperti yang terlihat pada gambar tersebut bahwa sinyal yang terdeteksi melebihi batas threshold sinyal tsunami, dengan amplitudo tsunami yaitu sekitar 13 cm, sehingga dapat dikatakan bahwa pada saat itu terjadi gempa atau tsunami, maka perlu dilakukan analisa untuk membedakan kedua sinyal tersebut. Pada bagian awal sinyal terlihat bahwa sinyal tidal tidak melebihi batas ambang threshold tsunami  $\pm 3$  cm namun ketika pukul 18:10:22 pada tanggal 12 september 2007 terjadi anomali sinyal yang amplitudonya hingga mencapai 13 cm dari permukaan laut.





Gambar 4.26 Hasil sinyal deteksi metode Tidal Remove untuk analisa sinyal tsunami

Sinyal seismik terjadi pada awal terjadinya gempa yaitu pada riak awal sinyal yang amplitudonya terdeteksi melebihi batas threshold yang kemudian diikuti dengan sinyal tsunami setelah mengalami travel time dalam hal ini selama 40 menit, sebelum terjadi sinyal tsunami, amplitudo sinyal seismik sempat mengalami penurunan hingga mendekati keadaan normal dan mengalami peningkatan secara signifikan hingga mendekati amplitudo awal seismik maka sinyal inilah yang disebut sebagai sinyal tsunami. Namun perbedaan karakteristik dari pengamatan pada Gambar 4.26 adalah frekuensi sinyal seismik lebih besar dari frekuensi sinyal tsunami sehingga dapat dibedakan dengan mengamati periode sinyal yang terdeteksi karena sinyal tsunami memiliki periode yang lebih besar dari sinyal seismik. Maka apabila terdapat sinyal tsunami pada sinyal yang terdeteksi maka kemungkinan terjadinya tsunami sangat besar sehingga perlu dilakukan peringatan secepatnya. Maka apabila dilakukan perbandingan antara kedua metode maka dapat diketahui bahwa sinyal hasil deteksi yang dihasilkan kedua metode hampir sama, namun yang membedakan hasil deteksi dari kedua metode adalah berdasarkan efisiensi waktu pengolahan data metode kombinasi filter sinyal digital memiliki waktu yang lebih efisien dibandingkan dengan metode filter tidal remove, karena pada tahapan metodenya hanya mengalami dua tahap pengolahan sedangkan pada metode tidal remove memerlukan tiga tahap pengolahan, namun kedua metode tersebut dapat digunakan untuk metode pendeteksi tsunami (TEWS) yang sedang dikerjakan oleh BPPT.

## **BAB. V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan pembuatan beberapa metode disain dan implementasi software yang digunakan pada Tsunami Early Warning System (TEWS) untuk mempermudah dalam melakukan analisa sinyal pendeteksi tsunami dengan menganalisis data yang diterima dari buoy dengan program Python, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Sistem pengiriman data TEWS melewati beberapa tahapan yaitu :
  - Pengambilan data ketinggian gelombang laut oleh OBU
  - Pengiriman data ke Buoy pada permukaan laut
  - Pengiriman ke satelit telekomunikasi
  - Pengiriman data ke stasiun penerima Read Down Station
  - Analisa pengolahan Data
  - Distribusi data dan sistem peringatan (warning)
2. Digunakan sensor tekanan untuk mengukur ketinggian gelombang laut yaitu Bottom Pressure Recorder (BPR)
3. Sistem pengambilan data menggunakan tiga mode operasi yaitu mode normal, mode tsunami, serta mode drifting
4. Digunakan software Python dengan source code tambahan Matplotlib, Numpy, dan Scipy
5. Gelombang tsunami memiliki panjang gelombang yang sangat besar, periode wind waves < periode gelombang tsunami. (6-60 menit)

6. Pada metode kombinasi filter sinyal digital digunakan kombinasi lowpass filter FIR dan Highpass filter FIR orde 32, dengan periode cutoff 6 menit untuk lowpass filter dan periode cutoff 60 menit untuk highpass filter.
7. Pada metode tidal remove digunakan lowpass filter (FIR) orde 500, dengan periode cutoff 12 jam untuk menghasilkan sinyal tidal murni tanpa pengaruh sinyal tsunami. Kemudian dilakukan desimasi sinyal hasil dari lowpass filter orde 32 dengan sinyal tidal murni untuk melakukan pengamatan serta analisa sinyal tsunami
8. Metode kombinasi filter sinyal digital lebih efisien terhadap waktu pengolahan data jika dibandingkan dengan metode filter tidal remove data namun keduanya dapat mendeteksi sinyal serta membedakan sinyal seismik dengan sinyal tsunami, sehingga dapat digunakan untuk metode pendeteksi tsunami.

