

**ALAT PENGUKUR KETINGGIAN GELOMBANG AIR LAUT DENGAN  
SENSOR ULTRASONIK DAN SISTEM *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

**(Studi Kasus: Pelabuhan Karangantu)**

**Skripsi**

**Diajukan Sebagai Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Starta - 1 (S1) Pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun oleh

**Muhammad Hidayatullah**

**3331200019**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON – BANTEN**

**2024**

## TUGAS AKHIR

### Alat Pengukur Ketinggian Gelombang air Ultrasonik Berbasis Arduino mega Dengan Sistem Internet of Things (IOT)

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

**Muhammad Hidayatullah**  
3331200019

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 03 Juli 2024

**Pembimbing Utama**



Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, MT.  
NIP.196706022001122001

**Anggota Dewan Penguji**



Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.  
NIP.197910302003121001



Ir. Dedy Triawan Suprayogi, ST., M. Eng., Ph. D.  
NIP. 198206212022031001



Shofiatul Ula, M.Eng.  
NIP. 198403132019032009



Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, MT.  
NIP.196706022001122001

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Tanggal, 29 Agustus 2024  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP. 198305102012121006

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Muhammad HidayahTullah

NPM : 3331200019

Judul : Alat Pengukur Ketinggian Gelombang Air Laut Dengan Sensor Ultrasonik dan Sistem Internet Of Things (IoT)

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 9 September 2024



**Muhammad HidayahTullah**  
NPM.3331200019

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Taala, atas rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada Penulis. Sehingga dapat melaksanakan dan menyelesaikan skripsi tugas akhir dengan baik dengan judul “Alat Pengukur Ketinggian Gelombang Air Laut dengan Sensor Ultrasonik dan Sistem *Internet Of Things* (IoT)”. Dengan selesainya tugas akhir ini, maka penulis tidak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Ibu Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, M.T, selaku Dosen Pembimbing 1 serta Dosen Pembimbing Akademik yang selalu membimbing penulis selama penelitian dan perkuliahan.
3. Bapak Ir. Dedy Triawan Suprayogi, M.Eng, PhD, IPM, selaku Dosen Pembimbing 2, yang senantiasa memberikan ilmu dan bimbingannya selama penelitian berlangsung.
4. Ibu Miftahul Jannah S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
5. Seluruh staff dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Muhammad Gunawan dan Arya Prihandhoko selaku teman satu tim dalam TA Kapal Nelayan yang selalu menemani dan saling membantu selama penelitian berlangsung.
7. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan 2020 Univerisitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Seluruh Pihak yang membantu dalam hal praktik maupun teori dalam hal terkait tugas akhir ini.

Penulis menyadari banyak bahwa penyusunan skripsi tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dibutuhkan kritik dan saran yang membangun sehingga penulis dapat memperbaiki tugas akhir pada masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan ilmu pengetahuan bagi para pembacanya.

Cilegon, Maret 2024

Penulis

## ABSTRAK

Alat Pengukur Ketinggian Gelombang Air Laut dengan Sensor Ultrasonik adalah sebuah alat yang mampu mengukur ketinggian gelombang air laut tanpa memerlukan kontak langsung dengan bantuan sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik digunakan sebagai media pengukur karena sensitif terhadap perubahan ketinggian air laut, selain itu biaya yang dibutuhkan tidak terlalu besar, perawatannya mudah, variasi beragam dan suku cadang yang melimpah di pasar lokal. Dengan dilengkapi sistem *Internet of Things* (IoT), hasil pengukuran menggunakan alat tersebut akan lebih mudah didapatkan dan diakses dimanapun melalui smartphone yang memiliki jaringan internet tanpa harus mengoperasikan alat secara langsung. Pada penelitian ini, fokus utama yang dilakukan adalah membuat alat ukur ketinggian gelombang air laut dengan sensor ultrasonik akurasi tinggi yang dilengkapi dengan sistem *Internet of Things* (IoT). Proses kalibrasi akan dilakukan untuk menguji dan mengukur seberapa tinggi akurasi yang dimiliki alat. Selain itu, alat ukur akan diujicobakan di Pelabuhan Karangantu untuk mengetahui apakah alat tersebut berfungsi dengan baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ukur yang telah dibuat memiliki ketelitian yang sangat baik dengan nilai RMSE atau toleransi sebesar 18,209 mm dan akurasi sebesar 98,363% setelah dilakukan kalibrasi, dengan standar deviasi keseluruhan sebesar 8,2014 mm. Kemudian pada pengujian di lapangan, hasil pengukuran gelombang menunjukkan bahwa hasil pengukuran sudah dapat dibaca dengan baik tanpa kendala ketika menjalankan alat.

**Kata kunci:** *Gelombang, Internet of Things, RMSE, Standar Deviasi, Ultrasonik.*

## DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                       | i              |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                   | ii             |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....     | iii            |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                      | iv             |
| <b>ABSTRAK</b> .....                             | vi             |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                          | vii            |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                       | ix             |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                        | xi             |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                         |                |
| 1.1 Latar belakang.....                          | 1              |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                         | 3              |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                      | 3              |
| 1.4 Batasan Masalah .....                        | 3              |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                     | 4              |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                   |                |
| 2.1 <i>State of Art</i> .....                    | 5              |
| 2.2 Gelombang Air Laut .....                     | 6              |
| 2.2.1 Parameter Gelombang.....                   | 7              |
| 2.2.2 Klasifikasi Gelombang Laut .....           | 8              |
| 2.3 Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut..... | 11             |
| 2.4 <i>Internet of Things</i> .....              | 14             |
| 2.5 <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i> .....   | 15             |
| 2.6 Standar Deviasi .....                        | 16             |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>             |                |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian .....                | 18             |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....             | 19             |
| 3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan .....          | 20             |
| 3.3.1 Alat yang Digunakan.....                   | 20             |
| 3.3.2 Bahan yang Digunakan .....                 | 20             |

|     |                               |    |
|-----|-------------------------------|----|
| 3.4 | Metode Pengambilan Data ..... | 24 |
| 3.5 | Metode Pengolahan Data .....  | 25 |
| 3.6 | Konsep Desain .....           | 27 |
| 3.7 | Prosedur Penelitian .....     | 27 |
| 3.8 | Jadwal Kegiatan .....         | 28 |

#### **BAB IV DATA DAN ANALISA**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.1  | Sistem Kerja Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut dengan Sensor Ultrasonik..... | 30 |
| 4.2  | <i>Flowchart</i> Program Alat Ukur .....   | 31 |
| 4.3  | Spesifikasi Alat Ukur Ketinggian Gelombang.....                                    | 35 |
| 4.4  | Skema dan Wiring Diagram Alat .....  | 36 |
| 4.5  | Sistem <i>Internet of Things</i> (IoT).....  | 39 |
| 4.6  | Desain Alat.....   | 42 |
| 4.7  | Kalibrasi Alat .....   | 43 |
|      | 4.5.1 Hasil Kalibrasi Alat .....   | 46 |
| 4.8  | Perhitungan Akurasi Alat .....   | 47 |
| 4.9  | Analisa Hasil Kalibrasi .....  | 54 |
| 4.10 | Percobaan Pengukuran Menggunakan Alat di Lapangan .....                            | 57 |
| 4.11 | Pengolahan Data Hasil Pengukuran di Lapangan .....                                 | 58 |
| 4.12 | Analisa Hasil Pengukuran di Lapangan .....   | 65 |
| 4.13 | Evaluasi Kinerja Alat Ukur Ketinggian Gelombang dengan Sensor Ultrasonik.....      | 68 |

