



TESIS SF142502

***Analisa Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis
Tekanan Atmosfer Untuk Detektor Tsunami***

LEDY MANUHUTU
NRP 1113201040

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
Dr.Dwa Desa Warnana, M.Si

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN OPTIK DAN ELEKTRONIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS SF142502

***Sea-Level Analysis Based Atmospheric Pressure For
Tsunami Detector***

**LEDY MANUHUTU
NRP 1113201040**

**SUPERVISOR
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
Dr.Dwa Desa Warnana, M.Si**

**MAGISTER PROGRAM
OPTOELECTRONIC AND ELECTROMAGNETIC APPLICATION
PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Ledy Manuhutu
NRP. 1113201040

Tanggal Ujian : 26 Juni 2015
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui oleh :

1. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
NIP: 19690904.199203.1.003

(Pembimbing)

2. Dr. Dwa Desa Warnana, M.Si
NIP: 19760123.200003.1.001

(Pembimbing)

3. Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
NIP: 19641229.199002.2.001

(Penguji)

4. Dr. rer.nat Eko Minarto, M.Si
NIP: 19750205199903.1.004

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T
NIP. 19640405 199002 1 001

Analisa Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis Tekanan Atmosfer Untuk Detektor Tsunami

Nama mahasiswa : Ledy Manuhutu
NRP : 1113201040
Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
Dr. Dwa Desa Warnana, M.Si

ABSTRAK

Pengukuran tekanan atmosfer dengan menggunakan sensor selama ini telah dilakukan namun pada tekanan atmosfer diatas ketinggian tertentu bukan diatas permukaan air laut. Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran tekanan atmosfer yang berhubungan dengan ketinggian permukaan air laut menggunakan sensor tekanan udara (DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor) untuk detektor tsunami. Pengukuran ini diharapkan dapat memberikan data yang akurat tekanan atmosfer yang berhubungan dengan ketinggian permukaan air laut. Sensor yang digunakan adalah DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor yang dihubungkan dengan mikrokontroller Atmega 8. Pada prinsipnya ketinggian permukaan air laut akan mempengaruhi tekanan atmosfer yang ada disekitar permukaan laut tersebut. Penelitian ini akan melalui tiga tahapan yaitu pertama pembuatan rancang bangun sensor tsunami dengan prinsip tekanan atmosfer (DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor). Kedua adalah tahapan kalibrasi alat yang telah dibuat untuk pengukuran tekanan atmosfer dan yang terakhir adalah tahapan pengambilan data pengukuran tekanan atmosfer yang berhubungan dengan ketinggian permukaan air laut. Dari hasil penelitian diperoleh sebuah sensor yang telah dikalibrasi dan dari hasil pengukuran didapatkan bahwa setiap perubahan ketinggian satu meter tekanan atmosfer mengalami penurunan sebesar 0,165 millibar.

Kata Kunci : Tekanan atmosfer, DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor, tsunami.

Sea-Level Analysis Based Atmospheric Pressure For Tsunami Detector

Name : Ledy Manuhutu
NRP : 1113201040
Supervisor : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
Dr. Dwa Desa Warnana, M.Si

ABSTRACT

Measurement of atmospheric pressure using a sensor has been done yet at atmospheric pressure above the height fixed not above sea level. In this study will be measured atmospheric pressure related to sea level using air pressure sensor (DT-Sense Barometric Pressure and Temperature Sensor) for tsunami detector. This measurement is expected to provide accurate data atmospheric pressure associated with sea-level. The sensor used is DT-Sense Barometric Pressure and Temperature Sensors are connected to the microcontroller Atmega 8. In principle, the sea level will affect the existing atmospheric pressure around the surface of the sea. This research will go through three stages: first the manufacturing design tsunami sensors with the principle of atmospheric pressure (DT-Sense Barometric Pressure and Temperature Sensor). The second is the stage calibration tool that was created to measure atmospheric pressure and the last is the stage of data collection atmospheric pressure measurement associated with sea-level. From the results obtained by a sensor that has been calibrated and from the measurement results obtained that any changes in the height of one meter the atmospheric pressure decreased by 0,165 millibars.

Keyword: Atmospheric pressure, DT-Sense Barometric Pressure and Temperature Sensor, tsunami.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan perlindunganNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Analisa Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis Tekanan Atmosfer Untuk Detektor Tsunami” ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa semua proses perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember sampai dengan selesainya penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis sampai dengan selesainya tesis ini. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak J. M. Manuhutu selaku orang tua atas segala kerja keras dan doanya dalam mendidik membesarkan penulis dan juga selalu memberikan motivasi dan semangat bagi penulis.
2. Keempat saudara penulis, Lien, Ega, Aldry dan Son yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi bagi penulis.
3. Keluarga besar Manuhutu, Hattu, Tamaela yang senantiasa memberikan motivasi dan doa bagi penulis.
4. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (Dirjen Dikti) yang telah memberikan beasiswa kepada penulis selama studi di ITS Surabaya.
5. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku pembimbing I dan juga selaku penasehat akademik yang telah meluangkan waktunya untuk selalu membimbing, memberikan motivasi dan membantu dan memfasilitasi penulis selama studi sampai dengan pengerjaan tesis ini.
6. Dr. Dwa Desa Warnana, M.Si selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing sampai dengan selesainya tesis ini.
7. Dr. Melania Suweni Muntini, M.T yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi selama studi di ITS.
8. Seluruh staf dosen dan karyawan di lingkup jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.

9. Teman-teman seperjuangan dari Pra S2 Fisika FMIPA ITS angkatan 2012 yang telah memberikan motivasi serta doa bagi penulis selama studi di ITS.
10. Teman-teman seperjuangan S2 Fisika FMIPA ITS angkatan 2013 yang juga senantiasa saling memotivasi selama studi di ITS.
11. Chaken Ruhlessin yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa bagi penulis selama studi sampai dengan selesainya tesis ini.
12. Mas Fahrusi (S2 Fisika) yang juga telah membantu penulis dalam pengerjaan tesis ini.
13. Semua pihak yang telah membantu penulis walaupun tidak disebutkan namanya satu per satu.

Kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan serta pengembangan karya penulis kedepan.

Surabaya, 13 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	6
2.1 Tsunami	6
2.2 Karakteristik Tekanan Atmosfer	16
2.3 Karakteristik Lapisan Atmosfer	18
2.4 DT-Sense Barometric Pressure & Temperatur Sensor.....	20
2.5 Mikrokontroler Atmega 8.....	27
2.6 Perhitungan Tekanan Atmosfer di Permukaan Laut	33
BAB 3 METODE PENELITIAN	36
3.1 Jenis Penelitian dan Tempat Penelitian	36
3.2 Alat dan Bahan	36
3.3 Parameter Observasi.....	36
3.4 Langkah-langkah Penelitian	36
3.5 Prosedur Penelitian.....	37

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil.....	39
4.2 Pembahasan	45
BAB 5 PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
BIODATA PENULIS	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan gelombang tsunami dengan ombak laut biasa.....	12
Tabel 2.2 Hubungan kedalaman, kecepatan dan panjang gelombang tsunami	15
Tabel 2.3 Fungsi konektor pada DT-Sense Barometric Pressure & Temperatur Sensor.....	22
Tabel 2.4 Fungsi jumper PULL-UP SDA SCL (J4).....	22
Tabel 2.5 Fungsi jumper ADDR (J3).....	23
Tabel 2.6 Perintah-perintah antarmuka UART dan I ² C	25
Tabel 2.7 Standar untuk nilai tekanan atmosfer di permukaan laut	32
Tabel 4.1 Hasil kalibrasi sensor ketinggian berbasis tekanan atmosfer	41
Tabel 4.2 Hasil pengukuran tekanan atmosfer mulai dari ketinggian nol meter laut sampai dengan ketinggian 20 meter	41
Tabel 4.3 Perbandingan nilai tekanan terukur dengan nilai tekanan hasil perhitungan	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis-jenis sesaran lempeng.....	10
Gambar 2.2 Lempeng samudera bergerak naik.....	13
Gambar 2.3 Lempeng samudera bergerak turun	13
Gambar 2.4 Ketinggian gelombang mencapai daratan	14
Gambar 2.5 Tata letak komponen DT-Sense	21
Gambar 2.6 Susunan pin mikrokontroller atmega 8.....	27
Gambar 2.7 Blok digram mikrokonrtoller atmega 8	28
Gambar 2.8 Perhitungan koreksi tekanan atmosfer dipermukaan air laut .	32
Gambar 2.9 Grafik hubungan antar perubahan ketinggian dengan perubahan tekanan atmosfer (InHg)	33
Gambar 2.10 Grafik hubungan antar perubahan ketinggian dengan perubahan tekanan atmosfer (mb).....	34
Gambar 3.1 Lokasi pengambilan data di pantai Bulak Banten Kenjeran ..	35
Gambar 3.2 Skema tahapan penelitian	36
Gambar 3.3 Skema pembuatan alat.....	37
Gambar 3.4 Rangkaian alat yang di rancang.....	37
Gambar 4.1 Hasil perancangan sensor ketinggian berbasis sensor tekanan atmosfer	39
Gambar 4.2 Sensor ketinggian berbasis tekanan atmosfer yang siap di kalibrasi.....	40
Gambar 4.3 Hasil kalibrasi sensor.....	40
Gambar 4.4 Grafik tekanan yang tebentuk dari hasil pengukuran	42
Gambar 4.5 Grafik slope yang terbentuk antara perubahan ketinggian terhadap perubahan tekanan	43
Gambar 4.6 Hubungan antara tekanan terukur dengan tekanan hasil perhitungan.....	45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada tanggal 11 Maret 2011, gempa Jepang pada 9,0 skala Richter menyebabkan tsunami, yang mengakibatkan kerusakan besar dan korban jiwa di Jepang. Sejak tahun 1960, tsunami ini adalah salah satu tsunami paling parah direkam setelah tsunami Samudera Hindia pada tanggal 26 Desember 2004, yang menewaskan lebih dari 225.000 orang di wilayah ini, dimana lebih dari 5000 tewas di Thailand. Selain itu, tsunami Jepang pada 11 Maret 2011 menunjukkan bahwa bahkan negara dengan sistem peringatan tsunami paling maju tidak bisa mencegah hilangnya nyawa dan kerusakan fisik bangunan. Tidak seperti di masa lalu, tsunami tidak lagi menjadi fenomena langka tapi telah menjadi bencana alam yang dapat terjadi sewaktu-waktu. Sementara Asia dapat dianggap sebagai yang paling beresiko tsunami, bagian lain dari dunia juga mengalami tsunami. Untuk menggambarkan, Australia telah mengalami tsunami dan pemukiman Eropa, Amerika Selatan adalah statistik yang paling rawan terjadi tsunami, diikuti oleh Indonesia dan Filipina, dan lebih dari 20 tsunami telah melanda California dan Amerika Serikat di masa sebelumnya (Bongkosh N, 2013).