## 5.2 Saran

Berdasarkan pengembangan program Tsunami Early Warning System (TEWS) yang telah dibuat pada saat ini masih memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah sistem pengolahan data seperti halnya pada tugas akhir ini, masih banyak yang harus dilakukan dan dilengkapi kekurangannya antara lain :

1. Menambahkan fitur DSS (Decision Support System) seperti GIS (Graphical Interface System), wind speed, FFT (Fast Fourier Transform), invers FFT, dan memperbaiki fitur database MySQL
2. Menggunakan filter high precision untuk meningkatkan akurasi terhadap sinyal hasil deteksi, karena sinyal yang dihasilkan memiliki frekuensi yang sangat rendah
3. Melakukan perbandingan metode sistem analisa terhadap filter IIR untuk mengetahui hasil deteksi sinyal yang lebih baik antara filter FIR dengan IIR , dan mengetahui respon frekuensi untuk filter IIR

## DAFTAR ACUAN

- [1] arkeologi.infogoe.com/deteksi\_tsunami\_buatan\_bppt\_dipasang\_di\_ntt - 48k –
- [2] apress,.beginning.python.from.novice.to.professional.(2005)
- [3] <http://disaster.elvini.net/tsunami.cgi>
- [4] <http://id.wikipedia.org/wiki/Tsunami>
- [5] <http://portal.bppt.go.id/berita/index.php?id=464>
- [6] <http://idbc.bppt.go.id/>
- [7] <http://www.python.org/>
- [8] <http://www.bmg.go.id/data.bmg?Jenis=Teks&IDS=8704394716716499700>
- [9] [http://id.wikipedia.org/wiki/Pasang\\_laut](http://id.wikipedia.org/wiki/Pasang_laut)
- [10] <http://elka.brawijaya.ac.id/praktikum/analog/analog.php?page=3>
- [11] [http://en.wikipedia.org/wiki/Decision\\_support\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_system)
- [12] <http://wahyuancol.wordpress.com/2008/12/10/sistem-bumi-bulan/>
- [13] <http://portal.bppt.go.id/berita/index.php?id=420>
- [14] <http://python-forum.org/pythonforum/viewtopic.php>
- [15] intro\_tsunamter\_2jul08 v1 oleh Wahyu W. Pandoe
- [16] lecturer.eepis-its.edu/~tribudi/LN\_DSP/
- [17] nctr.pmel.noaa.gov/Dart/gauge.html
- [18] presentasi\_RDS\_juli\_2008 oleh Purwoadi
- [19] presentasi pengelolaan data buoy oleh Dr. Dwi Handoko
- [20] [svn.scipy.org/svn/scipy/tags/v0\\_2\\_0/tutorial/tutorial.pdf](http://svn.scipy.org/svn/scipy/tags/v0_2_0/tutorial/tutorial.pdf)
- [21] [www.frequencydevices.com/guide/DgtlFltrDsgnGd.pdf](http://www.frequencydevices.com/guide/DgtlFltrDsgnGd.pdf)



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1

Contoh data tsunami bengkulu pada 12 September 2007

<b>th bl tg jm mt dt</b>	<b>sea level (m)</b>
2007 9 12 18 9 27	2054.495
2007 9 12 18 9 42	2054.699063
2007 9 12 18 9 57	2054.284063
2007 9 12 18 10 12	2054.995
2007 9 12 18 10 27	2055.142031
2007 9 12 18 10 42	2055.914063
2007 9 12 18 10 57	2053.945938
2007 9 12 18 11 12	2055.357969
2007 9 12 18 11 27	2053.762969
2007 9 12 18 11 42	2053.89
2007 9 12 18 11 57	2053.797969
2007 9 12 18 12 12	2055.610938
2007 9 12 18 12 27	2053.334063
2007 9 12 18 12 42	2055.149063
2007 9 12 18 12 57	2055.45
2007 9 12 18 13 12	2055.357969
2007 9 12 18 13 27	2054.472969
2007 9 12 18 13 42	2051.984063
2007 9 12 18 13 57	2053.192969
2007 9 12 18 14 12	2056.877031
2007 9 12 18 14 27	2054.825
2007 9 12 18 14 42	2054.614063
2007 9 12 18 14 57	2055.604063
2007 9 12 18 15 12	2055.695938

