

150000

4000009010

HADIAH



PEMBENTUKAN TSUNAMI DAN KAITANNYA
DENGAN MATEMATIK

VICKNESWARY A/P BATHUMALAI

DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH
SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PROGRAM MATEMATIK DENGAN EKONOMI
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

MAC 2006

PERPUSTAKAAN UMS



1400009010



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

UDUL: PEMBENTUKAN TSUNAMI DAN KAITANNYA DENGAN
MATEMATIK

IJAZAH: SARJANA MUDA SAINS MATEMATIK DENGAN
EKONOMI

AYA VICKNESWARY A/P BATHUMALAI SESI PENGAJIAN: 2003
(HURUF BESAR)

Engku membenarkan tesis (LPSM/Sarjana/Doktor Falsafah) ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. Sila tandakan (/)

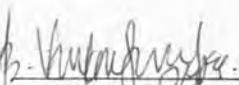
SULIT

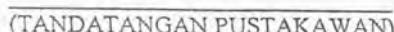
(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

Disahkan Oleh


(TANDATANGAN PENULIS)


(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: 8A, Staff Quarters,
Jalan Lintang Palm Oil Mill,
19800 Serdang, Kedah Darul Aman

CIK. KHADIZAH GHAZALI

Nama Penyelia

Tarikh: 27/4/06

Tarikh: 27/4/06

CATATAN: *Potong yang tidak berkenaan.

**Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa /organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

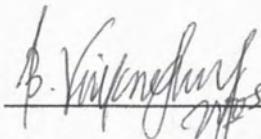
@Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan atau disertai bagi pengajian secara kerja kursus dan Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

20 Mac 2006


VICKNESWARY A/P BATHUMALAI

HS2003-3125



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGESAHAN PEMERIKSA**DIPERAKUI OLEH****TANDATANGAN****1. PENYELIA**

(CIK. KHADIZAH GHAZALI)

**2. PENYELIA BERSAMA**

(PROF. MADYA. DR. BABA MUSTA)

**3. PEMERIKSA 1**

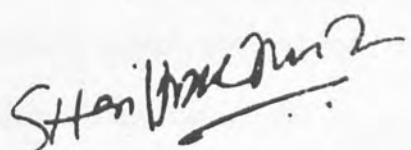
(EN. RAJASEGERAN RAMASAMY)

**4. PEMERIKSA 2**

(DR. JUMAT SULAIMAN)

**5. DEKAN**

(SUPT. PROF. MADYA DR. SHARIFF A.K. OMANG)



PENGHARGAAN

Dalam kesempatan ini, saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih kepada penyelia saya, Cik. Khadizah Ghazali dan juga kepada penyelia bersama saya, Prof. Madya. Dr. Baba Musta yang telah banyak mengorbankan masa mereka untuk memberi tunjuk ajar, nasihat dan sokongan kepada saya sepanjang kajian ini dijalankan.

Tidak lupa juga saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada para pensyarah terutamanya kepada En. Rajasegeran yang telah banyak membantu saya dalam menjayakan kajian ini. Tanpa bantuan mereka, tidak mungkin kajian ini dapat disiapkan dalam tempoh yang ditetapkan. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada rakan-rakan saya yang sentiasa bersama saya dan memberi sokongan semasa saya menghadapi sebarang masalah dalam tempoh kajian ini dijalankan.

Saya juga ingin melafazkan penghargaan kepada ahli keluarga saya terutamanya ibu bapa saya yang sentiasa yakin terhadap segala yang saya lakukan dan telah memberi sokongan mental serta kewangan sehingga lah dapat saya menyiapkan projek ini. Akhir sekali saya ingin mengucapkan terima kasih kepada mereka yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung dalam menjayakan projek ini. Semoga kajian ini dapat memberi manfaat dan maklumat baru kepada semua.

ABSTRAK

Kajian ini dilakukan untuk menganalisis pembentukan tsunami secara pendekatan bermatematik. Gelombang tsunami boleh terbentuk disebabkan kejadian gempa bumi di dasar laut, letusan gunung berapi, tanah runtuh di dalam laut, hentaman meteorit, serta perubahan luar biasa dalam tekanan atmosfera ke atas laut. Dalam kajian ini, pembentukan gelombang tsunami disebabkan gangguan atmosfera telah dibincangkan secara terperinci. Objektif utama kajian ini adalah untuk menerbitkan semula pengiraan matematik bagi model pembentukan gelombang tsunami yang disebabkan oleh gangguan atmosfera seperti yang telah dikemukakan oleh Pelinovsky *et al.* (2001). Penyelesaian analitik yang terperinci telah dibincangkan untuk model air cetek bagi pembentukan tsunami disebabkan gangguan atmosfera dan pembentukan gelombang panjang di lautan dengan kedalaman yang tetap. Dalam penerbitan semula model persamaan bagi gelombang tsunami di atas dasar yang tidak rata, diandaikan bahawa bendalirnya adalah sempurna di atas pemukaan bumi yang tidak berputar. Didapati bahawa sifat pembentukan gelombang tsunami dapat dijelaskan dengan baik oleh modal gelombang air cetek.