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan diantaranya yang dilakukan oleh C. Cecioni (2014) menjelaskan metode numerik untuk propagasi *real-time* tsunami untuk mengetahui titik-titik tertentu terjadinya tsunami (C. Cecioni, 2014). Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Rina Suryani Oktari (2014) tentang Sebuah EWS lengkap dan efektif terdiri dari empat elemen yang terintegrasi: 1) pengetahuan Risk, 2) Pemantauan dan layanan peringatan, 3) Sosialisasi dan komunikasi dan 4) kemampuan Response. Kegagalan dalam salah satu dari unsur tersebut dapat berarti kegagalan seluruh sistem peringatan dini (Rina Suryani Oktari 2014). Penelitian lain juga yang telah dilakukan oleh S. Sreelal (2014) mendesain dan mengembangkan sebuah sistem perekam tekanan bawah laut untuk sistem peringatan dini tsunami (S.Sreelal 2014).

Berdasarkan kajian diatas maka penelitian ini sangat penting prototipe baru guna menggantikan peran buoy yang mudah hilang, rusak oleh para nelayan dan pelayar liar yang tidak bertanggung jawab. Pada penelitian pertama yang dilakukan Yono (2013) , pengembangan prototype sistem sensor dan monitoring on-line gempa (yang berpotensi tsunami) dan tsunami berbasis protokol TCP/IP telah berhasil di buat dan di uji kinerjanya. Hasil dari uji coba laboratorium dan lapangan menunjukkan bahwa alat tersebut mampu menunjukkan kinerja yang baik, benar, teliti dan handal namun masih mempunyai kelemahan. Sebagai kelanjutan pada penelitian kedua yang dilakukan oleh Yono (2013) adalah mengembangkan sistem transmisi fiber optik dan sistem switch untuk mendapatkan jangkauan jarak yang lebih jauh sehingga menghemat repeater. Disamping itu pula untuk mendapatkan kapasitas data yang lebih besar apabila internal YONOHape dilengkapi kamera CCTV. Software monitoring on-line yang sudah dibuat dilengkapi kontrol sirine dan pengaturan nilai ambang gempa dan tsunami secara on-line. Prototipe sistem baru ini diberi nama “YONOHape”, yang berisi sensor suhu dan tekanan permukaan air laut, motor penggerak arah, sistem power (solar sel dan batrey), sistem mikrokontroler, sistem modulator TCP/IP, sistem pemancar antena wi-fi. Sehingga penelitian tersebut secara terpisah dibagi dalam 4 blok pekerjaan besar yakni blok sensor, akuisisi dan pemrosesan data sensor (mikrokontroler), transmisi data (antenna wi-fi dan fiber optik), software monitoring secara on-line (Yono 2013). Pada penelitian ini penulis menggunakan DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor sebagai sensor untuk mendeteksi tekanan atmosfer dan temperatur di permukaan laut yang berhubungan dengan ketinggian air laut, sensor ini kemudian dihubungkan dengan mikrokontroler AVR atmega 8 yang didalamnya terdapat berbagai macam fungsi kontrol dalam rangkaian.

DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor merupakan sebuah modul sensor cerdas berbasis sensor HP03 yang dapat digunakan untuk mendeteksi besarnya tekanan dan temperatur udara di sekitar sensor. Keluaran DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor berupa data digital yang sudah terkalibrasi penuh sehingga dapat dipakai langsung tanpa terlalu banyak

perhitungan tambahan. Modul sensor ini dilengkapi dengan antarmuka UART TTL dan I²C. Contoh aplikasi DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor antara lain untuk sistem pengukuran dan kendali tekanan udara, sistem barometer/altimeter, produk-produk perkiraan cuaca, atau aplikasi-aplikasi lain yang menggunakan informasi tekanan udara dan temperatur (Datasheet).

Pada penelitian terdahulu oleh Riyadi dkk (2014) telah menggunakan DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor untuk perancangan dan implementasi sistem *sensing dan ground segment* untuk *qudrotor* APTRG. Penelitian ini menjelaskan tentang perancangan realisasi Sistem Sensing dan *Ground Segment* untuk AMUAS. Pada Quadrotor Test berisi berbagai macam sensor untuk melakukan pemantauan dan pengawasan pada suatu tempat. Sensor tersebut akan mengukur parameter seperti kompas, akselerometer, suhu, tekanan, ketinggian, dan juga visualisasi tempat yang di pantau. Sistem sensing dikendalikan dengan menggunakan mikrokontroler dan pengiriman datanya menggunakan Xbee-PRO, sehingga sistem sensing tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan data secara *real time* di *Ground Segment* (Riyadhi 2014).

Peneliti berikutnya yang juga melakukan penelitian dengan menggunakan DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor yaitu Supartono Soediatno (2011). Peneliti ini membuat *prototype payload* untuk roket uji muatan dengan menggunakan sebuah piranti berbasis mikrokontroler ATmega128 menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dan empat buah sensor yaitu sensor ADXL330, sensor CMPS03, DT-Sense Humidity sensor, dan DT-Sense Barometric pressure and Temperature sensor (Supartono 2011).

AVR merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang di dalamnya terdapat berbagai macam fungsi. Perbedaanannya pada mikro yang pada umumnya digunakan seperti MCS51 adalah pada AVR tidak perlu menggunakan *oscillator* eksternal karena di dalamnya sudah terdapat internal oscillator. Selain itu kelebihan dari AVR adalah memiliki *Power-On Reset*, yaitu tidak perlu ada tombol reset dari luar karena cukup hanya dengan mematikan *supply*, maka secara otomatis AVR akan melakukan *reset*. Untuk beberapa jenis AVR terdapat beberapa fungsi khusus seperti ADC, EEPROM sekitar 128 *byte* sampai dengan 512 *byte* (Atmel corp., datasheet 2008).

AVR ATmega8 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit berarsitektur AVR RISC yang memiliki 8K *byte in-System Programmable Flash*. Mikrokontroler dengan konsumsi daya rendah ini mampu mengeksekusi instruksi dengan kecepatan maksimum 16MIPS pada frekuensi 16MHz. Jika dibandingkan dengan ATmega8L perbedaannya hanya terletak pada besarnya tegangan yang diperlukan untuk bekerja. Untuk ATmega8 tipe L, mikrokontroler ini dapat bekerja dengan tegangan antara 2,7 - 5,5 V sedangkan untuk ATmega8 hanya dapat bekerja pada tegangan antara 4,5 – 5,5 V (Atmel corp, datasheet 2008).

Target khusus yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah bagaimana menganalisa ketinggian permukaan air laut berbasis tekanan atmosfer untuk detektor tsunami.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mendapatkan data relasi antara tekanan atmosfer pada level ketinggian terhadap permukaan air laut.
2. Bagaimana membuat sensor tsunami dengan prinsip sensor tekanan atmosfer (DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor).
3. Bagaimana mengkalibrasi alat ini.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan data relasi antara tekanan atmosfer pada level ketinggian terhadap permukaan air laut.
2. Membuat sensor tsunami dengan prinsip sensor tekanan atmosfer (DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor).
3. Mengkalibrasi alat ini.

1.4 Batasan Masalah

1. Sensor yang digunakan adalah sensor tekanan udara (DT-Sense Barometric Pressure & Temperature Sensor)
2. Ketinggian yang akan diukur mulai dari 0 meter laut hingga 100 meter.
3. Mikrokontroller yang digunakan adalah mikrokontroller Atmega 8.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat di integrasikan ke dalam sistem monitoring dini tsunami di pesisir pantai Selatan Jawa, Bali dan Sumatera.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tsunami

Tsunami adalah gelombang laut yang sangat besar yang disebabkan oleh gangguan bawah air seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, atau tanah longsor yang menyebabkan perubahan vertikal mendadak dalam dasar laut, yang pada gilirannya menyebabkan volume air yang besar akan dipindahkan dari posisi kesetimbangannya ke posisi baru. Ketika tsunami mendekati area pesisir, kedalaman air menurun dengan cepat, dan kecepatan berkurang karena tingginya meningkat dengan cepat. Perubahan keseimbangan kemudian bergerak keluar dari sumber asal dalam bentuk tsunami (Bongkosh N, 2013).

Tsunami juga sering dianggap sebagai gelombang air pasang. Hal ini terjadi karena pada saat mencapai daratan, gelombang tsunami lebih menyerupai air pasang yang tinggi daripada menyerupai ombak biasa yang mencapai pantai secara alami oleh tiupan angin. Namun 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 (Sugito, 2008).

Teori tentang gempa yang disebabkan pergerakan antar lempeng menjelaskan friksi antar lempeng itulah yang menyebabkan terjadinya getaran-getaran, sedangkan yang menyebabkan terjadinya gelombang adalah deformasi di dasar laut yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng itu, misalnya terbentuknya lipatan. Itulah mengapa ketika terjadi gempa di laut, belum tentu terjadi tsunami karena gempa itu tidak menyebabkan deformasi di dasar laut. Teori tentang gelombang yang dijabarkan dalam ilmu fisika menjabarkan gelombang itu bisa dijelaskan sifat-sifatnya melalui berbagai parameter seperti frekuensi, panjang gelombang, dan amplitudo. Dari situ, dengan menambahkan massa air laut yang dijadikan medium gelombang, kekuatan gelombang tsunami bisa diperkirakan. Energi tsunami akan

menghantam lebih keras pada wilayah yang lebih dekat dengan epicenternya dibandingkan dengan yang wilayahnya jauh. Itulah kenapa Aceh ketika tsunami 2004 mengalami kerusakan lebih parah dari pada Thailand. Air laut tidak akan masuk ke daratan melainkan ketika tsunami permukaan laut ketika itu lebih tinggi dari daratan (Marchuck, 2009).