## LAMPIRAN 2

## Program metode kombinasi filter sinyal digital

```

=====
# Program Combination Filter Method
=====
# Import Module source code
from __future__ import division
from pylab import figure, plot, loadtxt, grid, title, ylabel, xlabel, show
from matplotlib.dates import DateFormatter
import datetime
from numpy import zeros, mean
from scipy import signal
# Initalisasi Font
font = {'fontname' : 'Courier',
        'color' : 'r',
        'fontweight' : 'bold',
        'fontsize' : 12}
#-----
# Load Data
#-----
a=loadtxt('data_log.txt')
th=a[:,0];bl=a[:,1];tg=a[:,2];jm=a[:,3];mn=a[:,4];dt=a[:,5]
x = [datetime.datetime(i,i2,i3,i4,i5,i6) for i,i2,i3,i4,i5,i6 in zip(th,bl,tg,jm,mn,dt)]
y=a[:,9]
l = mean(y) #Average sea level
#-----
# Lowpass Filter
#-----
fs = 0.5*(1/15) #Sampling Period = 15 Second
N = 32 #Orde
fc = 1/360 #Cutoff Period = 6 minutes
Wc = fc/fs
b = signal.firwin(N,Wc) #Koefisien Filter
S = signal.convolve(y,b) #Convolution Method

#Correction Filter
Y = zeros ((len(x),1))
for i in range (0, len(x)):

```

```

Y[i]=S[i+(0.5*N)]
for i in range(0,N):
    if Y[i]>1+2:
        Y[i]=y[i]
    if Y[i]<-1-2:
        Y[i]=y[i]
for i in range((len(x)-N),len(x)):
    if Y[i]>1+2:
        Y[i]=y[i]
    if Y[i]<-1-2:
        Y[i]=y[i]
#-----
#   Highpass Filter
#-----
fs1 = 0.5*(1/15) #Sampling Period = 15 Second
N1 = 32         #Orde
fc1 = 1/3600   #Cutoff Period = 60 minutes
Wc1 = fc1/fs1
b1 = signal.firwin(N1,Wc1) #Koefisien Filter
b2 = zeros((len(b1),1))
for i in range (0,len(b1)):
    b2[i]=b1[i]
S1 = signal.convolve(Y,b2) #Convolution Method

#Correction Filter
Y1 = zeros ((len(x),1))
for i in range (0, len(x)):
    Y1[i]=S1[i+(0.5*N1)]
for i in range(0,N):
    if Y1[i]>1+2:
        Y1[i]=y[i]
    if Y1[i]<-1-2:
        Y1[i]=y[i]
for i in range((len(x)-N),len(x)):
    if Y1[i]>1+2:
        Y1[i]=y[i]
    if Y1[i]<-1-2:
        Y1[i]=y[i]
Y2 = zeros ((len(x),1))

```

```

for i in range(0, len(x)):
    Y2[i]=Y[i]-Y1[i]
# Scale of x axis
g = zeros((len(x),1))
for i in range(0,len(x)):
    if Y2[i]>0.03:      #Threshold Tsunami Signal
        g[i] = i
    if Y2[i]<-0.03:
        g[i] = i
g1 = g[g.nonzero()]
g2 = int(g1[0])

#Format Dates
formatter = DateFormatter('%d/%m')
formatter1 = DateFormatter('%d')
formatter2 = DateFormatter('%H:%M:%S')
#-----
#      Plot Data
#-----
fig1 = figure(1)
ax1= fig1.add_subplot(311,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(1-2,1+2), autoscale_on=False);grid(True)
title('Combination Filter Method', font, fontsize=22)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax1.plot(x,y)
ax1.xaxis.set_major_formatter(formatter)
ax2= fig1.add_subplot(312,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(1-2,1+2), autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax2.plot(x,Y)
ax2.xaxis.set_major_formatter(formatter)
ax3=fig1.add_subplot(313,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(-0.13,0.13),
autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax3.plot(x,Y2)
ax3.xaxis.set_major_formatter(formatter)
xlabel('D a t e s ( 2 0 0 7 )', font)

fig2 = figure(2)
ax4=fig2.add_subplot(311,xlim=(x[g2-200],x[g2+1300]),ylim=(1-2,1+2),
autoscale_on=False);grid(True)