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 5.1 | Kesimpulan ..... | 70 |
| 5.2 | Saran .....      | 70 |

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

- Lampiran 1. Hasil Pengukuran Kalibrasi
- Lampiran 2. Datasheet Komponen
- Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 4. Program Alat



## DAFTAR GAMBAR

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>Gambar 2.1</b> Gelombang Air Laut. ....   | 7              |
| <b>Gambar 2.2</b> <i>Ultrasonic Wave Water Gauge</i> .....   | 12             |
| <b>Gambar 2.3</b> <i>Optical Wave Gauge</i> . ....   | 13             |
| <b>Gambar 2.4</b> <i>Poles Visual Observation</i> .....  | 14             |
| <b>Gambar 2.5</b> Konsep Dasar <i>Internet of Things (IoT)</i> .....   | 15             |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian. ....  | 19             |
| <b>Gambar 3.2</b> JSN-SR04T <i>Ultrasonic Sensor and Module</i> .....  | 20             |
| <b>Gambar 3.3</b> LCD 16x2 I2C. ....   | 21             |
| <b>Gambar 3.4</b> SD-Card Module.....  | 21             |
| <b>Gambar 3.5</b> NodeMCU ESP-WROOM-32. ....   | 21             |
| <b>Gambar 3.6</b> <i>Cable Jumper</i> .....  | 22             |
| <b>Gambar 3.7</b> <i>Bread Board</i> .....   | 22             |
| <b>Gambar 3.8</b> Box Panel.....   | 23             |
| <b>Gambar 3.9</b> <i>Solder Wire</i> . ....  | 23             |
| <b>Gambar 3.10</b> DHT22 <i>Temperature and Humidity Sensor Module</i> . ....  | 23             |
| <b>Gambar 3.11</b> Modul Female 2.54 MM Micro USB. ....  | 24             |
| <b>Gambar 3.12</b> <i>Universal Perforated Solder Circuit Protoboards</i> .....                                      | 24             |
| <b>Gambar 3.13</b> Konsep Desain Alat. ....  | 27             |
| <b>Gambar 4.1</b> Diagram Blok Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut dengan<br>Sensor Ultrasonik.....              | 30             |
| <b>Gambar 4.2</b> <i>Flowchart</i> Program Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut<br>dengan Sensor Ultrasonik. .... | 33             |
| <b>Gambar 4.3</b> Skema Penyusunan Komponen Alat.....  | 36             |
| <b>Gambar 4.4</b> <i>Wiring Diagram</i> Alat. ....   | 37             |
| <b>Gambar 4.5</b> Skema Sistem IoT Alat Ukur. ....   | 40             |
| <b>Gambar 4.6</b> Desain <i>Interface</i> Smartphone dengan aplikasi Blynk IoT. ....                                 | 41             |
| <b>Gambar 4.7</b> Susunan Komponen pada <i>Perforated Board</i> . ....   | 42             |
| <b>Gambar 4.8</b> Gambar 3D Alat.....  | 43             |

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 4.9</b> Skema Kalibrasi Alat. ....   | 43 |
| <b>Gambar 4.10</b> Susunan Komponen Sesuai dengan Skema Pengujian. ....  | 44 |
| <b>Gambar 4.11</b> Mengukur jarak awal dari titik terendah frame.....  | 44 |
| <b>Gambar 4.12</b> Memasukkan <i>SD Card</i> dan Menyambungkan Kabel Daya serta Kabel<br><i>Probe</i> Sensor Ultrasonik..... | 45 |
| <b>Gambar 4.13</b> Melakukan Pembacaan Hasil Pengukuran Dengan Alat Ukur. ....   | 45 |
| <b>Gambar 4.14</b> Hasil Pengukuran ke – 1 pada Percobaan Pertama.....   | 45 |
| <b>Gambar 4.15</b> Mengukur Kembali Jarak Antara <i>Probe</i> dan Permukaan Air.....   | 46 |
| <b>Gambar 4.16</b> Kurva Histerisis Kalibrasi ke-1. ....   | 54 |
| <b>Gambar 4.17</b> Kurva Histerisis Kalibrasi ke-2. ....   | 55 |
| <b>Gambar 4.18</b> Skema Pengujian di Lapangan.....  | 57 |
| <b>Gambar 4.19</b> Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran ke-1. ....   | 65 |
| <b>Gambar 4.20</b> Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran ke-2. ....   | 66 |
| <b>Gambar 4.21</b> Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran ke-3. ....   | 67 |

## DAFTAR TABEL

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>Tabel 4.1</b> Spesifikasi Alat. ....                                | 35             |
| <b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengukuran Kalibrasi Alat. ....                 | 46             |
| <b>Tabel 4.3</b> Data Hasil Kalibrasi ke – 1. ....                     | 49             |
| <b>Tabel 4.4</b> Data Hasil Kalibrasi ke – 2. ....                     | 50             |
| <b>Tabel 4.5</b> Hasil Perhitungan Standar Deviasi Individual. ....    | 53             |
| <b>Tabel 4.6</b> <i>Raw Data</i> Hasil Pengukuran di Lapangan. ....    | 58             |
| <b>Tabel 4.7</b> Hasil Perhitungan Nilai Karakteristik Gelombang. .... | 61             |
| <b>Tabel 4.8</b> Hasil Pengukuran Gelombang Air Laut. ....             | 63             |
| <b>Tabel 4.9</b> Tabel Data Hasil Analisa Pengujian Lapangan. ....     | 68             |

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar belakang

Indonesia merupakan negara maritim, dimana wilayah negaranya meliputi 70% lautan dan 30% daratan, memiliki lebih dari 17.000 pulau, dengan garis pantai membentang luas lebih dari 99.000 km. Hal ini menyebabkan Indonesia memiliki potensi yang sangat besar di bidang kelautan dan perikanan [1]. Karena hal tersebut pembangunan di sektor tersebut terus berkembang sejalan dengan potensi yang dimiliki. Berdasarkan catatan Kementerian Perhubungan, jumlah pelabuhan di Indonesia meningkat sebanyak 38,6% di tahun 2020 dari tahun sebelumnya. Pada tahun yang sama, panjang dermaga yang dibangun mencapai 1.172 meter, menunjukkan kenaikan sebesar 41,3% dari panjang dermaga pada tahun sebelumnya yang mencapai 688 meter. Dengan demikian, total panjang dermaga yang ada menjadi 43.144 meter pada tahun 2020. Berdasarkan data diatas, dapat diketahui bahwa di tahun-tahun yang akan datang, aktivitas yang berada di area perairan ataupun pesisir pantai akan semakin meningkat lagi. Oleh karena itu, tingkat keamanan atau *safety* dari area pelabuhan, wisata, atau lain sebagainya harus semakin ditingkatkan. Salah satu contoh faktor yang bisa mengancam aktivitas di pelabuhan adalah gelombang air laut. Ada banyak sekali pengaruh yang diberikan oleh gelombang air laut, contohnya seperti di bidang infrastruktur dimana gelombang air laut yang berukuran cukup besar, akan mengakibatkan erosi bahkan kerusakan struktural langsung dari dermaga pelabuhan. Selain itu juga, gelombang air laut juga bisa berdampak di sektor ekonomi contohnya seperti kerusakan kerusakan kapal sebagian besar diakibatkan oleh gelombang air laut yang cukup tinggi, kemudian segala bentuk aktivitas pelabuhan seperti bongkar muat kapal bisa sangat terganggu oleh adanya gelombang air laut yang besar. Salah satunya seperti yang dilaporkan oleh CNN Indonesia bahwa telah terjadi kecelakaan pada 24 Desember 2022 di Pelabuhan Merak, satu unit mobil jenis minibus berisikan

dua orang tercebur di Dermaga 2 ketika hendak masuk kedalam kapal. Diduga hal ini terjadi akibat kesalahan dalam memperkirakan cuaca, sehingga terjadi kecelakaan yang tidak diinginkan. Selain itu, cuaca buruk kerap kali mengganggu proses bongkar muat kapal yang beroperasi di sekitar pelabuhan sehingga proses analisa lingkungan di sekitar pelabuhan perlu ditingkatkan lagi agar hal serupa tidak terulang.

Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan adanya pemantauan yang akurat dan real-time yang dapat memberikan informasi untuk mengambil tindakan preventif, seperti evakuasi, penutupan pelabuhan, dan perlindungan infrastruktur. Umumnya, pengukuran ketinggian gelombang dilakukan dengan menggunakan alat-alat mekanis dan *buoy* pengukur gelombang. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti biaya produksi yang besar, pemeliharaan yang tidak mudah serta tidak cocok untuk pelabuhan-pelabuhan kecil seperti yang banyak terdapat di Indonesia. Oleh karena itu pada penelitian kali ini, dibuat sebuah alat ukur yang mampu melakukan pengukuran ketinggian gelombang air laut secara real time, akurat, dan dapat diandalkan. Dikarenakan perkembangan teknologi sensor dan Internet of Things yang semakin canggih, maka dari itu diputuskanlah untuk membuat alat ukur ketinggian gelombang air laut yang menggunakan sensor ultrasonik serta dilengkapi dengan sistem Internet of Things (IoT). Hal ini bertujuan untuk menggantikan proses pengukuran konvensional sehingga proses pengukuran dapat dilakukan secara terus menerus atau real time tanpa memerlukan operator yang harus selalu sedia disamping alat ukur. Pemilihan sensor ultrasonik juga dikarenakan sensor jenis ini memiliki akurasi yang sangat baik untuk mengukur jarak dan sensitif terhadap perubahan jarak sehingga sangat cocok untuk digunakan sebagai media untuk mengukur ketinggian gelombang air laut. Alasan lainnya yaitu, sensor ultrasonik memiliki suplier yang cukup banyak di Indonesia, sehingga variasi dan suku cadangnya banyak tersedia di market place dengan harga yang tidak terlalu mahal dan proses perawatan yang tidak sulit.

Pada penelitian ini, selain membuat alat ukur fokus selanjutnya adalah untuk melakukan pengujian yang menguji seberapa baik akurasi dari alat ukur

yang dimiliki oleh alat ukur yang telah dibuat. Pengujian akan dilakukan di Pelabuhan Karangantu dimana lokasi ini terpilih sebagai lokasi uji coba dikarenakan memiliki aktivitas pelabuhan yang cukup padat dan ukurannya tidak terlalu besar sehingga sangat rawan terganggu jika terjadi gelombang air laut yang cukup besar. Selain disebabkan akibat pasang surut air laut dan ombak, aktivitas kapal nelayan yang sering keluar masuk pelabuhan tentunya akan menghasilkan gelombang air juga yang mana nantinya dapat berdampak pada infrastruktur ataupun kegiatan seperti bongkar muat dan lain sebagainya. Sehingga, dengan melakukan pengujian lapangan di pelabuhan karangantu dapat menjadi sebuah proses validasi untuk menyatakan apakah alat ukur yang dibuat sudah layak digunakan atau tidak.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penelitian kali ini dilaksanakan dengan sebuah permasalahan sebagai dasarnya. Adapun Permasalahan yang ingin dipecahkan selama penelitian yang dilakukan kali ini, yaitu untuk mengetahui bagaimana perancangan dan pembuatan alat ukur ketinggian gelombang air laut dengan sensor ultrasonik yang dilengkapi sistem Internet of Things (IoT) dan memiliki kinerja serta akurasi yang baik.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian yang dilakukan kali ini memiliki tujuan yang ingin dicapai yaitu untuk membuat sebuah alat ukur ketinggian gelombang air laut dengan sensor ultrasonik yang memiliki akurasi tinggi dengan sistem otomatisasi Internet of Things (IoT) serta mempunyai kinerja yang baik untuk penggunaan di lapangan.

## **1.4 Batasan Masalah**

Berikut ini merupakan batasan-batasan yang diterapkan agar penelitian yang dilakukan bisa terfokus dalam memenuhi tujuannya, yaitu:

1. Perancangan dan pembuatan alat didasarkan pada kondisi dan permasalahan yang terdapat di pelabuhan Karangantu.

2. Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik JSN-SR04T .
3. Sistem IoT yang digunakan merupakan sistem yang berbasis android.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang bisa diperoleh dari penelitian yang dilakukan kali ini, yaitu:

1. Mempermudah proses pengukuran karena bersifat otomatis dengan menggunakan sensor ultrasonik yang memiliki akurasi tinggi.
2. Mempermudah proses analisa ketinggian gelombang air laut dengan memanfaatkan sistem *Internet of Things* (IoT) yang terpasang berbasis *Smartphone* dengan OS Android.
3. Pemerintah provinsi banten, dapat memanfaatkan hasil penelitian untuk membantu para operator pelabuhan agar mampu mengetahui kondisi ketinggian gelombang air laut yang dihasilkan kapal lewat secara *real time* dengan mudah.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *State of Art***

Pada penelitian yang dilakukan ini, terdapat beberapa referensi yang digunakan sebagai dasar teori dan tinjauan pustaka. Referensi yang dicantumkan pada penelitian kali ini digunakan sebagai acuan dan pembaruan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini berguna untuk membantu peneliti untuk melakukan riset untuk pengembangan topik dan mempermudah proses penelitiannya. Ada beberapa hal yang menjadi fokus peneliti dalam menggunakan referensi-referensi tersebut, yaitu mengetahui metode, tujuan, masalah yang dihadapi, hingga hasil akhir pada setiap penelitian. Beberapa hal tersebut nantinya akan dibandingkan dan dicari yang terbaik untuk digunakan pada penelitian kali ini. Ada beberapa referensi yang digunakan pada penelitian ini sebagai tinjauan pustaka.

Referensi pertama yaitu hasil penelitian oleh Nabil Amirul Haq dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2020. Nabil mengembangkan alat pengukur ketinggian air laut dengan biaya rendah yang menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler dan sistem Internet of Things (IoT). Alat ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi jarak antara *probe* dan air, memungkinkan pengukuran ketinggian gelombang secara real-time. Data yang terkumpul diunggah dan dimonitor melalui server web. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan pengukuran alat dengan pengamatan langsung. Hasilnya menunjukkan tingkat kesalahan relatif dan RMSE yang rendah, terutama dengan metode moving median yang memberikan hasil terbaik. Alat ini memiliki akurasi yang sangat baik yaitu sebesar 99,7%, sementara biayanya hanya 7,5% dari harga tide gauge terendah, yaitu sekitar Rp. 2.240.000,-.