Di Asia, ada tiga zona subduksi, zona subduksi Manila, zona subduksi Ryukyu, dan Sulawesi Utara zona subduksi Ehave telah diidentifikasi memiliki potensi untuk menghasilkan tsunami yang merusak. Di wilayah Laut Cina Selatan, zona subduksi Manila telah diidentifikasi sebagai wilayah berpotensi tsunami dengan sumber gempa yang sangat berbahaya. Gempa besar dari $M_w = 7,6$ telah tercatat dalam 100 tahun terakhir, menunjukkan probabilitas tinggi untuk gempa bumi besar di masa depan. Zona subduksi Manila atau Manila Trench adalah tempat subduksi Lempeng Eurasia di bawah Lempeng Filipina Laut dengan kecepatan 70 mm / tahun. Manila Trench, mulai dari ujung utara Palawan, Filipina, berkembang ke Utara disepanjang tepi Barat Luzon, Filipina dan berakhir di Taiwan, dengan total panjang sekitar 1000 km. Akibatnya, daerah sepanjang Laut Cina Selatan, termasuk China, Hong Kong, Taiwan, Kamboja, Vietnam, Malaysia, dan Thailand, berada dalam bahaya besar tsunami yang sangat merusak. Sebuah gempa Laut Cina Selatan dapat menyebabkan tsunami yang sangat merusak Teluk Thailand, termasuk Pattaya, Samui, Cha-Am dan pantai Hua Hin. Merilis informasi peringatan dini pada waktu kedatangan tsunami dan ketinggian gelombang ke negara-negara di sepanjang zona subduksi Manila akan membantu meminimalkan tingkat kerusakan dan potensi tragedi (Bongkosh N, 2013).

2.1.1 Penyebab Terjadinya Tsunami

Tsunami dapat dipicu oleh bermacam-macam gangguan berskala besar terhadap air laut misalnya gempa bumi, pergeseran lempeng, meletusnya gunung berapi di bawah laut, atau tumbukan di bawah laut. Namun, 90% tsunami adalah akibat gempa bumi di bawah laut. Dalam rekaman sejarah beberapa tsunami diakibatkan oleh gunung meletus, misalnya ketika

meletusnya gunung Krakatau. Tsunami dapat terjadi apabila dasar laut bergerak secara tiba-tiba dan mengalami perpindahan vertikal (Sugito, 2008).

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 (Sugito, 2008).

Kecepatan gelombang tsunami tergantung pada kedalaman laut gelombang terjadi, kecepatannya bisa mencapai ratusan kilometer per jam. Apabila tsunami mencapai pantai, kecepatannya akan menjadi kurang lebih 50 km/jam dan energinya sangat merusak daerah pantai yang dilaluinya. Di tengah laut tinggi gelombang tsunami hanya 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 ratusan meter bahkan bisa beberapa kilometer (Sugito, 2008).

Tanah longsor yang terjadi di dasar laut serta runtuh gunung api juga dapat mengakibatkan gangguan air laut yang dapat menghasilkan tsunami. Gempa yang menyebabkan gerakan tegak lurus lapisan bumi. Akibatnya, dasar laut naik-turun secara tiba-tiba sehingga keseimbangan air laut yang berada di atasnya terganggu (Sugito, 2008).

Demikian pula halnya dengan benda kosmis atau meteor yang jatuh dari atas. Jika ukuran meteor atau longsor ini cukup besar dapat mencapai megatsunami yang tingginya mencapai ratusan meter.

Beberapa penyebab terjadinya tsunami akan di jelaskan sebagai berikut:

a. Longsoran 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 Samudera Pasifik

yang biasa disebut dengan lingkaran api (*Ring of Fire*), lempeng samudera yang lebih padat menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Proses ini dinamakan dengan penunjaman (*subduction*). Gempa subduksi sangat efektif membangkitkan gelombang tsunami (Sugito, 2008).

b. Gempa Bumi Bawah Laut (*Undersea Earthquake*)

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

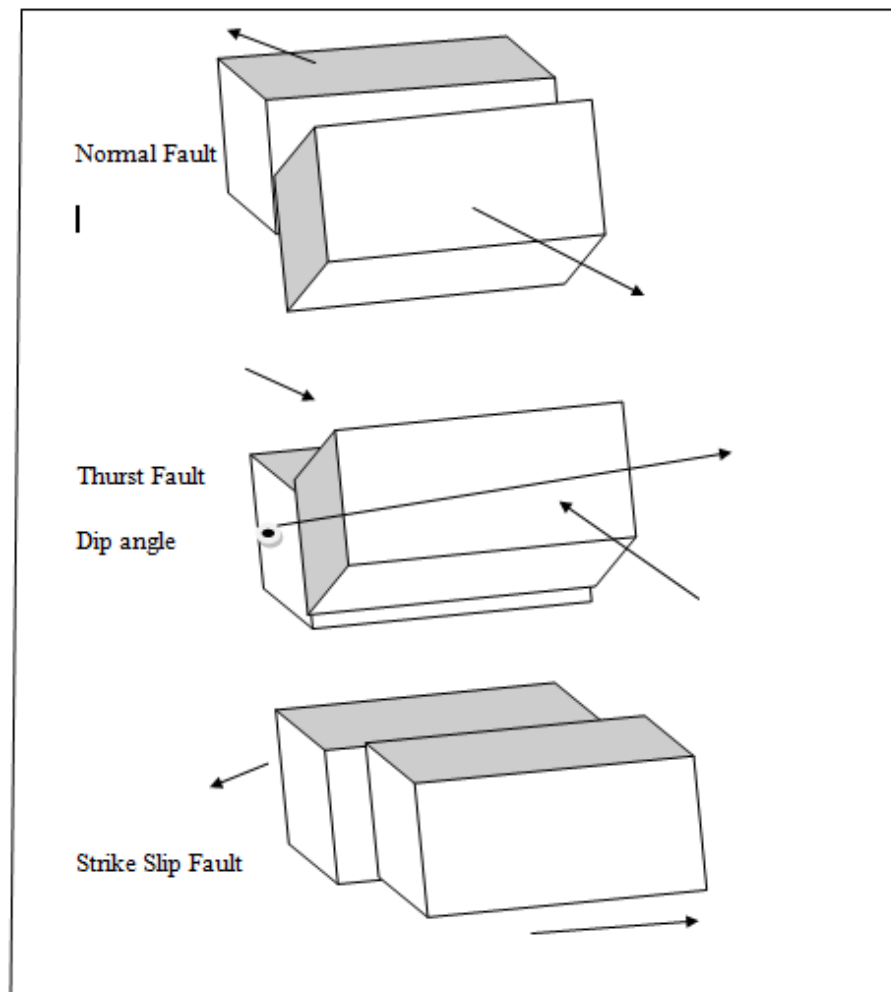
Berikut ini adalah beberapa persyaratan terjadinya tsunami yang diakibatkan oleh gempa bumi:

1. Gempa bumi yang berpusat di tengah laut dan dangkal (0 – 30 km).
2. Gempa bumi dengan kekuatan sekurang-kurangnya 6,5 Skala Richter.
3. Gempa bumi dengan pola sesar naik atau sesar turun.

Tidak semua gempa menghasilkan tsunami, hal ini tergantung pada faktor utama tipe sesaran (*fault type*), kemiringan sudut antar lempeng (*dip angle*), dan kedalaman pusat gempa (*hypocenter*). Gempa dengan karakteristik tertentu akan menghasilkan tsunami yang sangat berbahaya yaitu:

1. Tipe sesaran naik, seperti terlihat pada Gambar 2 1.
Tipe ini sangat efektif memindahkan volume air yang berada di atas lempeng untuk bergerak sebagai awal terjadinya tsunami.
2. Kemiringan sudut tegak antar lempeng yang bertemu.
Semakin tinggi sudut antar lempeng yang bertemu (mendekati 90°) maka semakin efektif tsunami yang terbentuk.
3. Kedalaman pusat gempa yang dangkal (>70 km).
Semakin dangkal kedalaman pusat gempa, maka semakin efektif tsunami yang ditimbulkan. Sebagai ilustrasi meski kekuatan gempa relative kecil (6,0 – 7,0 R), tetapi dengan terpenuhinya ketiga syarat diatas, kemungkinan besar tsunami akan terjadi. Sebaliknya meski

kekuatan gempa cukup besar ($>7,0$ R) dan dangkal, tetapi jika tipe sesarnya bukan naik tapi normal (*normal fault*) atau sejajar (*strike slip fault*), bisa dipastikan tsunami akan sulit terjadi. Gempa dengan kekuatan 7,0 R dengan tipe sesaran naik dan dangkal bisa membentuk tsunami dengan ketinggian 3-5 meter (Sugito, 2008).



Gambar 2.1 Jenis-jenis sesaran lempeng

c. Aktivitas Vulkanik

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 diatas lempeng tersebut. Demikian pula meletusnya gunung berapi yang terletak di dasar samudera juga dapat menaikkan air dan membangkitkan gelombang tsunami (Sugito, 2008).

d. Tumbukan Benda Luar Angkasa (*Cosmic-body Impacts*)

Tumbukan dari benda luar angkasa seperti meteor merupakan gangguan terhadap air laut yang datang dari arah permukaan. Tsunami yang timbul karena sebab ini umumnya terjadi sangat cepat dan jarang mempengaruhi wilayah pesisir yang jauh dari sumber gelombang. Sekalipun begitu apabila pergerakan lempeng dan tabrakan benda angkasa luar cukup dasyat kedua peristiwa ini dapat menciptakan megatsunami (Sugito, 2008).

2.1.2 Karakteristik Tsunami

Perilaku gelombang tsunami sangat berbeda dari ombak laut berbeda dari ombak laut biasa. Gelombang tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi dan dapat merambat lintas samudera dengan sedikit energi yang 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 ditimbulkan di pantai. Waktu perambatan gelombang tsunami lebih lama dari waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk mencapai tempat yang sama (Sugito, 2008).