MATHEMATICAL CALCULATION OF TSUNAMI WAVE

ABSTRACT

In this study, the generation of tsunami wave was analysed using the mathematical approach. Tsunami wave can be generated by underwater earthquakes, submarine landslides, meteorit impact, volcano eruptions and rapid anomalous changes in the atmospheric pressure over the sea. In the present paper, tsunami wave generation by atmospheric disturbance was discussed in detail. The main objective of this paper is to rederive the mathematical calculation of the model of tsunami wave generation as stated by Pelinovsky *et al.* (2001). The analytical solutions for the shallow water model of tsunami generation by atmospheric disturbance and the long wave generation on a sea of constant depth were discussed in detail. In rederiving the model of tsunami generation over an uneven bottom, it is assumed that the fluid is ideal on the non-rotated earth. It is found that the shallow water model describes well the properties of the tsunami generation.

KANDUNGAN

| | Muka Surat |
|--|------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PENGAKUAN | ii |
| PENGESAHAN | iii |
| PENGHARGAAN | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| SENARAI KANDUNGAN | vii |
| SENARAI JADUAL | ix |
| SENARAI RAJAH | x |
| SENARAI SIMBOL | xi |
| BAB 1 PENDAHULUAN | |
| 1.1 PENGENALAN | 1 |
| 1.2 PEMBENTUKAN GELOMBANG TSUNAMI | 2 |
| 1.3 PUNCA-PUNCA BERLAKUNYA TSUNAMI | 4 |
| 1.3.1 Gempa Bumi | 4 |
| 1.3.2 Gangguan Atmosfera | 7 |
| 1.3.3 Letusan Gunung Berapi | 8 |
| 1.3.4 Tanah Runtuh dalam Lautan | 9 |
| 1.3.5 Hentaman Meteorit | 10 |
| 1.4 ALAT PENGUKURAN TSUNAMI | 12 |
| 1.5 OBJEKTIF KAJIAN | 14 |
| 1.6 SKOP KAJIAN | 14 |
| BAB 2 ULASAN LITERATUR | |
| 2.1 PENGENALAN | 15 |
| 2.2 PEMBENTUKAN TSUNAMI DISEBABKAN GEMPA BUMI | 16 |
| 2.3 PEMBENTUKAN TSUNAMI DISEBABKAN HENTAMAN METEORIT | 18 |
| 2.4 PEMBENTUKAN TSUNAMI DISEBABKAN GANGGUAN ATMOSFERA | 22 |



| | | |
|--------------|--|----|
| 2.5 | PEMBENTUKAN TSUNAMI DISEBABKAN TANAH RUNTUH DALAM LAUTAN | 23 |
| 2.6 | MODEL MATEMATIK BAGI PEMBENTUKAN GELOMBANG TSUNAMI | 24 |
| BAB 3 | METODOLOGI | |
| 3.1 | PENGENALAN | 31 |
| 3.1.1 | Persamaan Air Cetek Asas | 31 |
| 3.1.2 | Persamaan yang Dikamirkan pada Arah Menegak | 34 |
| 3.1.3 | Syarat Sempadan | 36 |
| 3.2 | PERBINCANGAN MENGENAI MODEL YANG AKAN DITERBITKAN SEMULA | 37 |
| 3.2.1 | Model Gelombang Air Cetek bagi Pembentukan Tsunami disebabkan oleh Gangguan Atmosfera | 38 |
| 3.2.2 | Pembentukan Gelombang Panjang di Lautan dengan Kedalaman yang Tetap | 39 |
| BAB 4 | PENYELESAIAN PERSAMAAN | |
| 4.1 | PENGENALAN | 41 |
| 4.1.1 | Gelombang Air Cetek bagi Pembentukan Tsunami disebabkan oleh Gangguan Atmosfera | 41 |
| 4.1.2 | Pembentukan Gelombang Panjang di Lautan dengan Kedalaman yang Tetap | 46 |
| BAB 5 | PERBINCANGAN, KESIMPULAN DAN CADANGAN | |
| 5.1 | PENGENALAN | 56 |
| 5.2 | PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN | 56 |
| 5.3 | CADANGAN | 59 |
| | RUJUKAN | 61 |
| | LAMPIRAN | 64 |



SENARAI JADUAL

| No. Jadual | Muka Surat |
|-------------------|------------|
| 1.1 Skala Richter | 13 |



SENARAI RAJAH

| No. Rajah | Muka Surat |
|---|------------|
| 1.1 Tsunami pada 26 Disember 2004 | 3 |
| 1.2 Pembentukan tsunami disebabkan kepinggan tektonik yang tersesar | 5 |
| 1.3 Tenaga yang dihasilkan oleh gegaran di epipusat dipindahkan dalam jasad air lalu membentuk gelombang bertenaga tinggi | 6 |
| 1.4 Hentaman meteorit pada sudut 45° di lautan dengan kedalaman 5 km | 12 |
| 3.1 Masalah geometri bagi pembentukan gelombang tsunami | 38 |
| 4.1 Keluk resonans bagi pembentukan gelombang tsunami tidak linear disebabkan oleh gangguan atmosfera | 55 |