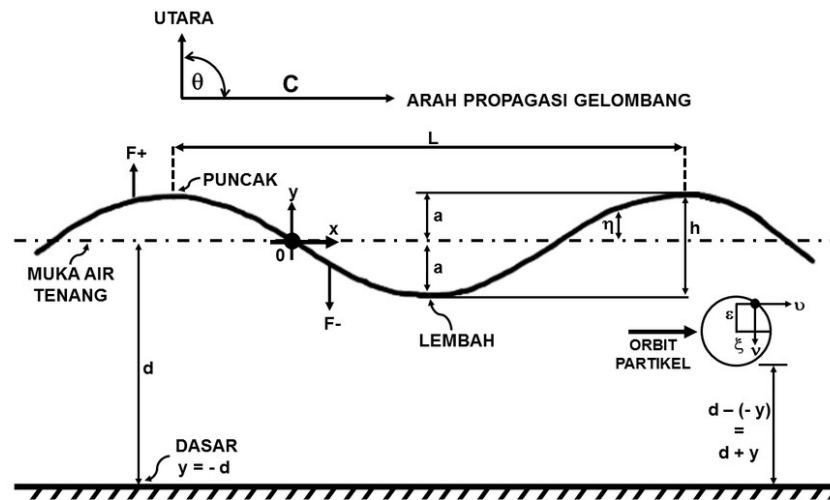
Kemudian referensi selanjutnya, yaitu penelitian tentang Rancang Bangun Alat Ukur Tinggi Gelombang Air Laut Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno yang dilakukan oleh Amdani di Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang, pada tahun 2019. Pada penelitian kali ini, Amdani membuat sebuah alat ukur gelombang dengan sensor ultrasonik yang mengukur ketinggian gelombang dan menyimpan hasil pengukuran pada *storage* secara *offline*. Metode yang digunakan merupakan metode eksperimental dan pengujian dibantu dengan *wave tank*. Hasil pengujian alat membuktikan bahwa dari 10 kali percobaan yang dilakukan, didapat nilai rata-rata *error* yang sebesar 0,99% yang berarti alat tersebut memiliki akurasi sebesar 99%.

Lalu ada juga penelitian dilakukan oleh Sri Suharyo dari Sekolah Tinggi Angkatan Laut Surabaya pada tahun 2018. Penelitian ini berfokus untuk membuat sebuah alat ukur gelombang permukaan laut menggunakan sensor ultrasonik yang memiliki presisi tinggi. Alat ini mampu melakukan pengukuran secara *real time* dan *up to date* dari posisi alat (pengirim) menuju komputer kerja user (penerima) maksimum sejauh 1 km. Pada pengujian yang dilakukan di laboratorium menunjukkan bahwa alat tersebut memiliki akurasi sebesar 97,36% dan pada pengujian di lapangan sebesar 95,82%.

## 2.2 Gelombang Air Laut

Gelombang adalah fenomena di mana molekul air laut mengalami gerakan naik dan turun, membentuk puncak dan lembah pada permukaan laut. Proses ini terjadi saat energi dari tengah lautan mengarah ke pantai. Gelombang sebenarnya merupakan pergerakan vertikal air laut, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti angin dan gempa laut. Dalam hal ini, energi yang ditransfer dari angin ke permukaan air laut atau pergeseran lempeng bumi di dasar laut dapat memicu pembentukan gelombang. Gerakan gelombang ini dapat memiliki dampak yang signifikan pada lingkungan laut dan berbagai aktivitas manusia yang terkait dengan laut, seperti navigasi, penangkapan ikan, dan konstruksi pantai [3]. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi pembentukan gelombang laut meliputi kecepatan dan arah angin, durasi angin

yang berlangsung, serta jarak atau area permukaan air (*fetch*) di mana angin dapat mengumpulkan energi untuk membentuk gelombang.



**Gambar 2.1** Gelombang Air Laut.

(Sumber: Hartono et al., 2022)

Semakin besar kecepatan angin dan *fetch*, semakin tinggi gelombang yang dihasilkan. Selain itu, kedalaman perairan juga mempengaruhi karakteristik gelombang, dengan perairan dangkal cenderung menghasilkan gelombang yang lebih pendek dan lebih tinggi dibandingkan dengan perairan dalam. Proses-proses seperti perbedaan suhu dan tekanan udara juga dapat berkontribusi pada pembentukan gelombang laut, tetapi secara umum, interaksi antara angin dan permukaan air adalah faktor dominan dalam membentuk gelombang laut yang dapat memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan dan aktivitas manusia di laut.

### 2.2.1 Parameter Gelombang

Parameter gelombang merupakan variabel-variabel yang digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik dan sifat-sifat gelombang. Dalam studi gelombang, beberapa parameter kunci digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik dan perilaku gelombang, di antaranya adalah amplitudo ( $A$ ), periode ( $T$ ), dan frekuensi ( $f$ ). Memahami ketiga parameter ini sangat penting dalam berbagai aplikasi, termasuk di bidang kelautan, telekomunikasi, dan fisika. Berikut ini penjabaran yang lebih rinci terkait parameter – parameter tersebut.

### 1. Amplitudo

Amplitudo ( $A$ ) adalah salah satu parameter utama yang mengukur nilai simpangan terjauh pada gelombang dari posisi keseimbangannya [4]. Nilai amplitudo juga merupakan nilai yang menentukan tinggi atau intensitas gelombang. Semakin besar amplitudo, semakin besar energi yang dibawa oleh gelombang tersebut. Dalam konteks gelombang air yang dihasilkan oleh kapal, amplitudo mengukur tinggi gelombang, yang dapat mempengaruhi stabilitas dan keselamatan kapal lain di sekitarnya.

### 2. Periode

Periode ( $T$ ) adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus lengkap gelombang untuk melewati titik tertentu. Periode memberikan informasi tentang seberapa cepat atau lambat gelombang berulang. Periode diukur dalam satuan waktu, seperti detik (s). Dalam konteks gelombang air di pelabuhan, periode yang lebih pendek dapat menunjukkan gelombang yang lebih sering dan lebih cepat, yang bisa menimbulkan gangguan yang lebih besar pada aktivitas pelabuhan.

### 3. Frekuensi

Frekuensi ( $f$ ) adalah jumlah siklus gelombang yang terjadi dalam satu detik. Frekuensi diukur dalam hertz (Hz), dimana 1 Hz sama dengan 1 siklus per detik. Frekuensi memberikan informasi tentang seberapa sering gelombang berulang dalam satuan waktu tertentu. Frekuensi yang lebih tinggi berarti gelombang lebih sering terjadi dalam waktu tertentu, yang dapat berimplikasi pada desain dan pengaturan struktur pelindung di pelabuhan. Hubungan antara frekuensi ( $f$ ) dan periode ( $T$ ) dinyatakan dalam persamaan:

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.1)$$

## 2.2.2 Klasifikasi Gelombang Laut

Gelombang laut dapat dibedakan menjadi berbagai macam jenisnya. Hal ini didasarkan oleh 2 (dua) parameter, yaitu berdasarkan

sifatnya serta berdasarkan ukuran dan penyebabnya. Berikut ini merupakan klasifikasi gelombang laut secara umum.

#### 1. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Sifatnya

Pada jenis ini, gelombang akan dibedakan berdasarkan sifat dan karakteristiknya. Hal ini meliputi dari ketinggian gelombang dan kecepatan rambatnya. Berikut ini adalah klasifikasinya, yaitu:

##### a. Gelombang Konstruktif

Gelombang jenis ini merupakan jenis gelombang yang terbentuk oleh arah tiupan angin yang searah. Ketika angin bertiup dalam arah yang seragam, gelombang konstruktif terbentuk karena interaksi gelombang-gelombang yang saling memperkuat satu sama lain [5]. Ketika gelombang laut konstruktif terjadi, puncak gelombang bertemu dengan puncak gelombang lainnya, dan lembah gelombang bertemu dengan lembah gelombang lainnya. Akibatnya, amplitudo gelombang yang dihasilkan menjadi lebih besar daripada gelombang individu yang bertemu.