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 ditengah laut gelombang tsunami hampir tidak nampak dan hanya terasa seperti ayunan air saja.

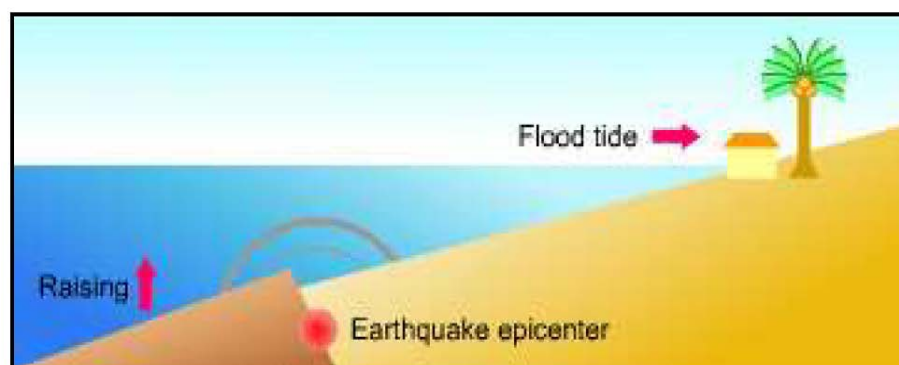
Berikut ini merupakan tabel perbandingan gelombang tsunami dengan ombak laut biasa.

Tabel 2.1 Perbandingan gelombang tsunami dengan ombak laut biasa (sumber: disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

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

Kecepatan tsunami bergantung pada kedalaman air. Di laut dalam dan terbuka, kecepatannya mencapai 800 – 1000 km/jam. Ketinggian tsunami di lautan dalam hanya mencapai 30 – 60 cm dengan panjang gelombang mencapai ratusan kilometer, sehingga keberadaannya di laut dalam susah dibedakan dengan gelombang biasa bahkan tidak di rasakan oleh kapal-kapal yang sedang berlabuh di tengah samudera. Berbeda dengan gelombang karena angin, dimana hanya bagian permukaan atas yang bergerak, gelombang tsunami mengalami pergerakan di seluruh bagian partikel air, mulai dari permukaan sampai bagian dalam samudera. Ketika tsunami memasuki perairan yang lebih dangkal, ketinggian gelombangnya meningkat dan kecepatannya menurun drastis, meski demikian energinya masih sangat kuat untuk menghanyutkan segala benda yang dilaluinya. Arus tsunami dengan ketinggian 70 cm masih cukup kuat untuk menyeret dan menghanyutkan orang (Sugito, 2008).

Apabila lempeng samudera pada sesar bergerak naik (*raising*), terjadi air pasang di wilayah pantai hingga wilayah tersebut akan mengalami banjir sebelum gelombang air yang lebih tinggi datang menerjang (lihat Gambar 2.2). Dan apabila lempeng samudera bergerak naik, wilayah pantai akan mengalami air pasang sebelum datangnya tsunami (Sugito, 2008).



Gambar 2.2 Lempeng samudera bergerak naik (Sumber: disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Apabila lempeng samudera pada sesar bergerak turun (*sinking*), kurang lebih pada separuh waktu sebelum gelombang tsunami sampai di pantai, air laut tersebut di pantai surut (lihat Gambar 2.3). Pada pantai yang landai,

surutnya air bisa mencapai lebih dari 800 meter menjauhi pantai (Sugito, 2008).



Gambar 2.3 Lempeng samudera bergerak turun (Sumber: disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Pada suatu gelombang, apabila 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 samudera yang dalam. 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.

$$v = \sqrt{g \times d} \quad (2.1)$$

Dimana :

v = kecepatan (m/s)

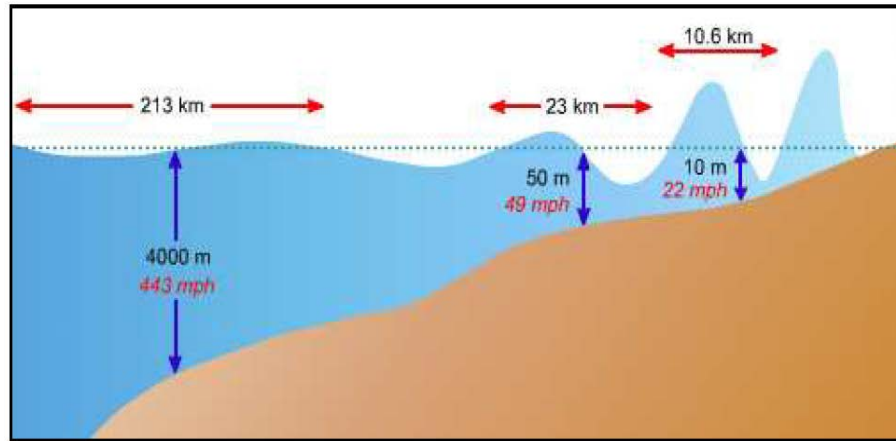
g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

d = kedalaman (m)

sebagai contoh di Samudera Pasifik, dimana kedalaman air rata-rata adalah 4000 meter, gelombang tsunami merambat dengan kecepatan $\pm 200 \text{ m/s}$. (kira-kira 712 km/jam) dengan hanya sedikit energi yang hilang, bahkan untuk jarak yang jauh. Sedangkan pada kedalaman 40 meter kecepatannya mencapai $\pm 20 \text{ m/s}$ (sekitar 71 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 rambat gelombang. Oleh sebab itu ketika gelombang mencapai daratan, tingginya meningkat sementara kecepatannya menurun (lihat Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Ketinggian gelombang mencapai daratan (Sumber: disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

Saat memasuki wilayah dangkal, kecepatan gelombang tsunami menurun sedangkan tingginya meningkat, menciptakan gelombang mengerihkan yang sangat merusak. Berikut ini merupakan hubungan antara kedalaman, kecepatan, dan panjang gelombang tsunami.

Tabel 2.2 Hubungan antara kedalaman, kecepatan dan panjang gelombang tsunami. (Sumber: disaster.elvini.net/tsunami.cgi)

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

2.1.3 Fisika Tsunami

Gelombang tsunami bisa dijelaskan dari fenomena penjalaran gelombang secara transversal. Energinya adalah fungsi dari ketinggian (*amplitudo*) dan kecepatannya. Ketinggiannya sangat dipengaruhi oleh panjang gelombang. Tsunami memiliki panjang gelombang ratusan kilometer, berperilaku seperti gelombang air-dangkal. Suatu gelombang menjadi gelombang air dangkal atau *shallow-water wave* ketika perbandingan kedalaman air dengan panjang gelombangnya kecil dari 0,05 (Sugito, 2008).

Kecepatan gelombang air-dangkal $v = \sqrt{g \times d}$ dengan g adalah percepatan gravitasi dan d adalah kedalaman air. Misalkan pada kedalaman 10 km di Samudera Hindia, sebuah tsunami akan memiliki kecepatan awal sekitar 300 m/s atau 1000 km/jam. Kecepatan ini akan berkurang seiring dengan dangkalnya kedalaman air ke arah pantai. Namun energi yang dikandung gelombang tidaklah berkurang banyak. Ini sesuai hubungan laju energi yang hilang (*energy loss rate*) pada gelombang berjalan berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya, dengan kata lain semakin besar panjang gelombangnya maka makin sedikit energi yang hilang, sehingga energi yang dikandung tsunami bisa dianggap konstan. Karena energinya konstan, berkurangnya kecepatan akan membuat ketinggian (*amplitudo*) bertambah. Ilmuan mencatat bahwa dengan kecepatan 1000 km/jam menuju pantai, tinggi gelombang bisa mengalami kenaikan sampai 30 meter.

2.2 Karakteristik Tekanan Udara

Tekanan menggambarkan gaya persatuan luas pada suatu ketinggian tertentu. Alat untuk mengukur tekanan udara adalah barometer. Dimana tekanan udara merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dan menentukan kerapatan udara selain daripada suhu udara. Ketinggian kerapatan udara (*density height*) adalah suatu ketinggian dalam atmosfer standar ICAO, dimana kerapatan udaranya sesuai dengan kerapatan udara pada suatu tempat tertentu (Akhmad, 2013).

Pada umumnya makin tinggi suatu ketinggian dari permukaan laut, tekanan udaranya semakin berkurang, karena jumlah molekul dan atom yang ada di atasnya berkurang. Dengan demikian dapat kita katakan bahwa

tekanan udara menurun terhadap ketinggian, begitu juga dengan kerapatan udara (Akhmad, 2013).

Tekanan udara bersama-sama dengan suhu akan menentukan kerapatan udaranya. Kerapatan dan tekanan udara tergantung dari suhunya maka untuk penentuan ketinggian harus ada juga perhitungannya (Akhmad, 2013).

Hukum Gas Charles (*Charles Law*), tentang gas menyatakan bahwa kerapatan udara akan berbanding lurus dengan tekanan pada temperatur konstan dan kerapatan udara akan berbanding terbalik dengan temperatur pada tekanan konstan

$$\rho = \frac{P}{T \times R} \quad (2.2)$$

Dimana ρ = Kerapatan udara (kg/m³), P = Tekanan udara statis (hpa), T = Temperatur absolut 287 (J/K mol), dan R = Konstanta Gas (J/K mol). Tekanan statis (*Static Pressure*) adalah tekanan udara di sekeliling kita, dalam udara terbuka dan dalam kondisi diam. Tekanan statis ini akan bekerja ke segala arah dengan besar yang sama (Akhmad, 2013).

Di permukaan laut tekanan udara berkisar pada angka 76 cm Hg (air raksa) atau setara dengan 1.013,25 milibar (mb). Perbedaan ketinggian dan temperatur akan menyebabkan tekanan turun. Para ahli telah menetapkan bahwa setiap terjadi perubahan ketinggian sebesar 1.000 meter, tekanan udara akan mengalami penurunan sekitar 100 mb. Hal ini terjadi karena semakin tinggi permukaan semakin tipis pula tingkat kerapatan udara, sehingga menyebabkan penurunan tekanan udara yang besarnya sekitar 100 mb per 1.000 meter (Suprianto, 2010).