SENARAI SIMBOL

| | |
|--------------------|---|
| c | Laju |
| (x, y) | Koordinat Cartesen pada arah melintang |
| z | Koordinat Cartesen pada arah mencancang |
| L | Panjang gelombang |
| t | Masa/tempoh |
| g | Pecutan graviti |
| h | Kedalaman air |
| ς | Variasi peringkat air |
| D | Jumlah kedalaman air |
| ρ | Ketumpatan |
| ∇ | Operator pembezaan |
| p | Tekanan |
| ψ | Rangkap arus |
| η | Kenaikan aras air |
| θ | Sudut |
| $\mathbf{u}(u, v)$ | Halaju kompenan mendatar (x,y) |
| w | Halaju komponen mencancang (z) |
| p_{atm} | Tekanan atmosfera |
| V | Laju gelombang |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Tsunami merupakan satu siri beberapa buah ombak gergasi yang terbentuk apabila terdapat gangguan yang mampu memindahkan jasad air yang banyak seperti air laut atau tasik daripada kedudukan keseimbangannya. Antara faktor-faktor yang menyebabkan berlakunya tsunami adalah jatuhnya meteorit, tanah runtuh di dalam lautan, letusan gunung berapi, dan gempa bumi pada dasar laut dan perubahan luar biasa dalam tekanan atmosfera ke atas laut (Pelinovsky *et al.*, 2001).

Tsunami berasal daripada perkataan Jepun yang bermaksud ombak (nami) pelabuhan (tsu). Tsunami juga turut dikenali sebagai gelombang pasang surut walaupun pembentukannya tidak berkaitan dengan aktiviti pasang surut. Tsunami adalah dijangka berlaku jika magnitud gempa bumi adalah melebihi 6.5 skala Richter (Iida, 1970). Ombak gergasi tsunami boleh bergerak dengan sangat pantas sehingga seratus atau seribu kilometer dari pusat gempa sebelum menerobos pesisiran pantai (Titov & Gonzalez, 1997). Oleh sebab kehadirannya yang berlaku secara tiba-tiba dan bersaiz besar, maka ia berupaya memusnahkan apa sahaja yang dilanggarnya. Kawasan pantai merupakan kawasan yang paling banyak terjejas akibat tsunami.

Sejak tahun 1850, tsunami dianggarkan telah menyebabkan kehilangan lebih 420,000 nyawa dan kemaslahannya yang memecah beribu-ribu juta ringgit pada kawasan daratan dan penempatan. Sebagai contoh, tsunami yang berlaku pada 26 Disember 2004 di Sumatera akibat daripada gempa bumi yang berukuran 8.9 Ritcher telah meragut lebih 125000 nyawa manusia di beberapa buah negara di sekitarnya (Habibah, 2005).

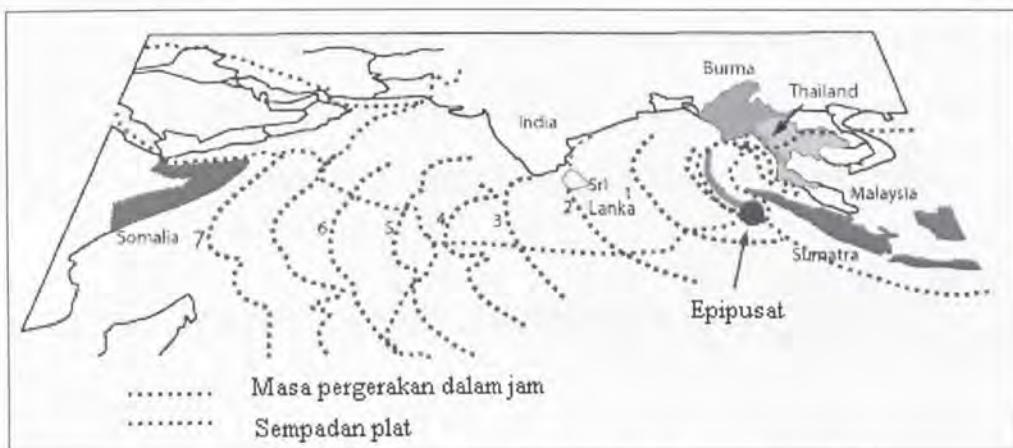
1.2 PEMBENTUKAN GELOMBANG TSUNAMI

Pembentukan gelombang tsunami adalah berbeza dengan ombak biasa yang terhasil apabila angin bertiup dan bergeser dengan molekul air di permukaan air laut. Geseran ini akan menghasilkan riak kecil. Apabila geseran berterusan, riak tersebut menjadi besar lalu membentuk gelombang. Gelombang ombak biasanya mempunyai amplitud setinggi 3 m dan kelajuannya 30 km/j. Jarak gelombangnya pula dianggarkan sepanjang 90 m. Gelombang yang terhasil daripada angin ini hanya berputar di permukaan air sahaja. Ia tidak memberi kesan pada air laut yang berada lebih dalam daripada jarak gelombang ombak. Oleh itu, apabila berlaku ribut taufan dan gelombang besar di permukaan lautan, air laut yang berada lebih dalam tetap berada dalam keadaan yang tenang (Habibah, 2005).

Gelombang tsunami pula berlaku apabila terdapat gangguan yang mampu memindahkan jasad air yang banyak daripada kedudukan keseimbangannya. Ini berpunca daripada satu titik di tengah laut yang dikenali sebagai epibusat dan gelombangnya bergerak keluar menjauhi titik tersebut. Riak tsunami tidak begitu dirasai di epibusat kerana amplitudnya yang sangat kecil iaitu lebih kurang 0.48 m.



Jarak gelombangnya pula sangat panjang iaitu 300 hingga 500 m. Riak membentuk gelombang ini bergerak selaju 950 km/j ke arah pantai. Kelajuan tersebut boleh dikatakan mampu menandingi kepentasan sebuah jet (Habibah, 2005). Misalnya tsunami yang berlaku pada 26 Disember 2004 telah bergerak dari berhampiran Pulau Sumatera ke timur benua Afrika dalam masa tujuh jam sahaja lihat Rajah 1.1 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2005).