##### b. Gelombang Destruktif

Gelombang laut destruktif adalah fenomena di mana gelombang-gelombang laut bertemu dan saling membatalkan satu sama lain, menghasilkan kondisi yang lebih tenang atau bahkan lebih rendah dari kondisi gelombang awal. Fenomena ini biasa terjadi pada musim peralihan. Hal ini dikarenakan selama musim peralihan, arah tiupan angin tidak stabil dan seringkali tidak mengarah pada satu arah tertentu; bahkan terkadang arah angin saling bertentangan. Hal ini mengakibatkan terbentuknya gelombang yang cenderung bersifat destruktif, yang saling melemahkan satu sama lain sehingga rata-rata tinggi gelombangnya lebih rendah. Dalam gelombang laut destruktif, puncak gelombang bertemu dengan lembah gelombang, atau sebaliknya, yang menghasilkan pembatalan atau pengurangan amplitudo (tinggi) gelombang-gelombang tersebut [6].

## 2. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Ukuran dan Penyebabnya

Klasifikasi ini mengacu pada cara mengelompokkan gelombang laut berdasarkan karakteristik fisiknya dan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gelombang tersebut. Berikut ini adalah klasifikasinya, yaitu:

### a. Gelombang Kapiler

Gelombang jenis ini terbentuk karena adanya interaksi antara molekul-molekul air dan tegangan permukaan yang disebabkan oleh gaya kohesi antara molekul-molekul air. Angin yang tidak terlalu kuat dapat memengaruhi gelombang kapiler dengan memberikan energi tambahan, tetapi gelombang kapiler itu sendiri lebih banyak dipengaruhi oleh sifat-sifat permukaan air laut daripada oleh angin itu sendiri. Memiliki panjang gelombang 1,7 meter dan periode gelombang tidak lebih dari 0,2 detik.

### b. Gelombang Angin

Gelombang angin adalah gelombang yang terbentuk di permukaan air laut sebagai hasil dari gesekan antara angin dan permukaan air. Angin yang bertiup di atas permukaan air laut mendorong gerakan air yang menghasilkan gelombang-gelombang. Karakteristik gelombang angin, seperti tinggi, panjang, dan kecepatan, tergantung pada kecepatan dan arah angin, serta durasi dan jarak yang ditempuh oleh angin di atas permukaan air. Akan tetapi, gelombang ini biasanya memiliki panjang gelombang kurang lebih 130 meter dan periode 0,2 – 0,9 detik.

### c. Gelombang Pasang Surut

Gelombang ini memiliki panjang gelombang beberapa kilometer dengan periode sekitar 5 jam, 12 jam, dan 25 jam. Gelombang pasang surut terjadi karena gaya gravitasi Bulan dan Matahari menarik air laut, yang menyebabkan naiknya permukaan air laut (pasang) dan penurunannya (surut). Ketika Bulan dan Matahari berada dalam posisi tertentu terhadap Bumi, seperti pada fase bulan purnama dan bulan baru, gaya tarik gravitasi mereka

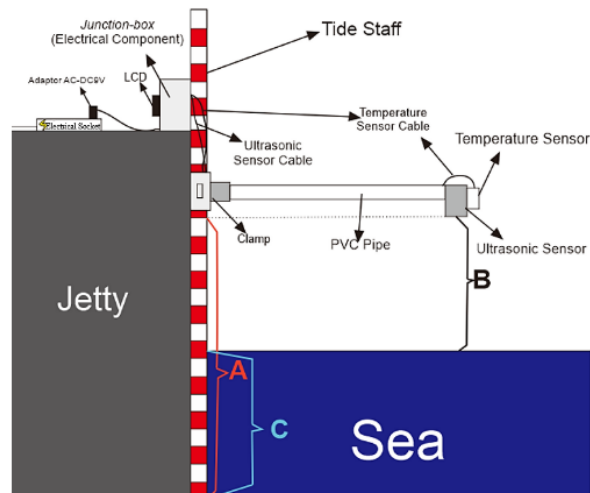
bertambah, yang menghasilkan pasang surut yang lebih tinggi (pasang laut tinggi) dan lebih rendah (surut laut rendah) [7].

### 2.3 Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut

Alat pengukur gelombang air laut merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur ketinggian gelombang di perairan secara *real time* sehingga mampu memberikan informasi penting yang bisa berguna untuk navigasi kapal, prediksi cuaca, penelitian oseanografi, serta manajemen pantai atau pelabuhan (Sri Suharyo, 2018). Sebagai suatu alat ukur yang sering digunakan untuk mengetahui informasi terkait gelombang air di perairan, alat ukur ini memiliki beberapa jenis yang mana memiliki media pengukur dan prinsip kerja yang berbeda [8]. Masing-masing jenis ini memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing sehingga penggunaannya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi di lapangan. Berikut ini merupakan jenis-jenis alat ukur gelombang air yang banyak digunakan dan dikembangkannya dalam satu dekade terakhir, yaitu:

#### 1. *Ultrasonic Wave Water Gauge*

Alat ukur gelombang air yang satu ini merupakan salah satu alat yang paling banyak dikembangkan saat ini. Prinsip kerja dari alat ini sendiri yaitu menggunakan sensor ultrasonik yang dioperasikan untuk menembak gelombang suara ultrasonik ke arah permukaan air secara vertikal dan menerima kembali gelombang suara ultrasonik tersebut sehingga kemudian dapat dikalkulasikan jarak yang terdapat antara *probe* dengan permukaan air [9]. Alat ini mampu menghasilkan data secara *real time* dan otomatis, sehingga memudahkan dalam penggunaannya. Dalam pengembangannya, alat ini mulai dilengkapi dengan sistem otomatisasi yang bisa membantu dalam pemrosesan data seperti menggunakan sistem *Internet of Things* yang akan membantu pemrosesan data. Selain itu, alat ini juga biasa dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler seperti Arduino sehingga penambahan fitur seperti wifi dan GSM *module* yang memungkinkan alat bisa di kontrol melalui internet maupun SMS di *smartphone* [10].



**Gambar 2.2** *Ultrasonic Wave Water Gauge.*

(Sumber: Haq et al., 2021)

## 2. *Optical Wave Gauge*

*Optical Wave Gauge* merupakan suatu alat untuk mengukur ketinggian gelombang air yang menggunakan bantuan kamera dengan prinsip triangulasi optik. Cara kerja alat ini yaitu menggunakan sumber LASER yang kemudian diarahkan secara vertikal ke bawah atau permukaan air untuk menghasilkan titik cahaya yang tersebar pada permukaan air. Titik ini kemudian ditangkap oleh kamera video di luar sumbu, yang kemudian akan mengukur tinggi gelombang dengan komputer untuk memproses gambar titik tersebut. Posisi titik pada gambar diubah menjadi nilai ketinggian menggunakan fungsi polinomial yang telah ditetapkan pada saat kalibrasi awal [11].

Hasil pengujian yang telah dilakukan menyatakan bahwa Dibandingkan dengan *conductivity wave gauge*, *optical wave gauge* ini dapat memberikan hasil yang lebih baik. Selain itu ada juga penelitian yang lebih maju yang telah dilakukan, dimana *Optical Wave Gauge* kini sudah dilengkapi dengan teknologi pemrosesan gambar yang lebih canggih contohnya yaitu teknologi *convolutional neural network* (CNN). Teknologi ini merupakan filter yang dirancang untuk mencari pola atau fitur tertentu dalam gambar, dimulai dari fitur rendah seperti tepi dan bintang gelap, hingga

fitur menengah seperti sudut, kontur, dan kumpulan tepi, hingga fitur tinggi seperti objek dan tekstur dengan struktur yang lebih besar [12].