Keberadaan bentang laut besar perannya dalam mempengaruhi fluktuasi tekanan udara, karena laut merupakan pemasok uap air ke udara (melalui proses evaporasi). Penambahan uap air ke udara akan menyebabkan tekanan udara tersebut meningkat. Fenomena ini akan menyebabkan terjadinya angin laut pada siang hari. Perbedaan tekanan dihubungkan dengan perbedaan ketinggian tempat lebih dijelaskan sebelumnya. Karena adanya pengaruh beberapa faktor di atas maka akan terbentuk pusat-pusat tekanan rendah dan pusat-pusat tekanan tinggi. Pusat-pusat ini tidak bersifat permanen, akan

tetapi lebih bersifat temporer, sesuai dengan dinamika unsur-unsur iklim yang mempengaruhi tekanan udara tersebut .

Faktor-faktor yang mempengaruhi tekanan udara adalah sebagai berikut:

a. Tinggi Rendahnya Tempat

Semakin tinggi suatu tempat, lapisan udaranya semakin tipis dan semakin renggang, akibatnya tekanan udara semakin rendah. Tekanan udara di suatu tempat pada umumnya dipengaruhi oleh penyinaran matahari. Daerah yang banyak mendapat sinar matahari mempunyai tekanan udara rendah dan daerah yang sedikit mendapat sinar matahari mempunyai tekanan udara tinggi.

b. Temperatur

Jika temperatur udaranya tinggi, maka volume molekul udara berkembang, sehingga tekanan udara menjadi tinggi, sebaliknya jika temperatur udara menjadi rendah, maka tekanan udara menjadi rendah.

Untuk menghitung nilai tekanan atmosfer pada ketinggian tertentu dapat menggunakan persamaan

$$P_h = P_0 e^{-(mgh)/RT} \quad (2.3)$$

2.3 Karakteristik Lapisan Atmosfer

Bumi yang kita huni ini terdiri dari tiga unsur: padat, cair, gas. Bumi padat disebut juga litosfer, meliputi bagian inti bumi hingga lapisan terluar yang tampak sebagai permukaan tanah. Bumi cair disebut hidrosfer, mencakup air permukaan seperti laut, danau, sungai, juga berupa air di dalam tanah atau disebut air tanah, dan air yang terkandung di dalam atmosfer atau disebut air atmosfer. Bumi gas atau atmosfer merupakan seluruh gas yang menyelubungi bumi baik di bagian padat maupun cair. Ketiga unsur tersebut terkait erat dan saling mempengaruhi proses-proses yang terjadi di bumi secara keseluruhan. Atmosfer bumi merupakan lapisan gas yang menyelimuti bumi dan penting bagi kehidupan makhluk hidup. Atmosfer setinggi 5.5-5.6 km telah mencakup 50% dari massa total dan pada ketinggian 40 km mencakup 99.99%. Batas bawah atmosfer relatif lebih mudah ditentukan

berdasarkan ketinggian permukaan laut. Sedangkan puncaknya sulit ditentukan karena disamping besarnya keragaman ukuran dan massa partikel terdapat pula keragaman suhu permukaan bumi dan kekuatan angin yang mempengaruhi pengangkatan bahan. Atmosfer dapat dibedakan berdasarkan parameter-parameter seperti tekanan udara, massa atmosfer dan profil temperatur. Profil temperatur vertikal dapat dibagi menjadi empat lapisan yang berbeda yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, dan termosfer. Puncak dari lapisan-lapisan tersebut adalah *tropopause*, *stratopause*, *mesopause*, dan *termopause*.

Troposfer merupakan lapisan terbawah dari atmosfer terdapat pada ketinggian dari 8 km di daerah kutub dan 16 km di ekuator. Ruang terjadinya sirkulasi dan turbulensi seluruh bahan atmosfer sehingga menjadi salah satu lapisan yang mengalami pembentukan dan perubahan cuaca seperti angin, awan, presipitasi, badai, kilat dan guntur. Kecepatan angin pada lapisan ini bertambah dengan naiknya ketinggian dan di troposfer ini pemindahan energi berlangsung. Radiasi surya menyebabkan pemanasan permukaan bumi yang selanjutnya panas tersebut diserap oleh air untuk berubah menjadi uap. Akibat proses evaporasi, energi panas diangkat oleh uap ke lapisan atas yang lebih tinggi berupa panas laten. Setelah terjadi pendinginan berlangsung proses kondensasi.

Pada lapisan ini suhu udara turun dengan bertambahnya ketinggian atau pada keadaan *lapse rate*. Rata-rata lapse rate seluruh dunia pada keadaan normal adalah -6.5K setiap kenaikan ketinggian 1 km. Pada atmosfer normal, suhu troposfer berubah dari 150°C pada permukaan laut menjadi -600°C di puncak troposfer. Lapisan di atasnya dengan suhu tetap atau meningkat disebut stratosfer kisaran ketinggiannya antara 12-50 km di atas permukaan laut. Lapisan ini terdiri dari 3 wilayah antara lain Stratosfer bawah ketinggiannya 12-20 km daerah isothermis, Stratosfer tengah ketinggiannya 20-35 km daerah inversi suhu, stratosfer atas ketinggiannya 35-50 km daerah inversi suhu yang kuat. Lapisan ini tidak mengalami turbulensi maupun sirkulasi. Stratosfer merupakan lapisan atmosfer utama yang mengandung gas ozon.

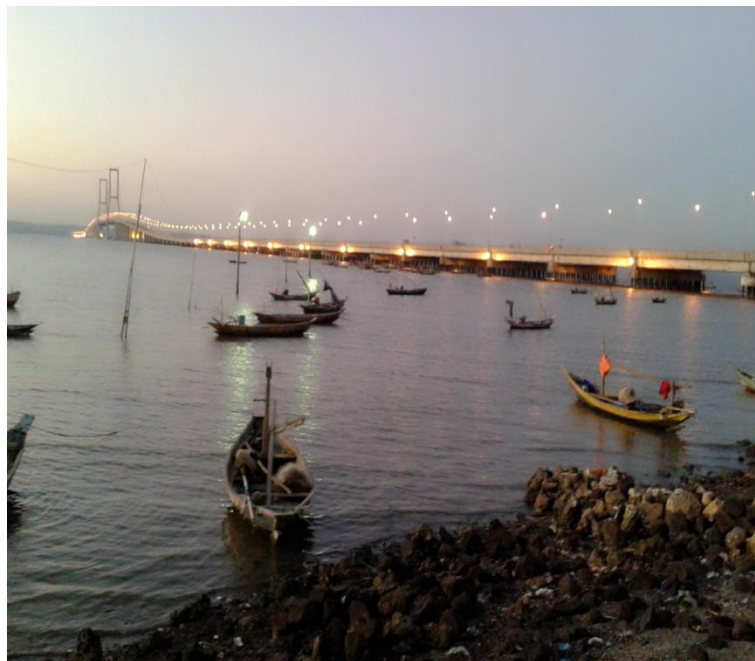
Lapisan dengan suhu menurun dari 50-80 km disebut *mesosfer* dengan perubahan suhu terhadap ketinggian adalah *lapse rate*. Pada lapisan ini suhu udara sekitar -50°C pada lapisan hingga -950°C pada puncaknya. Tidak mengalami turbulensi atau sirkulasi udara. Merupakan daerah penguraian O_2 menjadi atom O. Batas atasnya adalah lapisan mesopause dengan perubahan suhu terhadap ketinggian mulai bersifat isothermal. Lapisan di atasnya dengan suhu yang meningkat disebut *termosfer*. Lapisan ini ditandai dengan beberapa ciri yaitu memiliki ketinggian 80 km hingga batas yang sulit ditentukan karena sangat jarang partikel gas yang mencapai lapisan ini. Lapisan ini merupakan tempat berlangsungnya proses ionisasi gas ionisasi gas N_2 dan O_2 sehingga lapisan ini disebut *ionosfer*. Dimana di atas ketinggian 100km pengaruh radiasi *ultraviolet* dan Sinar X makin kuat.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Tempat Penelitian

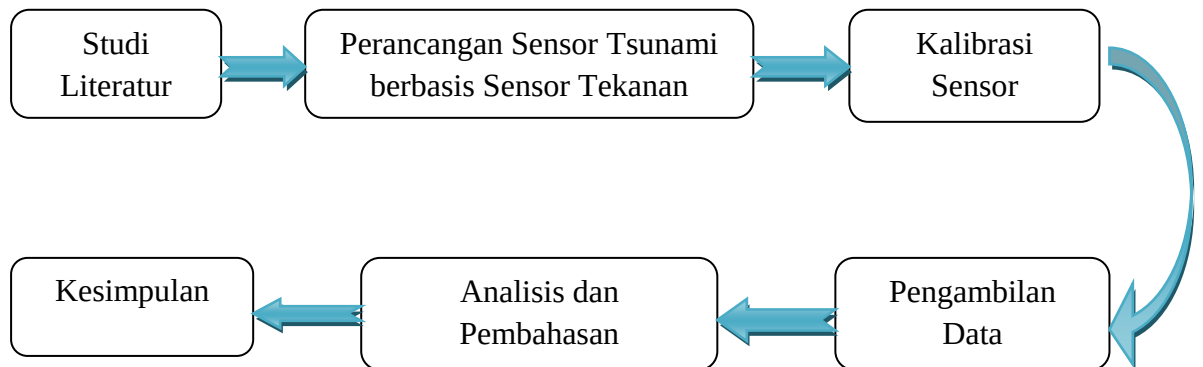
Jenis penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian laboatorium untuk perancangan alat dan penelitian lapangan untuk kalibrasi alat dan pengambilan data dan tempat penelitian berlokasi di pantai Bulak Banten kecamatan Kenjeran Kota Surabaya, kampus ITS surabaya dan puncak menara mesjid Agung Surabaya. Dengan lokasi penelitan tertera pada gambar berikut.



Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Data di Pantai Bulak
Banten Kenjeran

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Skema Tahapan Penelitian

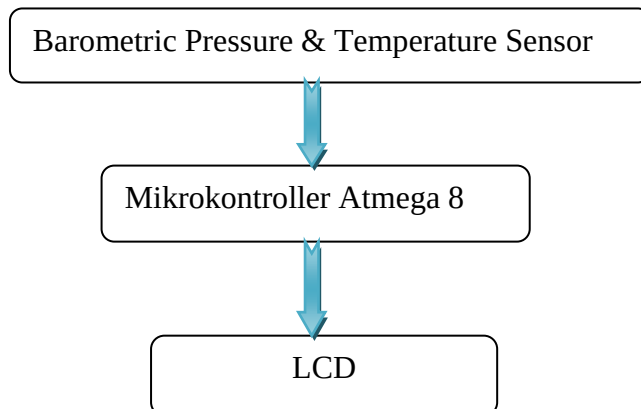
3.3 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data tekanan atmosfer dipermukaan laut yang berhubungan dengan ketinggian air laut. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Membuat sensor tsunami dengan prinsip sensor tekanan udara (Barometric Pressure & Temperature Sensor)

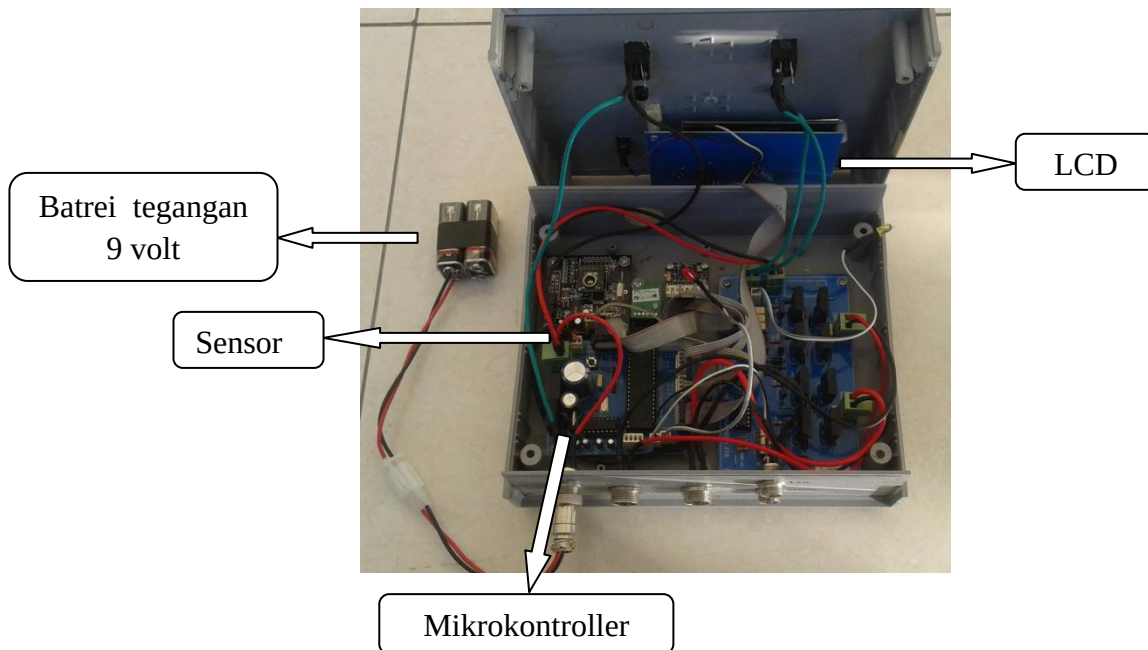
Detektor tsunami selama ini memakai prinsip tekanan air laut sangatlah sulit untuk di realisasikan karena perlu presisi yang tinggi, harga yang mahal, dan instalasi dilapangan sangat sulit. Untuk itu dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan sensor ketinggian permukaan air laut dengan prinsip sensor tekanan udara (Barometric Pressure & Temperature Sensor) ini untuk dipalikasikan. Pada tahapan ini sensor tekanan udara (Barometric Pressure & Temperature Sensor) yang sudah ada kita sambungkan dengan menggunakan mikrokontroller Atmega 8 dan kemudian dihubungkan ke LCD Display untuk kemudian akan dikalibrasi untuk dilakukan pengukuran atau pengambilan data.

Dengan bagan pembuatannya seperti dibawah ini.



Gambar 3.2 Skema Pembuatan Alat

Rangkaian alat yang dibuat seperti terlihat pada Gambar 3.3. di bawah ini.



Gambar 3.3 Rangkaian alat yang dirancang.

3.3.2 Kalibrasi Alat

Pada tahapan ini Barometric Pressure & Temperature Sensor yang sudah dihubungkan dengan mikrokontroller kemudian dikalibrasi untuk melakukan pengukuran tekanan atmosfer diatas permukaan laut dalam hubungannya dengan ketinggian air laut.

Pada tahapan ini akan diukur tekanan atmosfer pada ketinggian 0 meter laut dipakai sebagai referensi mengkalibrasi alat yang sudah dibuat.

3.3.3 Pengambilan data pengukuran tekanan atmosfer menggunakan Barometric Pressure & Temperature Sensor yang sudah disambungkan dengan mikrokontroller atmega 8.

Setelah Barometric Pressure & Temperature Sensor sudah disambungkan dengan mikrokontroller atmega 8 dan kemudian dikalibrasi maka tahapan selanjutnya adalah pengambilan data pengukuran tekanan atmosfer dipermukaan laut yang berhubungan dengan ketinggian air laut hasil pengukuran dari barometer altitude berbasis mikrokontroller kemudian disambungkan dengan menggunakan LCD display dan kemudian akan dilakukan analisis data.

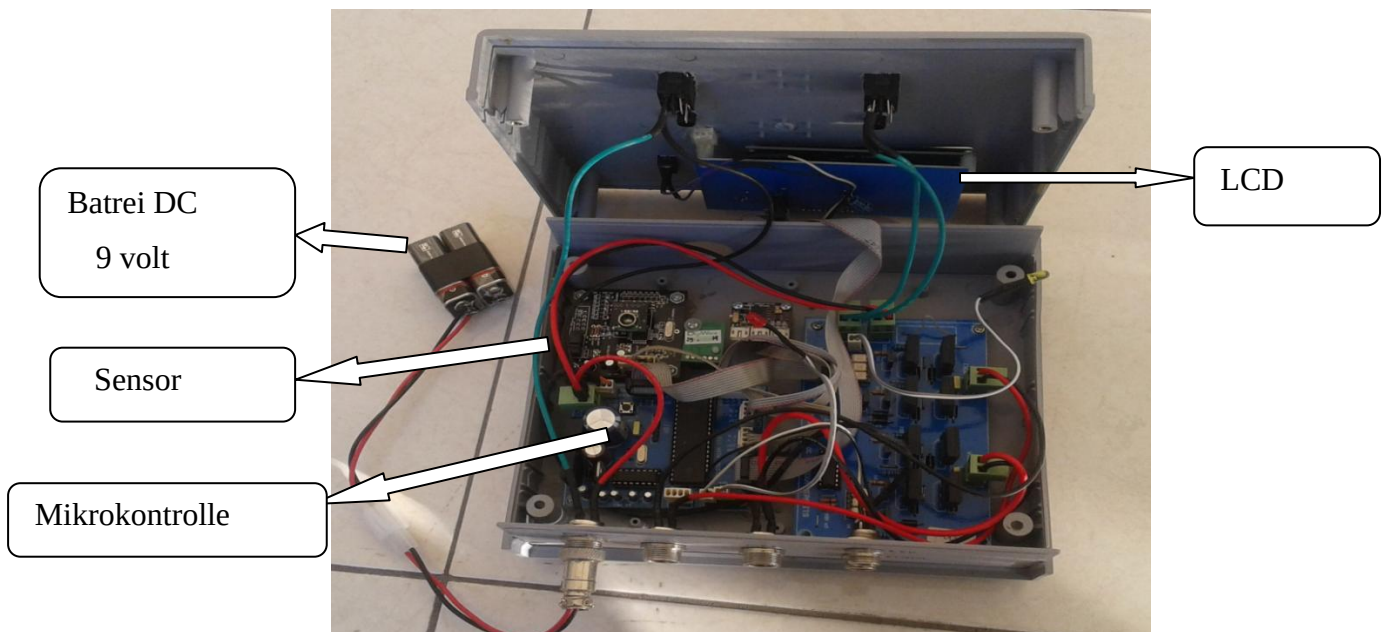
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

1. Rancang Bangun Sensor

Untuk Proses perancangan sensor ketinggian berbasis sensor tekanan atmosfer hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan Sensor Ketinggian Berbasis Sensor Tekanan Atmosfer

Pada prosedur penelitian yang pertama dengan melakukan pembuatan sensor ketinggian berbasis tekanan atmosfer yang di rancang dengan menghubungkan *Barometric Pressure & Temperatur Sensor* dengan mikrokontroller Atmega 8. Pada proses ini master pada *Barometric Pressure & Temperature Sensor* mengirimkan perintah pembacaan dan menampilkan ke LCD menggunakan mikrokontroller Atmega 8. Pada bagian ini mikrokontroller mengirimkan perintah baca tekanan dan baca temperatur *Barometric Pressure & Temperature Sensor*. Setelah data tekanan dan data temperatur diperoleh maka mikrokontroller menampilkan data ini di LCD. Pada prosedur ini pembuatan sensor ketinggian berbasis tekanan atmosfer berhasil dilakukan dan mendapatkan sebuah alat yang telah siap untuk dikalibrasi.

Setelah sensor selesai dirancang maka didapatkan sensor ketinggian berbasis tekanan atmosfer yang siap untuk dikalibrasi. Berikut ini adalah gambar sensor ketinggian berbasis sensor tekanan atmosfer yang siap untuk di kalibrasi.



Gambar 4.2 Sensor Ketinggian Berbasis Tekanan Yang siap Di Kalibrasi

2. Kalibrasi Sensor

Sensor yang telah berhasil dibuat kemudian di kalibrasi yaitu dengan melakukan pengukuran kalibrasi pada titik nol meter di permukaan laut. Hasil Pengukuran untuk kalibrasi terlihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 Hasil Kalibrasi Sensor

Pengukuran ini dilakukan berulang sebanyak lima kali kemudian di ambil nilai rata-rata sebagai titik referensi untuk sensor yang siap dipakai. Hasil dari proses kalibrasi terlihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Kalibrasi Sensor Ketinggian Berbasis Tekanan Atmosfer

No	Tekanan (millibar)	Suhu (°C)
1	1010	26,7
2	1010	27
3	1009,9	27
4	1010	27,1
5	1010,1	26
Rata-rata	1010	26,7

Dari hasil pengukuran ini diperoleh rata-rata nilai tekanan atmosfer dipermukaan laut yang dipakai sebagai data kalibrasi sensor adalah 1010 millibar.