Rajah 1.1 Tsunami pada 26 Disember 2004

Terdapat perbezaan gelombang pada lautan dalam dan lautan cetek. Di lautan dalam, ombak tersebar secara berjejari dari puncanya dan bergerak dengan jarak gelombang lebih seratus kilometer. Namun begitu, gelombang tsunami hanya dapat dilihat seperti alunan ombak lembut di tengah laut kerana ketinggiannya kurang daripada satu meter (Nik Khartina, 2005). Apabila ia sampai ke kawasan pantai yang cetek, akan wujud perbezaan kedalaman dasar laut. Gelombang akan dirasai pada dasar laut apabila tinggi kedalaman menjadi setengah daripada panjang gelombang. Dengan wujudnya interaksi antara gelombang dengan dasar laut, kelajuan gelombang akan menurun dan amplitudnya pula akan meningkat. Maka gelombang tsunami akan

bergerak perlahan dengan menurunnya jarak di antara gelombang-gelombang tersebut lalu terhimpit oleh siri ombak yang lain dengan kuantiti tenaga yang sama dan menjulung naik membentuk ombak yang tinggi (Beikae, 2001).

Selepas gelombang pertama, gelombang seterusnya boleh sampai ke pesisiran pantai dalam tempoh masa 20 minit. Ombak boleh mencapai ketinggian maksimum hingga nisbah 1:7 bagi tinggi gelombang kepada panjang gelombang dan akan pecah apabila mencapai nisbah 3:1 bagi tinggi gelombang kepada air laut (Garrison, 2002). Sebelum gelombang tsunami menghentam daratan, air laut di pelabuhan dan pesisiran pantai akan kelihatan ditarik ke tengah laut. Ombak tsunami ini mempunyai tenaga pemusnah yang amat dahsyat apabila sampai ke daratan (Habibah, 2005).

1.3 PUNCA-PUNCA BERLAKUNYA TSUNAMI

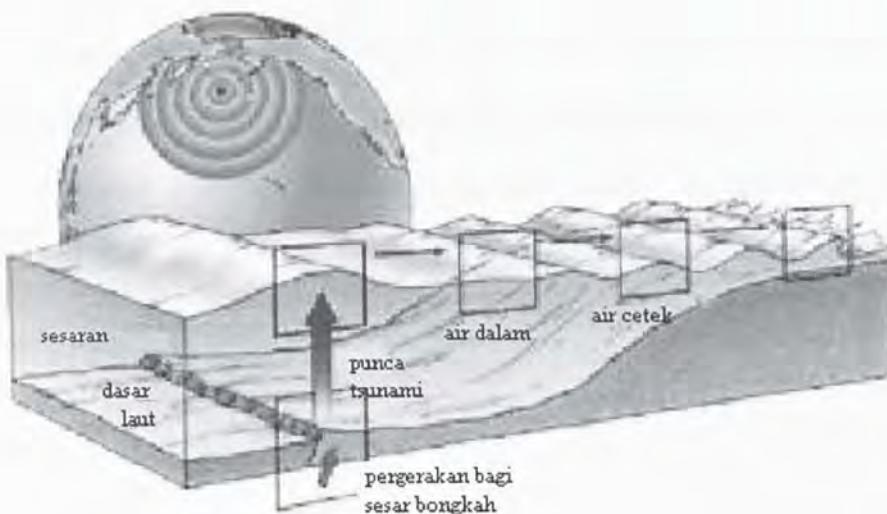
Kebanyakan tsunami yang berlaku adalah disebabkan gempa bumi, tetapi ia juga boleh berlaku disebabkan oleh gangguan atmosfera, letusan gunung berapi, jatuhnya meteorit dan tanah runtuh.

1.3.1 Gempa Bumi

Gempa bumi biasanya dirujuk sebagai getaran atau gegaran permukaan bumi. Ia disebabkan oleh pergerakan plat tektonik. Gempa bumi yang berpusat di lautan adalah faktor utama yang menyebabkan berlakunya tsunami di seluruh dunia, lihat Rajah 1.2. Kejadian tersebut biasanya berlaku di kawasan bertektonik aktif seperti Lingkaran Api Pasifik iaitu Jepun, Kepulauan Aleutian, Hawaii dan Alaska (Habibah, 2005).



Mekanisma asas yang menjana gempa bumi ini adalah disebabkan sesaran tektonik pada dasar laut yang mengganggu keseimbangan air laut (Heitner, 1969). Permukaan bumi sentiasa bergerak dalam pergerakan tektonik dan gempa bumi berlaku disebabkan tekanan melebihi keupayaan bahan bumi menanggungnya.