**Gambar 2.3** *Optical Wave Gauge.*

(Sumber: Buscombe et al., 2020)

### 3. *Wave Radar*

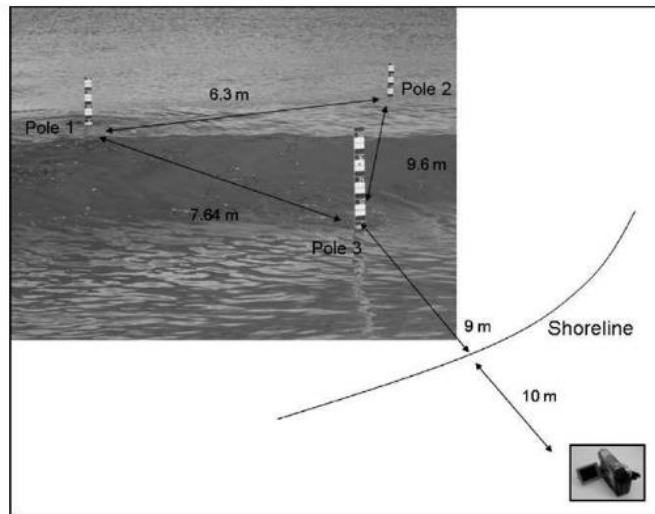
Banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk mengembangkan sensor radar dan menggunakannya untuk mengukur ketinggian gelombang air. Prinsip kerja alat ini mirip dengan *ultrasonic wave gauge* yang menggunakan gelombang suara sebagai media untuk mengukur jarak, hanya saja sensor ini mengeluarkan gelombang akustik dengan frekuensi yang lebih rendah yang kemudian pantulannya akan ditangkap kembali oleh *decoder* [13]. Alat ini dapat memberikan informasi yang cepat dan akurat tentang kondisi gelombang di lokasi pengamatan air.

### 4. *Poles Visual Observation*

Alat ukur gelombang jenis ini merupakan jenis alat ukur yang bersifat manual. Hal ini dikarenakan, prinsip kerja alat ini yaitu mengukur ketinggian gelombang air dengan menggunakan sebuah tiang pancang yang disusun menjadi 3 (tiga) kutub [14]. Proses pengukuran dilakukan dengan bantuan *video recorder* yang akan merekam ketinggian air berdasarkan kedalaman tiang pancang yang tergenang oleh air ketika terdapat sebuah gelombang air. Oleh karena itu, alat ini merupakan satu-satunya alat yang



tidak memerlukan biaya paling sedikit, dan memiliki proses pengaplikasian yang mudah.



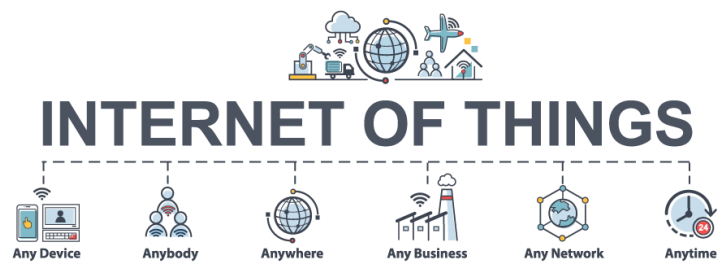
**Gambar 2.4** *Poles Visual Observation.*

(Sumber: Velegrakis et al., 2007)

## 2.4 *Internet of Things*

*Internet of Things* atau biasa disingkat IoT merupakan suatu konsep yang menghubungkan berbagai macam komponen mulai dari objek fisik seperti perangkat elektronik dan dan kendaraan hingga manusia itu sendiri sehingga dapat saling terhubung dan berkomunikasi melalui internet. Berdasarkan sejarahnya, *Internet of Things* pertama kali diusulkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999. Akan tetapi, meskipun pertama kali diusulkan oleh Kevin, konsep dari *Internet of Things* pertama kali diciptakan dan diperkenalkan oleh MIT, Auto-ID Center dan terkait erat dengan RFID, serta kode produk elektronik. IoT secara harfiah berarti suatu benda fisik yang dapat terhubung satu sama lain, suatu komunikasi dari suatu mesin ke mesin lainnya, dan manusia ke suatu mesin atau komputer [15]. Perkembangan teknologi seperti sensor, RFID, teknologi nano, dan miniaturisasi mendorong perkembangan IoT menjadi suatu teknologi menuju masa depan. Konsep *Internet of Things* saat ini sangat dipengaruhi oleh perkembangan komputasi dan jaringan yang tersebar luas di seluruh dunia serta perkembangan Internet di masa mendatang. *Internet of things* adalah teknologi baru yang hadir untuk

merevolusi dunia melalui koneksi beberapa perangkat ke Internet membuat planet yang lebih pintar dan cerdas. Sebagai pekerjaan di masa depan, diusulkan untuk mengembangkan dan memperkuat *Internet of Things*, melalui integrasi teknologi ini dengan radio kognitif, *Blockchain* dan data besar, untuk membawa semua informasi dengan efisiensi dan keamanan dan kemudian menerapkan teknik pembelajaran yang mendalam dan memperoleh hasil dari sumber yang berbeda [16].



**Gambar 2.5** Konsep Dasar *Internet of Things* (IoT).

(Sumber: [www.smartrek.io](http://www.smartrek.io))

## 2.5 *Root Mean Square Error* (RMSE)

*Root Mean Square Error* (RMSE) salah satu metode perhitungan yang paling umum digunakan untuk mengukur akurasi model regresi. Pengertian umum dari RMSE itu sendiri yaitu akar kuadrat dari rata-rata kuadrat kesalahan yang dihasilkan dari perhitungan suatu metode. Metode ini membandingkan nilai yang diprediksi oleh model hipotetis dengan nilai dari hasil pengamatan, sehingga RMSE mengukur kualitas kesesuaian antara data aktual dan model prediksi [17]. Berdasarkan sejarahnya *Metode Root Mean Square Error* (RMSE) tidak memiliki penemu tunggal yang dapat diatributkan karena RMSE adalah konsep matematika dasar yang telah berkembang seiring dengan perkembangan statistik dan analisis data. Namun, akar dari konsep RMSE dapat ditelusuri kembali ke perkembangan teori statistik dan kesalahan pengukuran di awal abad ke-19 dan ke-20. Adapun rumus perhitungan untuk metode RMSE adalah sebagai berikut [17]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - A_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$O_i$  = Nilai Hasil Pengukuran dalam periode  $i$

$A_i$  = Nilai Aktual dalam periode  $i$

$n$  = Jumlah Data

## 2.6 Standar Deviasi

Secara garis besar standar deviasi dapat diartikan sebagai sebuah metrik statistik yang mengukur seberapa tersebar atau bervariasinya data dalam suatu himpunan data, dan digunakan secara luas di berbagai bidang. Dalam statistik deskriptif, ini membantu mengukur variabilitas dan membandingkan kumpulan data. Di bidang keuangan, standar deviasi digunakan untuk mengukur volatilitas harga aset dan risiko investasi. Dalam penelitian sosial, ini digunakan untuk menilai variabilitas hasil dan pengaruh variabel. Standar deviasi juga penting dalam kontrol kualitas manufaktur, evaluasi kinerja pendidikan, preprocessing data dalam ilmu data, dan peramalan cuaca. Secara keseluruhan, standar deviasi membantu memahami distribusi data dan membuat keputusan berdasarkan data yang tersedia.