3. Pengambilan Data

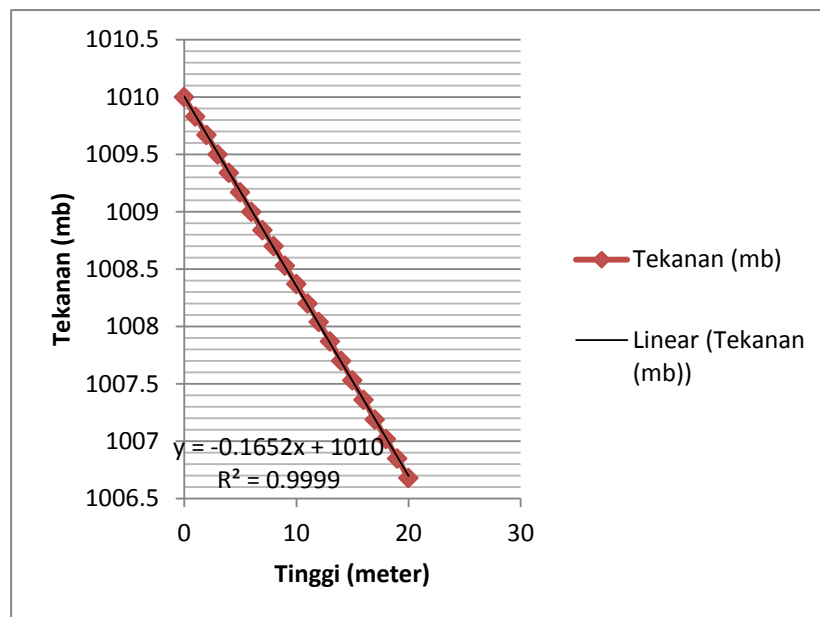
Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil seperti yang tertera pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil pengukuran tekanan atmosfer mulai dari 0 meter laut sampai dengan ketinggian 20 meter

Tinggi (meter)	Tekanan (millibar)
0	1010
1	1009,83
2	1009,67
3	1009,5
4	1009,34
5	1009,17
6	1009
7	1008,84
8	1008,7
9	1008,53
10	1008,37
11	1008,2
12	1008,04
13	1007,87
14	1007,7
15	1007,53
16	1007,36
17	1007,19

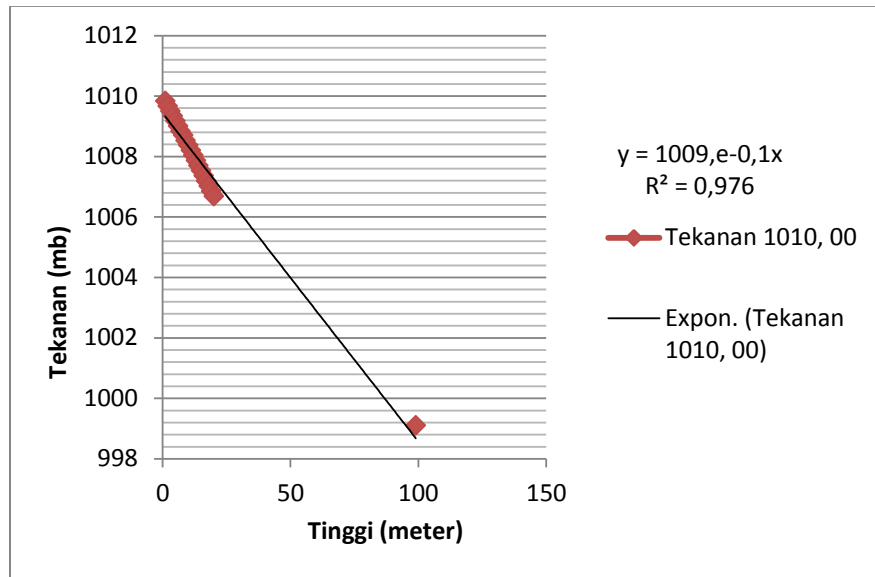
18	1007,02
19	1006,85
20	1006,68

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa setiap perubahan ketinggian satu meter tekanan atmosfer berkurang sebesar 0,166 millibar. Sehingga dari hasil penelitian di dapatkan grafik hubungan antara perubahan ketinggian terhadap perubahan tekanan atmosfer seperti pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Tekanan yang diperoleh dari pengukuran

Kemudian dilakukan juga pengukuran tekanan atmosfer pada ketinggian 99 meter dan didapatkan nilai tekanan atmosfer sebesar 999,1 millibar. Sehingga didapatkan grafik linier antara perubahan ketinggian terhadap perubahan tekanan atmosfer sampai pada ketinggian 99 meter adalah seperti terlihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Grafik Slope yang terbentuk antara perubahan ketinggian terhadap perubahan tekanan atmosfer sampa pada ketinggian 99 meter.

Dari grafik diatas kemudian di bandingkan dengan perhitungan menggunakan persamaan

$$P_h = P_0 e^{-(mgh)/RT}$$

Dengan memisalkan P_h adalah y , P_0 adalah y_0 , mg/RT adalah a , dan h adalah x maka didapat persamaan

$$\begin{aligned} y &= y_0 e^{-ax} \\ &= 1010 e^{-0,1x} \end{aligned}$$

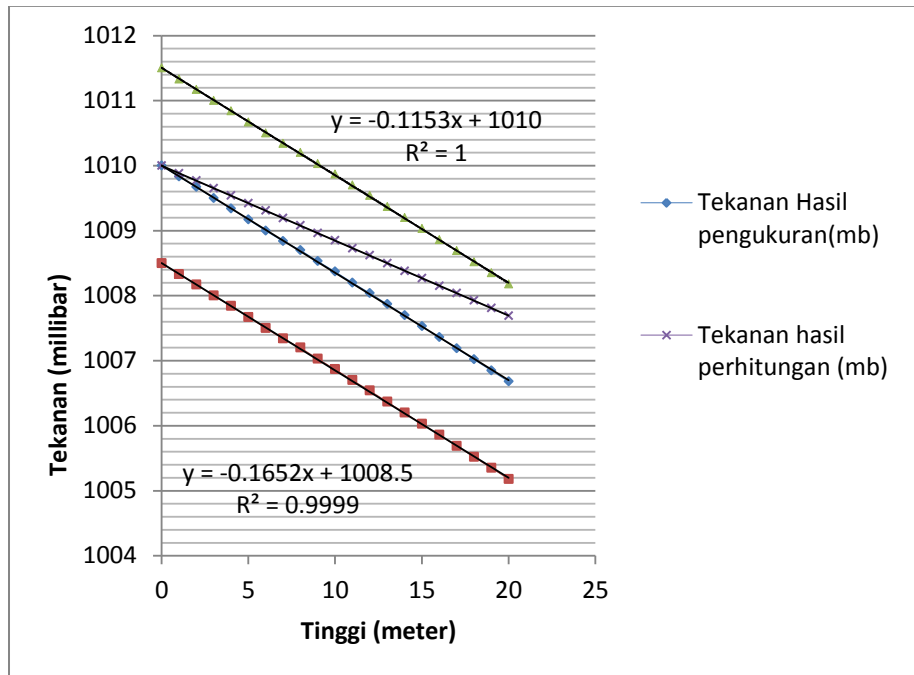
Sehingga dari perhitungan dengan menggunakan persamaan diatas dapat dilihat bahwa ini sesuai dengan nilai yang di tampilkan pada grafik.

Setelah diperoleh hasil pengukuran kemudian di bandingkan dengan menentukan nilai tekanan pada ketinggian yang di ukur dengan menggunakan persamaan (2.3) yang telah tertera pada bab 2. Dan dengan menggunakan persamaan ini maka didapatkan nilai tekanan atmosfer pada ketinggian yang terukur seperti pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Perbandingan nilai tekanan yang terukur dengan nilai tekanan yang dihitung menggunakan persamaan (2.3).

Tinggi (meter)	Tekanan Hasil Pengukuran (millibar)	Tekanan Hasil Perhitungan (millibar)
0	1010	1010
1	1009,83	1009,88
2	1009,67	1009,77
3	1009,5	1009,65
4	1009,34	1009,54
5	1009,17	1009,42
6	1009	1009,31
7	1008,84	1009,19
8	1008,7	1009,08
9	1008,53	1008,96
10	1008,37	1008,85
11	1008,2	1008,73
12	1008,04	1008,62
13	1007,87	1008,5
14	1007,7	1008,38
15	1007,53	1008,27
16	1007,36	1008,15
17	1007,19	1008,04
18	1007,02	1007,93
19	1006,85	1007,81
20	1006,68	1007,69

Dari tabel diatas kemudian didapatkan grafik hubungan antara perbandingan tekanan yang terukur dengan tekanan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.3) terlihat pada Gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Hubungan antara tekanan terukur dengan tekanan hasil perhitungan

4.2 Pembahasan

Setelah semua langkah-langkah penelitian dilakukan sesuai dengan prosedur penelitian yang telah tertera dalam bab 3 maka di dapatkan hasil penelitian seperti yang telah tertera pada hasil diatas. Pada prosedur penenlitan yang pertama penulis telah melakukan pembuatan sensor ketinggian berbasis tekanan atmosfer yang di rancang dengan menghubungkan *Barometric Pressure & Temperatur Sensor* dengan mikrokontroller Atmega 8. Pada proses ini master pada *Barometric Pressure & Temperature Sensor* mengirimkan perintah pembacaan dan menampilkan ke LCD menggunakan mikrokontroller Atmega 8. Pada bagian ini mikrokontoller mengirimkan perintah baca tekanan dan baca temperatur *Barometric Pressure & Temperature Sensor*. Setelah data tekanan dan data temperatur diperoleh maka mikrokontroller menampilkan data ini di LCD. Pada prosedur ini pembuatan sensor ketinggian berbasis tekanan atmosfer berhasil dilakukan dan mendapatkan sebuah alat yang telah siap untuk dikalibrasi.