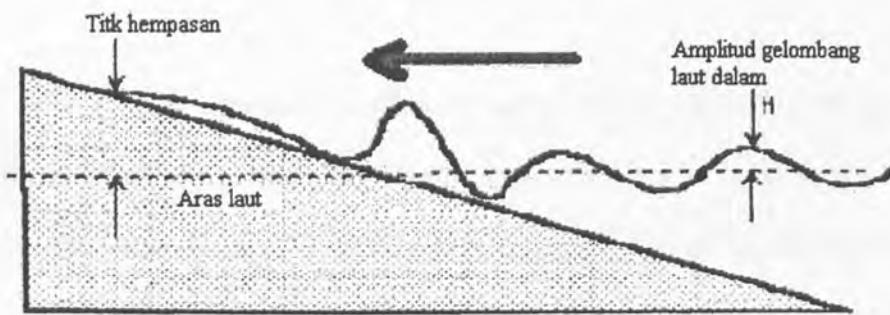


Rajah 1.2 Pembentukan tsunami disebabkan oleh kepingan tektonik yang tersesar

Kecacatan kerak bumi yang disebabkan oleh gempa bumi yang kuat boleh dibahagikan kepada dua jenis. Jenis pertama ialah kacacatan yang berlaku sepenuhnya semasa gegaran bagi kejutan utama dan jenis kedua adalah kecacatan yang berlanjut untuk beberapa jam atau beberapa bulan selepas kejutan utama. Kebanyakan tsunami yang berlaku adalah dikaitkan dengan jenis pertama. Kejutan lepas adalah bersinambungan daripada kejutan utama dan ia terbentuk disebabkan oleh pelepasan tekanan yang terhasil pada kali kedua di kawasan kecacatan kerak bumi sewaktu kejutan utama. Maka, boleh dikatakan bahawa kejutan lepas tidak menghasilkan kecacatan baru pada dasar laut di kawasan di mana kejutan utama berlaku dan ia tidak

kebanyakannya menghasilkan tsunami. Pembentukan tsunami kebanyakannya bergantung pada mekanisma kejadian gempa bumi.

Gempa bumi yang berlaku pada 26 Disember 2004 di Sumatera disebabkan dua plat bumi yang telah bergerak iaitu kepingan tektonik di Lautan Hindi menggelongsor turun ke bawah kepingan tektonik Sumatera sehingga menyebabkannya terangkat naik. Gerakan penyusupan ini berlaku untuk membebaskan tenaga yang terkumpul sejak sekian lama pada zon sesar tertentu. Menurut Nik Mat (2005), tenaga yang terhasil ini akan dipindahkan ke dalam jasad air lalu membentuk gelombang tsunami yang bertenaga tinggi yang mampu bergerak beribu kilometer dan hanya kehilangan sedikit tenaga sebelum sampai daratan lihat Rajah 1.3 (Dewan kosmik, 2005).



Rajah 1.3 Tenaga yang dihasilkan oleh gegaran di epibusat dipindahkan dalam jasad air lalu men bentuk gelombang bertenaga tinggi

1.3.2 Gangguan Atmosfera

Menurut Levin (2005), meteotsunami adalah ayunan intensif gelombang panjang pada aras lautan yang disebabkan oleh gangguan cuaca. Tsunami jenis ini berlaku disebabkan oleh perambatan gelombang atmosfera yang besar berikutan angin ribut yang datang tiba-tiba dengan hujan atau salji, ribut taufan serta siklon yang kuat (rujuk Lampiran A). Selain itu, keadaan resonans bagi pembentukan gelombang panjang atau persamaan bagi halaju gangguan atmosfera dengan halaju bagi gelombang air graviti panjang juga memainkan peranan penting dalam menjana meteotsunami. Daripada kajian yang dilakukan, didapati bahawa perubahan mendadak dalam tekanan atmosfera serta penyebarannya dengan halaju dari 70 km/j hingga 140 km/j boleh menyebabkan pembentukan tsunami. Tinggi gelombang tsunami yang terhasil daripada gangguan atmosfera boleh melebihi 1 m dan tempoh masa perambatannya adalah antara 30-60 minit.

Ayunan bagi aras air secara tiba-tiba dengan amplitud 2 m yang berlaku di teluk Nagasaki adalah disebabkan oleh ayunan tekanan atmosfera yang berlaku dalam tempoh masa 35 minit. Keadaan ini dipanggil dengan nama tempatan Jepun ‘abiki’ yang dipercayai sangat berbahaya. Biasanya, panjang bagi gelombang akustik dengan frekuensi rendah dalam atmosfera adalah sepanjang beberapa kilometer dan kadang-kala boleh sampai sehingga 1000 km. Gelombang sebegini adalah diaktifkan melalui resonans dalam pembentukan gelombang air panjang dan ia boleh menjana tsunami yang boleh merambat pada jarak yang panjang.



1.3.3 Letusan Gunung Berapi

Letusan pulau volkano dan letusan gunung berapi yang berlaku di dasar laut juga mampu menghasilkan gelombang tsunami. Daripada 933 gunung berapi yang aktif di keseluruhan dunia, didapati 195 adalah jenis volkano dalam lautan (Levin, 2005). Kemusnahan sedimen di bahagian cerun benua dan lereng gunung berapi di dasar lautan biasanya masih tidak padat dan belum termampat menjadi batuan. Oleh itu, apabila letusan gunung berapi berlaku ia akan menyebabkan bahan sedimen tersebut hilang keseimbangan lalu menggelongsor dan jatuh ke dasar lautan yang lebih dalam. Bagi saiz runtuhan besar, air di permukaan laut akan ditarik balik ke bawah bersama sedimen. Ini menyebabkan keseimbangan air terganggu. Bagi mencapai keseimbangan, air dari kawasan berhampiran meluru pantas ke bahagian air yang teranjak. Dengan itu, gelombang tsunami terhasil akibat daripada pusaran air yang pantas ini.