```

```
title('Combination Filter Method', font, fontsize=22)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax4.plot(x,y)
ax4.xaxis.set_major_formatter(formatter2)
ax5=fig2.add_subplot(312,xlim=(x[g2-200],x[g2+1300]),ylim=(1-2,1+2),
autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax5.plot(x,Y)
ax5.xaxis.set_major_formatter(formatter2)
ax6=fig2.add_subplot(313,xlim=(x[g2-200],x[g2+1300]),ylim=(-0.13,0.13),
autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax6.plot(x,Y2)
ax6.xaxis.set_major_formatter(formatter2)
xlabel('H o u r s 12 Sept 2007 ( W I B )', font)

fig3 = figure(3)
ax7=fig3.add_subplot(211,xlim=(x[g2-100],x[g2+300]),ylim=(-0.13,0.13),
autoscale_on=False);grid(True)
title('Result Combination Filter Method', font, fontsize=22)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax7.plot(x,Y2)
ax7.xaxis.set_major_formatter(formatter2)
xlabel('H o u r s 12 Sept 2007 ( W I B )', font)
show()
```

## LAMPIRAN 3

## Program metode tidal remove sinyal

```

#=====
# Program Tidal Remove Method
#=====
# Import Module Source Code
from __future__ import division
from pylab import figure, plot, loadtxt, grid, title, ylabel, xlabel, show, axes, Button
from matplotlib.dates import DateFormatter
import datetime
from numpy import zeros, mean, log10
from scipy import signal

# Initalisasi Font
font = {'fontname' : 'Courier',
        'color' : 'r',
        'fontweight' : 'bold',
        'fontsize' : 12}

#-----
# Load Data
#-----
a=loadtxt('data_log.txt')
th=a[:,0];bl=a[:,1];tg=a[:,2];jm=a[:,3];mn=a[:,4];dt=a[:,5]
x = [datetime.datetime(i,i2,i3,i4,i5,i6) for i,i2,i3,i4,i5,i6 in zip(th,bl,tg,jm,mn,dt)]
y = a[:,9]
l = mean(y) #Average sea level
#-----
# Lowpass Filter
#-----
Ts = 15 #Sampling Period = 15 Second
Tc = 360 #Cutoff Period = 6 minutes
N = 32 #Orde
fs = 0.5*(1/Ts)
fc = 1/(Tc)
Wc = fc/fs
b = signal.firwin(N,Wc) #Koefisien Filter
[w,h] = signal.freqz(b)
A = 20*log10(abs(h)) #Magnitude Respon frequency

```

```

S = signal.convolve(y,b) #Convolution Method

#Correction Filter
Y = zeros((len(x),1))
for i in range(0,len(x)):
    Y[i]=S[i+(0.5*N)]
for i in range(0,N):
    if Y[i]>1+2:
        Y[i]=y[i]
    if Y[i]<1-2:
        Y[i]=y[i]
for i in range((len(x)-N),len(x)):
    if Y[i]>1+2:
        Y[i]=y[i]
    if Y[i]<1-2:
        Y[i]=y[i]

#Respon Frequency Lowpass Filter
class cf:
    def lp(self, event):
        fn = linspace(0,1,len(A)) #Frekuensi Ternormalisasi
        figure(2)
        subplot(111).grid(True)
        plot(fn,A)
        title('Respon Filter', font, fontsize=22)
        ylabel('Magnitude(dB)', font)
        xlabel('Normalitation Frequency(pi*rad/sample)', font)

#-----
# Method Tidal Removed
#-----

Ts2 = 15 #Sampling Period = 15 detik
Tc2 = 3600*12 #Cutoff Period = 12 hours
N2 = 500 #Orde
fs2 = 0.5*(1/Ts2)
fc2 = 1/(Tc2)
Wc2 = fc2/fs2
b2 = signal.firwin(N2,Wc2) #Koefisien Filter
S2 = signal.convolve(y,b2) #Convolution Method

# Correction Filter