Kemudian selanjutnya setelah alat yang telah selesai di rancang kemudian di kalibrasi untuk kemudian dapat dipakai untuk melakukan pengambilan data. Pada bagian ini alat yang sudah dirancang dan dibuat dikalibrasi dengan cara melakukan

pengukuran pada nol meter dari permukaan laut dipakai sebagai titik acuan atau referensi pada alat yang telah dibuat. Pada tahapan ini proses berjalan dengan baik dan penulis melakukan pengukuran sebanyak lima kali untuk mendapatkan nilai rata-rata tekanan yang baik dan hasil yang diperoleh adalah penulis mendapatkan data tekanan pada nol meter laut adalah senilai 1010,0 millibar yang dipakai sebagai titik acuan atau referensi pada alat yang dirancang.

Setelah alat yang telah dibuat dikalibrasi kemudian dilakukan pengambilan data tekanan atmosfer dari ketinggian satu meter dari permukaan laut sampai dengan ketinggian 20 meter dari permukaan laut. Dari hasil pengukuran yang diperoleh didapatkan bahwa setiap kenaikan satu meter ketinggian tekanan atmosfer mengalami penurunan sebesar 0,165 millibar. Ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Akhmad (Akhmad, 2013) bahwa Pada umumnya makin tinggi suatu ketinggian dari permukaan laut, tekanan udaranya semakin berkurang, karena jumlah molekul dan atom yang ada di atasnya berkurang. Dengan demikian dapat kita katakan bahwa tekanan udara menurun terhadap ketinggian, begitu juga dengan kerapatan udara. Dan juga yang dikemukakan oleh Suprianto (Suprianto, 2010) bahwa perbedaan ketinggian dan temperatur akan menyebabkan tekanan turun. Hal ini terjadi karena semakin tinggi permukaan semakin tipis pula tingkat kerapatan udara, sehingga menyebabkan penurunan tekanan udara.

Setelah didapatkan data nilai tekanan hasil pengukuran kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.3) untuk mendapatkan data nilai tekanan berdasarkan persamaan yang ada. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan bahwa setiap perubahan ketinggian satu meter tekanan mengalami penurunan sebesar 0,11 millibar.

Kemudian penulis juga melakukan pengukuran tekanan atmosfer pada tempat dengan ketinggian 99 meter dan didapatkan data tekanan atmosfer sebesar 999,1 millibar, jika dilihat dari hasil pengukuran tekanan atmosfer pada 0 meter di permukaan laut yang nilai tekanan atmosfer yang terukur adalah 1010 millibar dan hasil ini kemudian di bandingkan dengan teori yang dikemukakan oleh Suprianto (Suprianto, 2010) yang mengatakan bahwa para ahli telah menetapkan bahwa setiap terjadi perubahan ketinggian sebesar 1.000 meter, tekanan udara akan mengalami penurunan sekitar 100 millibar atau perubahan ketinggian 100 meter tekanan udara

akan mengalami penurunan sebesar 10 millibar. Hal ini terjadi karena semakin tinggi permukaan semakin tipis pula tingkat kerapatan udara, sehingga menyebabkan penurunan tekanan udara yang besarnya sekitar 100 millibar per 1.000 meter. Dan dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa perubahan ketinggian sebesar 99 meter tekanan atmosfer mengalami penurunan sebesar 10,90 millibar. Kemudian dari hasil perhitungan tekanan dengan menggunakan persamaan dan menggunakan nilai tekanan pada altitude nol meter yaitu 1010 millibar sebagai P_0 maka didapatkan penurunan tekanan sampai pada ketinggian 99 meter dari permukaan laut adalah sebesar 11,34 millibar. Jika dilihat dari hasil pengukuran dan hasil perhitungan maka perbedaan nilai tekanan sampai pada ketinggian 99 meter adalah hanya sebesar 0,44 millibar.

Berdasarkan pernyataan yang dikemukakan oleh Suprianto (Suprianto, 2010) yang mengatakan bahwa para ahli telah menetapkan bahwa di permukaan laut tekanan udara berkisar pada angka 76 cmHg (air raksa) atau setara dengan 1013,25 millibar (mb). Namun berdasarkan data tekanan udara di permukaan laut untuk kota Surabaya yaitu 1012 millibar terdapat perbedaan sebesar 1,25 millibar. Perbedaan ini terjadi karena tidak semua tempat di belahan bumi memiliki nilai tekanan udara pada permukaan laut yang sama, ada beberapa negara yang memiliki tekanan udara pada permukaan laut yang sama dan pada negara-negara lain atau pada tempat yang lain yang memiliki tekanan udara pada permukaan laut yang berbeda. Dan berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini bahwa tekanan udara yang diperoleh untuk altitude 0 meter atau tepat di permukaan laut yaitu sebesar 1010 millibar maka ada perbedaan dengan tekanan udara yang ditetapkan oleh BMKG untuk kota Surabaya yaitu 1012 millibar. Perbedaan ini sebesar 2 millibar. Namun berdasarkan akurasi tekanan udara yang dimiliki oleh *Barometric Pressure & Temperature Sensor* yaitu $\pm 1,5$ millibar maka perbedaannya tekanan udara terukur dengan tekanan udaranya hanya berkisar 0,5 millibar.

Dari hasil yang diperoleh setelah mendapatkan data tekanan atmosfer maka bisa di analisis untuk mendapatkan berapa ketinggian dari suatu tempat. Sehingga dari hasil ini juga bisa dipakai pada alat detektor tsunami yang di buat yang untuk menganalisis ketinggian dari gelombang tsunami jika terjadi tsunami. Dengan mengamati gejala tekanan pada cakupan daerah yang luas, bisa lebih akurat para

peramal cuaca bisa lebih akurat meramalkan pergerakan sistem tekanan dan cuaca yang berhubungan dengannya. Misalnya jika ada sebuah pola tekanan yang meningkat di sebuah stasiun pengamatan cuaca biasanya menunjukkan bahwa cuaca buruk dan kemungkinan ada hujan atau badai yang akan terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

Akhmad Fadholi "*Analisa kondisi atmosfer pada kejadian cuaca ekstrim hujan es (Hail)*" Vol. 1 No. 2 (D), September 2012

Akhmad Fadholi "*Studi pengaruh suhu dan tekanan udara terhadap daya angkat pesawat di bandara S. Babulah Ternate*" Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika. Vol. 01, No. 02, Juli 2013

AT, IBM, and PC are trademarks of International Business Machines Corp. "*Barometric Pressure & Temperature Sensor*" Datasheet.

Atmel Corp., "*AVR 8-bit microcontroller atmega 8*" Datasheet, 2008
<http://www.atmel.com>

Bongkosh N. Rittichainnuwat "*Tourists' and tourism suppliers' perceptions toward crisis management on tsunami*" Tourism management 34 (2013) 112-121

C. Cecioni, G. Bellotti, A. Romano, A. Abdolali, P. Sammarco, L. Franco "*Tsunami early warning system based on real-time measurements of hydro-acoustic waves*" Procedia Engineering 70 (2014) 311 – 320

Marhuck, Andrei "*Tsunami wave propagation along waveguides*" Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics Siberian Division Russian Academy of Science 630090, Novosibirsk, Rusia. Science of Tsunami Hazardds ISSN 8755-6839 (2009) Vol 28 (5)

Rina Suryani Oktari "*Effectiveness of Dissemination and Communication Element of Tsunami Early Warning System in Aceh*" Procedia Economics and Finance 18 (2014) 136 – 142

Riyadhi Fernanda "*Perancangan dan Implementasi Sistem Sensing dan Ground Segment untuk Qudrotor APTRG*" Seminar Nasional Penginderaan Jauh, 2014

S. Sreelal "*Data acquisition and processing at ocean bottom for a Tsunami warning system*" Measurement 47 (2014) 475–482

Sugito Nanin Trinawati “ *Tsunami*” Universitas Pendidikan Indonesia. 2008

Supartono Soediatno “*Prototype Payload untuk Roket Uji Muatan*” Electrical Engineering Journal ISSN 1979-2867 Vol.2 (2011) No.1, pp 66-80

Suprianto “*Analisis parameter klimatologi dalam tinjauan konsep fisika dasar di kota Samarinda*” Fisika Mulawarman, Vol.6 No. 2, November 2010

Yono Hadi Pramono “*Pengembangan prototipe sistem sensor dan monitoring on-line tsunami berbasis mikrokontroller dengan protokol TCP/IP*” Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2013

<http://www.csgnetwork.com/barcorrecthcalc.html>

http://www.luizmonteiro.com/altimetry_help_barometric_sea_level_correction.aspx

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah dibuat sensor ketinggian berbasis sensor tekanan atmosfer.
2. Sensor yang dibuat terkalibrasi pada permukaan laut dengan tekanan 1010 hpa/millibar sebagai referensi pengukuran.
3. Telah dilakukan pengukuran tekanan mulai dari nol meter di permukaan laut sampai dengan ketinggian 20 meter. Dari hasil yang diperoleh tiap perubahan ketinggian satu meter tekanan udara mengalami penurunan sebesar 0,165-0,166 hpa/millibar.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini di sarankan kepada para peneliti selanjutnya jika ingin meneliti tentang tekanan atmosfer di suatu daerah atau lokasi tertentu untuk menganalisis ketinggiannya harus mengetahui peta lokasi yang akan diteliti terlebih dahulu.

BIODATA PENULIS



Ledy Manuhutu adalah nama yang diberikan kedua orang tua kepada penulis. Putri kelahiran Haria, 07 maret 1989 ini memulai pendidikan formal di SD YPPK Haria dan lulus pada tahun 2001, kemudian melanjutkan ke sekolah menengah pertama di SMP Negeri 8 Saparua dan lulus pada tahun 2004, setelah itu melanjutkan ke sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Saparua. Setelah lulus kemudian melanjutkan studi ke Universitas Pattimura Ambon dan lulus pada tahun 2007 dan mendapatkan gelar sarjana pendidikan (S.Pd). Kemudian mendapatkan beasiswa dan melanjutkan studi pada program pascasarjana Jurusan Fisika FMIPA di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.