Dasar penghitungan standar deviasi adalah keinginan untuk memahami variasi atau keragaman dalam suatu kelompok data. Salah satu metode untuk mengetahui keragaman ini adalah dengan mengurangkan setiap nilai data dari rata-rata kelompok data tersebut, lalu menjumlahkan semua hasil pengurangan tersebut. Namun, karena jumlah hasil pengurangan ini selalu bernilai nol, kita kemudian mengkuadratkan setiap selisih, menjumlahkan hasil kuadrat tersebut, dan akhirnya mengambil akar kuadrat dari rata-rata hasil kuadrat ini untuk mendapatkan nilai standar deviasi [18]. Standar deviasi dapat digunakan untuk menganalisa suatu sampel dari sebuah populasi (*Individual*) ataupun menganalisa keseluruhan populasi (*Pooled*). Untuk perhitungannya sebagai berikut :

$$ST.DEV (Individual) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$ST.DEV (Pooled) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(n_i-1) \cdot S_i^2}{n_i-1}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$X_i$  = Nilai hasil pengukuran pada (i) Periode

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata hasil pengukuran

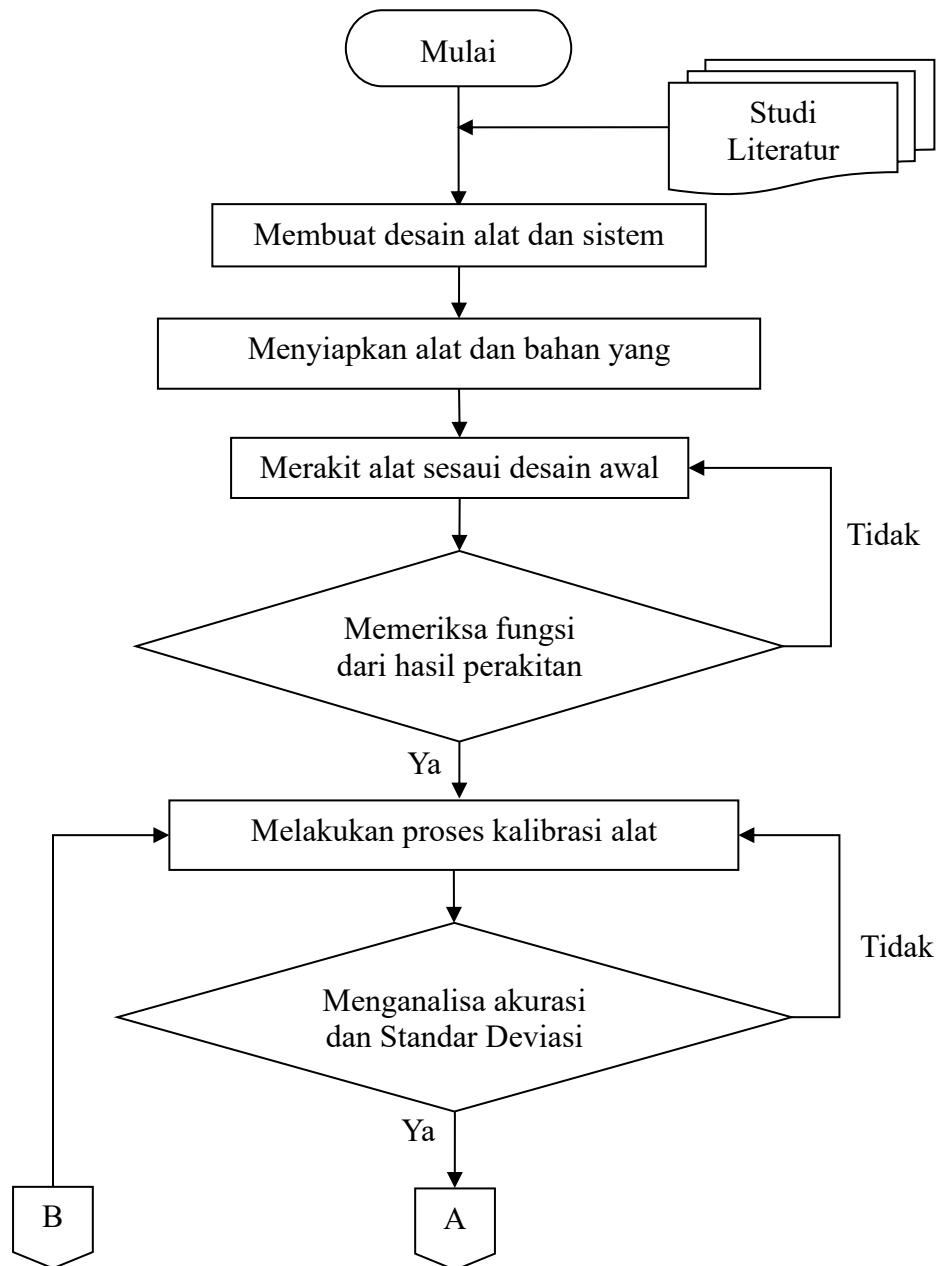
$n_i$  = Jumlah data pada (i) periode

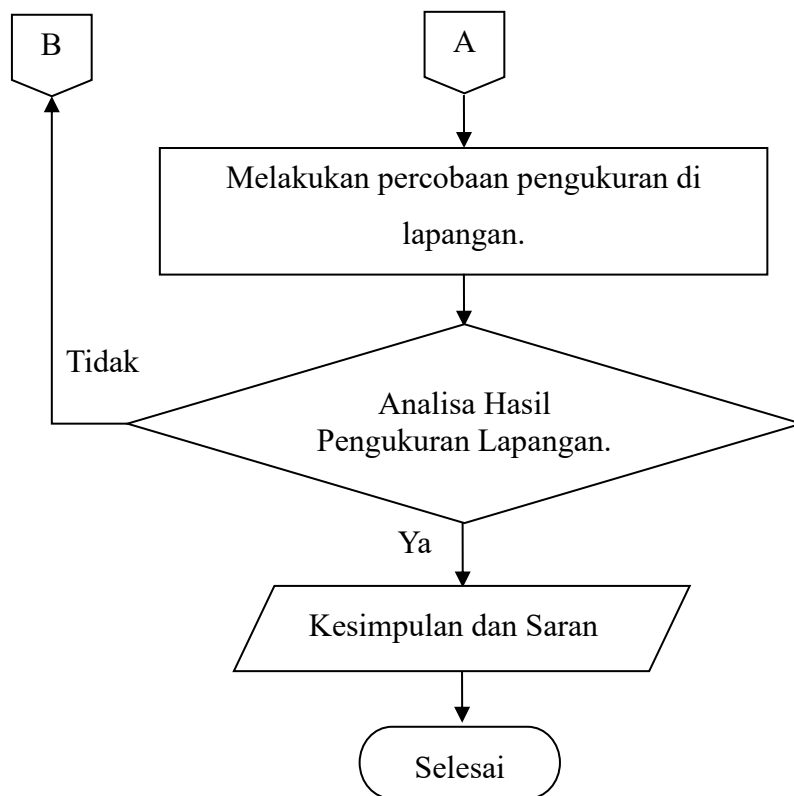
$S_i$  = Nilai Standar Deviasi (Individual) pada (i) periode

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir dari penelitian yang dilakukan terkait alat pengukur ketinggian gelombang air laut dengan sensro ultrasonik dan sistem *internet of things* (iot).