Contohnya tsunami yang berlaku disebabkan letusan gunung berapi Krakatau di Indonesia pada 27 Ogos 1883. Dalam peristiwa tersebut, seramai 36,000 orang telah terkorban yang mana kebanyakannya maut disebabkan bencana tsunami (Habibah, 2005). Selain itu, semasa letupan volkano dalam lautan berlaku, ia akan menghasilkan buih-buih gas yang mengandungi wap dan asap pada tekanan yang tinggi di dalam air. Apabila buih-buih gas ini tersebar dan naik ke permukaan air, ia boleh menyebabkan aras laut meningkat. Tenaga yang terkumpul dalam buih-buih gas akan ditukarkan kepada tenaga kinetik dalam air dan ini akan seterusnya menjana gelombang tsunami (Levin, 2005).

1.3.4 Tanah Runtuh dalam Lautan

Tsunami boleh berlaku disebabkan tanah runtuh pada pantai dan dasar laut. Gelombang tsunami yang terbentuk daripada tanah runtuh ini boleh membawa kemusnahan kepada populasi di pesisiran pantai. Proses pembentukan tanah runtuh adalah disebabkan oleh pengumpulan mendakan pada kawasan dasar laut, cerun basin dalam lautan serta delta sungai. Pengumpulan mendakan ini berlaku berikutan dengan proses tektonik, arus sungai, angin, ribut, pasang surut, dan taufan. Mendakan yang terbentuk ini adalah kurang seimbang dan sebarang gangguan kecil seperti gempa bumi mikro, gangguan cuaca, dan pasang surut boleh menyebabkan runtuhan pada badan mendakan yang tidak seimbang itu. Pergerakan tanah runtuh ke arah dasar laut akan membawa kepada kenaikan aras laut (Levin, 2005).

Apabila runtuhan tanah bergerak dengan halaju yang sama dengan halaju bagi gelombang graviti panjang di dalam lautan, maka satu kesamaan akan wujud. Situasi ini akan menghasilkan suatu keadaan resonans bagi penukaran tenaga dari runtuhan tanah ke permukaan gelombang air dan seterusnya akan menyebabkan ketinggian rabung gelombang meningkat. Satu hubungan antara tanah runtuh di dalam lautan dengan pasang surut telah terdedah dan didapati kebanyakan tsunami disebabkan tanah runtuh terbentuk pada waktu pasang surut yang paling rendah.

Dalam kebanyakan kes, tanah runtuh berlaku berikutan dengan gempa bumi dan letusan gunung berapi. Runtuhan boleh terbentuk sepanjang dinding kanyon pada dasar laut apabila digegar oleh gempa bumi atau daripada runtuhan disebabkan letusan gunung berapi. Jika saiz runtuhan adalah besar, air di permukaan laut akan turut

disedut ke bawah bersama bahan sedimen. Ini akan mengganggu keseimbangan air laut lalu membentuk gelombang tsunami. Kebanyakan tsunami yang berlaku sepanjang benua barat dan Amerika Utara adalah dalam cara ini (Renault, 1962). Tanah runtuh yang besar dengan campuran batuan puing dan bongkah ais dengan isipadu $30 \times 10^6 m^3$ telah berlaku di Lituya Bay, Alaska pada 9 Julai 1958. Kejadian ini telah menghasilkan gelombang tsunami dengan ketinggian maksimum dari rabung ke palung sebanyak 60 m. Kebanyakan kawasan pantai Lituya Bay telah diterobos oleh mega tsunami yang terbentuk 30 hingga 200 m dari altitud (Levin, 2005).

1.3.5 Hentaman Meteorit

Apabila jasad kosmik yang mengelilingi bumi dan matahari seperti asteroid atau komet jatuh ke dalam lautan yang terbuka, ia berupaya memindahkan sejumlah isipadu air yang banyak lalu menghasilkan gelombang tsunami. Tsunami yang terbentuk disebabkan jatuh asteroid yang berdiameter antara 200 m hingga 2 km boleh membawa kemusnahan yang serius. Banyak struktur geologi dalam bentuk cincin dan bulatan telah dijumpai di benua ini dan ianya hanya dapat diberi penjelasan dalam 30 dan 40 tahun yang lalu sebagai kesan kawah daripada hentaman jasad dari luar bumi. Bentuk ini dipanggil ‘astrobelama’. Lebih daripada 150 kawah dengan saiznya dari 1.2 km hingga 100 km telah dijumpai di dunia ini.

Saintis percaya bahawa setiap 50 hingga 100 tahun, satu kosmos badan antara 50 hingga 100 m akan jatuh ke bumi. Kebarangkalian berlakunya hentaman meteorit ini pula adalah diberi 2 hingga 3 peratus dalam suatu jangka hidup manusia (Gisler *et al.*, 2003). Berdasarkan kepada pengiraan hidrodinamik, jatuh asteroid dengan