```



```

Y2 = zeros((len(x),1))
for i in range(0,len(x)):
    Y2[i]=S2[i+(0.5*N2)]
for i in range(0,N2):
    if Y2[i]>1+0.1:
        Y2[i]=y[i]
    if Y2[i]<-1-0.1:
        Y2[i]=y[i]
for i in range((len(x)-N2),len(x)):
    if Y2[i]>1+0.1:
        Y2[i]=y[i]
    if Y2[i]<-1-0.1:
        Y2[i]=y[i]
#-----
#   Disimasi Signal Tidal
#-----
Y3 = zeros((len(x),1))
for i in range(0,len(x)):
    Y3[i]=Y[i]-Y2[i]
# Scale of x axis
g = zeros((len(x),1))
for i in range(0,len(x)):
    if Y3[i]>0.03:   #Threshold Tsunami Signal
        g[i] = i
    if Y3[i]<-0.03:
        g[i] = i
g1 = g[g.nonzero()]
g2 = int(g1[0])
#Format Dates
formatter = DateFormatter('%d/%m')
formatter1 = DateFormatter('%d')
formatter2 = DateFormatter('%H:%M:%S')

#-----
#   Plot Data
#-----
fig1 = figure(1)
ax = fig1.add_subplot(311,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(1-2,1+2), autoscale_on=False);grid(True)

```

```

title('Tidal Remove Method', font, fontsize=22)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax.plot(x,y)
ax.xaxis.set_major_formatter(formatter)
ax1=fig1.add_subplot(312,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(l-2,l+2), autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax1.plot(x,Y)
ax1.xaxis.set_major_formatter(formatter)
ax2=fig1.add_subplot(313,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(l-2,l+2), autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax2.plot(x,Y2, 'r')
ax2.xaxis.set_major_formatter(formatter)
xlabel('D a t e s ( 2 0 0 7 )', font)

callback = cf()
axlp = axes([0.905, 0.465, 0.079, 0.070])
blp= Button(axlp, 'freq>>')
blp.on_clicked(callback.lp)

fig2 = figure(3)
ax3=fig2.add_subplot(211,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(l-2,l+2), autoscale_on=False);grid(True)
title('Tidal Remove Method', font, fontsize=22)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax3.plot(x,Y)
ax3.plot(x,Y2, 'r-')
ax3.xaxis.set_major_formatter(formatter)
ax4=fig2.add_subplot(212,xlim=(x[0],x[len(x)-1]),ylim=(-0.3,0.3),
autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Residual Tide(m)', font)
ax4.plot(x,Y3)
ax4.xaxis.set_major_formatter(formatter)
xlabel('D a t e s ( 2 0 0 7 )', font)

fig3 = figure(4)
ax5=fig3.add_subplot(211,xlim=(x[g2-5000],x[g2+20000]),ylim=(l-2,l+2),
autoscale_on=False);grid(True)
title('Tidal Remove Method', font, fontsize=22)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax5.plot(x,Y)

```

```

ax5.plot(x,Y2, 'r-')
ax5.xaxis.set_major_formatter(formatter1)
ax6=fig3.add_subplot(212,xlim=(x[g2-5000],x[g2+20000]),ylim=(-0.3,0.3),
autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Residual Tide(m)', font)
ax6.plot(x,Y3)
ax6.xaxis.set_major_formatter(formatter1)
xlabel('D a t e s ( S e p t 2 0 0 7 )', font)

fig4 = figure(5)
ax7=fig4.add_subplot(211,xlim=(x[g2-100],x[g2+1300]),ylim=(1-2,1+2),
autoscale_on=False);grid(True)
title('Tidal Remove Method', font, fontsize=22)
ylabel('Sea level(m)', font)
ax7.plot(x,Y)
ax7.plot(x,Y2, 'r-')
ax7.xaxis.set_major_formatter(formatter2)
ax8=fig4.add_subplot(212,xlim=(x[g2-100],x[g2+1300]),ylim=(-0.3,0.3),
autoscale_on=False);grid(True)
ylabel('Residual Tide(m)', font)
ax8.plot(x,Y3)
ax8.xaxis.set_major_formatter(formatter2)
xlabel('H o u r s ( 1 2 S e p t 2 0 0 7 )', font)

fig5 = figure(6)
ax9=fig5.add_subplot(211,xlim=(x[g2-100],x[g2+1100]),ylim=(-0.3,0.3),
autoscale_on=False);grid(True)
title('Result Tidal Remove Method', font, fontsize=22)
ylabel('Residual Tide(m)', font)
ax9.plot(x,Y3)
ax9.xaxis.set_major_formatter(formatter2)
xlabel('H o u r s ( 1 2 S e p t 2 0 0 7 )', font)
show()

```