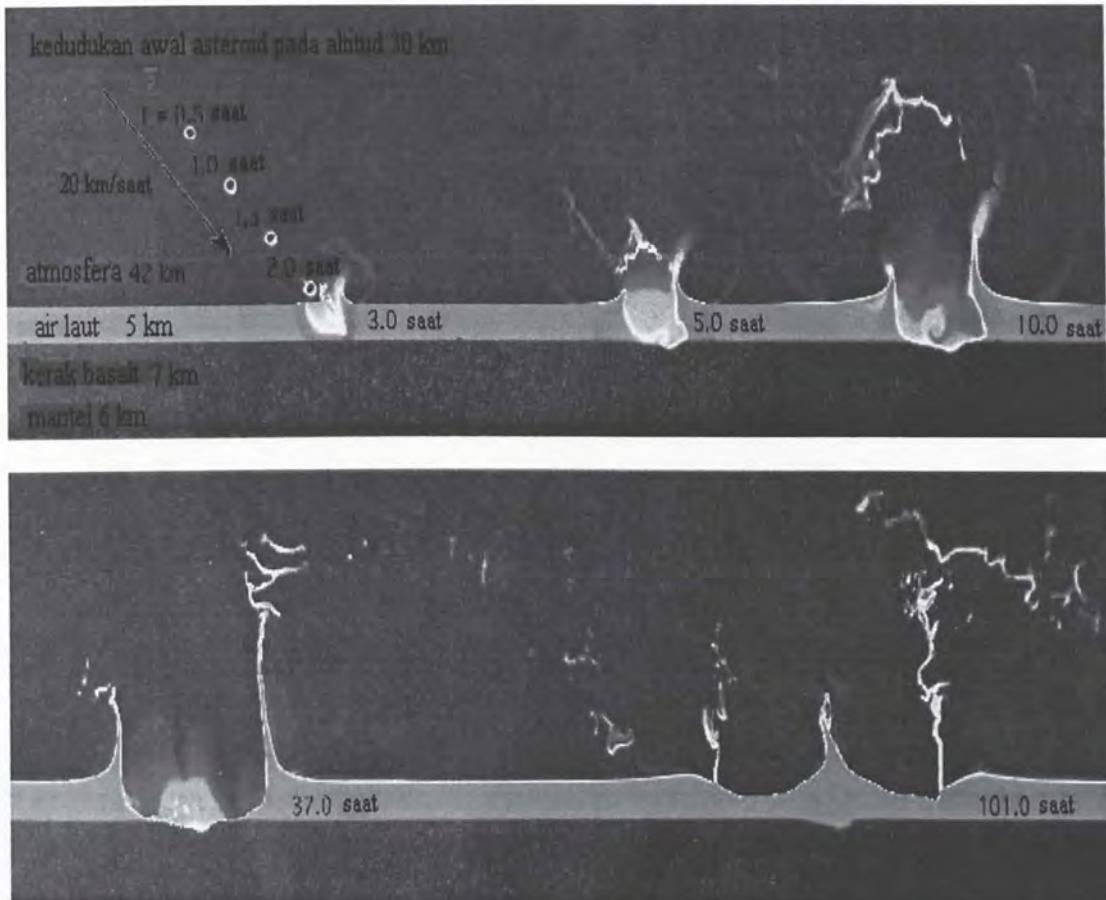
diameter sebanyak 100 m dan berhalaju 20 kms^{-1} ke dalam lautan membawa kepada pembentukan gelombang tsunami dengan ketinggian lebih daripada 8 m dan bergerak 1000 km dari sumbernya. Konsep fizik pada masa kini bagi letusan di dasar laut dan hasil daripada ujian nuklear di Pasifik membolehkan kita untuk menjangka tenaga yang dibebaskan daripada jatuhnya meteorit ke dalam lautan. Tenaga daripada kesan ini adalah hampir sama kepada 10^{18}J atau tenaga bom dengan 1000 megaton (Levin, 2005).

Gas-gas yang terhasil daripada letusan akan membentuk buih di dalam air dengan jejarinya dianggarkan sebanyak 3 km. Oleh kerana meteorit jatuh ke dalam basin laut yang kedalamannya kurang daripada 3 km, maka suatu isipadu air yang banyak akan keluar dari basin. Gelombang permukaan air yang terhasil pada sempadan kawah boleh mencapai ketinggian sebanyak 50 m. Proses pengisian semula kawah dengan air dipercayai mengambil masa dalam beberapa minit dan ini boleh menghasilkan ayunan atas permukaan air bagi tempoh masa yang panjang.

Ujian nuklear di Pasifik semasa projek ‘Baker’ dan ‘Wigwam’ telah menghasilkan gelombang setinggi 28 m dan 1 km dari titik letusan. Daripada jangkaan yang dibuat, didapati bahawa jatuhnya meteorit ke dalam lautan boleh menyebabkan gangguan kuat ke atas permukaan air dalam masa yang panjang. Keadaan ini mampu menghasilkan gelombang tsunami di lautan. Pada tahun 1997, saintis telah mendapat bukti bahawa lebih kurang 2 juta tahun dahulu asteroid yang berdiameter 4 km telah jatuh di lautan Chile. Ini telah mengakibatkan kejadian tsunami yang besar yang telah menerobos sampai ke bahagian selatan Amerika dan



Antartik (Levin, 2005). Contoh hentaman asteroid di lautan adalah seperti dalam Rajah 1.4 (Gisler *et al.*, 2003).



Rajah 1.4 Hentaman asteroid pada sudut 45° di lautan dengan kedalaman 5 km

1.4 ALAT PENGUKURAN TSUNAMI

Tsunami hanya dapat dijangka berlaku daripada kekuatan gempa bumi yang direkodkan dalam seismograf. Peralatan yang biasa digunakan di seluruh dunia untuk mengukur kekuatan gempa bumi adalah skala Richter seperti ditunjukkan dalam Jadual 1.1 (Science and Technology Desk Reference, 1993). Skala Richter dicipta

RUJUKAN

- Abdul Wahab Hj. Othman (ptjr.), 1999. Gempa Bumi. *Dewan Bahasa dan Pustaka*, Kuala Lumpur.
- Beike, M., 2001. A Numerical Technique for Calculation of Tsunami Generation, Propagation, and Inundation of Dry Land. *Metropoliton Water of Southern California*, Los Angeles, USA.
- Choi, B. H., Pelinovsky, E., Kim, K. O., dan Lee, J. S., 2003. Simulation of Trans-oceanic Tsunami Propagation Due to the 1883 Krakatau Volcanic Eruption. *Natural Hazards and Earth System Sciences*
- Garrison, T., 2002. *Oceanography: An Invitation to Marine Science*. Ed. ke-4. Wadsworth Group. Brooks/Cole, USA.
- Gisler, G., Weaver, R., Mader, C., and Gittings, M., 2003. Two and Three Dimensional Simulation of Asteroid Ocean Impacts. *The International Journal of The Tsunami Society*.
- Gorshkov, K. A., Ostrosky, L. A., Papko, V. V., Pelinovsky, E. N., 1974. Electromodeling of Finite Amplitude Water Waves. *Radiophysical Reseach Institut*, Gorky, USSR.
- Greene, H. G., Murai, L. Y., Watts, P., Maher, N. A., Fisher, M. A., Paull, C. E. dan Eicchubl, P., 2006. Submarine Landslide in the Santa Barbara Channel as Potential Tsunami Sourses. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Habibah Hj. Jamil, 2005. Tsunami Bergerak secara Membulat dan Mencapah. *Dewan kosmik*, Mac, 12-13.
- Heitner, K. L., 1969. A Mathematical Calculation of Run-up of Tsunamis. *National Science Foundation*.

- Hills, J. G., dan Goda, P., 1998. Tsunami from Asteroid and Comet Impacts: The vulnerability of Europe. *The International Journal of The Tsunami Society*.
- Iida, K., 1970. *The Generation of Tsunamis and the Focal Mechanism of Earthquakes*. Nagoya University, Nagoya, Japan.
- James, E. B., dan Peffer, M., 1993. *Science and Technology Desk Reference*. Gale Research Inc. Washington D.C, London.
- Kajiura, K., 1974. Source Mechanism of Earthquake and Tsunami Generation. *Earthquake Research Institut*, University of Tokyo, Japan.
- Levin, B. W., 2005. Tsunamis: Causes, Consequences, Prediction, and Responses. *Shirshov Institut of Oceanology, RAS*, Russia, Moscow.
- Mader, C. L., 1998. Asteroid Tsunami Inundation of Japan. *The International Journal of The Tsunami Society* **16**, 11-16.
- Michael, P. P., 1999. Asteroid impacts: The Extra Hazard Due to Tsunami. *The International Journal of The Tsunami Society* **17**, 155-166.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, 2006. *Tsunami*. [http://NOAA/Tsunami/The Tsunami Story.html](http://NOAA/Tsunami/The%20Tsunami%20Story.html)
- Nik Khartina bt. Nik Mat, 2005. Ekplorasikan Tsunami sebagai Sumber Tenaga Baru. *Dewan kosmik*, Mac, 14-15.
- Ostrosky, L. A., dan Pelinovsky, E. N., 1974. Nonlinear Evolution of Tsunami Waves. *Radiophysical Reseach Institut*, Gorky, USSR.
- Pelinovsky, E., Talipova, T., Kurkin, A., dan Kharil, C., 2001. Nonlinear Mechanism of Tsunami Wave Generation by Atmospheric Disturbance. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, European Geophysical Society.

- Rabinovich, A. B. dan Monserrat, S., 1996. Meteorological Tsunamis Near the Balearic and Kuril Island: Descriptive and Statistical Analysis. *Natural Hazards* 13, 55-90.
- Rabinovich, A. B., dan Stephenson, F. E., 2004. Longwave Measurements for the Coast of British Columbia and Improvements to the Tsunami Warning Capability. *Natural Hazards*.
- Renault, M., 1962. The Bull from the Sea. Dlm: Barbara W. Murck, Brian J. S., dan Stephen C. P. (pnyt.). *Environmental Geology*. John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- Roy, G. D., 1998. Mathematical Modeling of Tide, Surge, and Their Interaction Along the Coast of Bangladesh. *Shahjalal University of Science and Technology*, Bangladesh.
- Solem, J. C., 1999. Comet and Asteroid Hazards: Treat and Mitigation. *The International Journal of The Tsunami Society* 17, 141-154.
- Soloview, S. L., 1970. Recurrence of Tsunami Wave in the Pacific Ocean. *State Hydrological Institute, Leningrad*, U. S. S. R.
- Street, R. L., Chan, R. K. C., dan Fromm, J. E., 1970. The Numerical Simulation of Long Water Waves: Progress on Two Fronts. *Tsunamis in the Pacific Ocean*.
- Titov, V.V. dan Gonzalez, F. I., 1997. Implementation and Testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) Model. *NOAA/Pacific Marine Environmental*.
- Walters, R. A. dan Goff, J., 2003. Assessing Tsunami Hazard Along the New Zealand Coast. *International Journal of The Tsunami Society*.