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan selama 2 (dua) bulan yang akan dimulai dari bulan Maret 2024 hingga bulan April 2024. Selama satu bulan pertama, penelitian akan berfokus merancang dan membuat alat pengukur ketinggian gelombang air laut hingga mampu berfungsi sesuai dengan tujuan awal penelitian. Kemudian pada bulan kedua merupakan masa pengujian alat dan menganalisa seberapa besar akurasi alat ukur yang dihasilkan dan seberapa besar persentase *error*nya ketika melakukan pengukuran. Adapun terkait dengan lokasi penelitian akan dilakukan di 2 (dua) lokasi. Lokasi pertama yaitu Lab. Jurusan Teknik Mesin FT. Untirta sebagai tempat untuk pengembangan alat sekaligus pengujian dan kalibrasi alat. Kemudian untuk lokasi kedua yaitu Pelabuhan Karangantu sebagai lokasi studi kasus untuk menganalisa permasalahan yang terjadi sekaligus sebagai lokasi percobaan pengambilan data dan menganalisa apakah alat yang dibuat mampu menjawab permasalahan yang ada di lokasi.

### 3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan

Setelah melakukan desain dan membuat sistem konsep, selanjutnya yaitu proses pembuatan alat. Pada pembuatan alat kali terdapat beberapa alat dan bahan yang diperlukan. Adapun terkait alat dan bahan tersebut akan dijabarkan dibawah ini.

#### 3.3.1 Alat yang Digunakan

Berikut ini adalah alat yang diperlukan untuk merakit komponen-komponen bahan dapat proses pembuatan alat ukur gelombang air laut dengan sensor ultrasonik, yaitu:

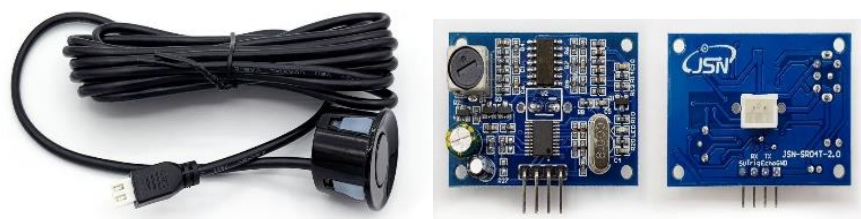
1. Alat Perkakas
2. Solder Listrik
3. Komputer
4. Smartphone OS Android

#### 3.3.2 Bahan yang Digunakan

Berikut ini merupakan bahan utama yang digunakan dalam proses pembuatan alat ukur gelombang air laut dengan sensor ultrasonik, yaitu:

1. JSN-SR04T *Ultrasonic Sensor and Module*

Digunakan untuk mendeteksi jarak antara sensor dengan permukaan air di depannya menggunakan gelombang ultrasonik.



**Gambar 3.2** JSN-SR04T *Ultrasonic Sensor and Module*.

2. LCD 16x2 I2C

Menampilkan informasi teks layar LCD menggunakan protokol komunikasi I2C/IIC untuk dihubungkan dengan mikrokontroler atau komputer.



**Gambar 3.3** LCD 16x2 I2C.

### 3. SD-Card *Module*

Modul untuk membaca dan menulis data dari kartu memori SD, digunakan untuk menyimpan data hasil pengukuran supaya bisa tersimpan di dalam SD-Card *Module*.



**Gambar 3.4** SD-Card *Module*.

### 4. NodeMCU ESP-WROOM-32

Modul dengan kemampuan WiFi dan Bluetooth yang digunakan untuk menghubungkan perangkat ke internet dan perangkat lainnya melalui jaringan nirkabel.



**Gambar 3.5** NodeMCU ESP-WROOM-32.



5. Cable Jumper 20cm Male to Female Dupont

Kabel jumper dengan konektor male dan female digunakan untuk menghubungkan antara mikrokontroler dengan komponen komponen lainnya agar lebih mudah dan fleksibel.



**Gambar 3.6** *Cable Jumper.*

6. Bread Board

Digunakan sebagai perantara rangkaian agar penggunaan pin pada arduino bisa lebih efisien.



**Gambar 3.7** *Bread Board.*

7. Box Panel

Kotak panel kustom yang dirancang untuk melindungi dan mengatur komponen-komponen elektronik agar alat bisa dipasang di luar ruangan.



**Gambar 3.8** Box Panel.

8. *Solder Wire*

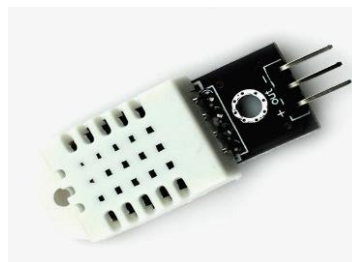
Digunakan sebagai perekat pada sambungan wiring antara komponen agar bisa berfungsi dengan baik serta tahan lama.



**Gambar 3.9** Solder Wire.

9. *DHT22 Temperature and Humidity Sensor Module.*

Sensor yang digunakan untuk membaca suhu dan kelembaban yang ada dilingkungan ketika melakukan pengukuran ketinggian gelombang.



**Gambar 3.10** DHT22 Temperature and Humidity Sensor Module.

10. Modul Female 2.54 MM Micro USB

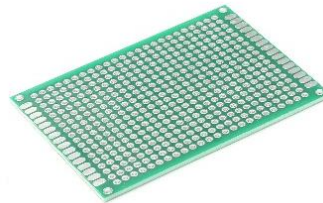
Sebagai modul untuk input daya dengan menggunakan kabel Micro USB.



**Gambar 3.11** Modul Female 2.54 MM Micro USB.

#### 11. *Universal Perforated Solder Circuit Protoboards.*

Untuk mengintegrasikan sirkuit elektronik dari komponen-komponen yang digunakan pada alat.



**Gambar 3.12** *Universal Perforated Solder Circuit Protoboards.*

### 3.4 Metode Pengambilan Data

Metode yang digunakan pada pengambilan data pada pengujian alat merupakan metode kuantitatif dengan pengujian kalibrasi alat dan validasi yang berupa pengujian di lapangan. Alat yang sudah dibuat nantinya akan digunakan untuk pengambilan data yang nantinya akan dilakukan analisis statistik untuk mengevaluasi performa alat ukur. Melalui kalibrasi dan validasi, maka dapat dipastikan bahwa alat ukur memberikan hasil yang akurat dan dapat dipercaya. Pada proses kalibrasi alat dilakukan pengambilan data berupa proses pengukuran pada permukaan air yang tenang dengan 20 variasi ketinggian pengukuran dimana proses ini akan dilakukan sebanyak 2 kali. Setelah didapat data-data yang dibutuhkan maka selanjutnya data akan diolah dengan menghitung nilai RMSE, Akurasi, dan Standar Deviasinya. Kemudian hasil perhitungan tersebut akan dianalisa sehingga dapat disimpulkan apakah alat tersebut layak digunakan atau tidak.

Ketika sudah didapat hasil yang memuaskan dari proses kalibrasi, maka selanjutnya adalah proses validasi alat. Hal ini diperlukan karena ketika proses

kalibrasi, alat hanya digunakan untuk mengukur permukaan air yang tenang, sehingga untuk memenuhi tujuan penelitian yaitu menciptakan alat ukur gelombang air laut maka diperlukan proses validasi alat dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan yaitu Pelabuhan Karangantu. Pada proses validasi, pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali selama 8 detik untuk setiap pengukuran. Selain itu, dilakukan juga pengukuran secara visual untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran alat. Tujuan dibandingkannya hasil pengukuran keduanya adalah untuk menganalisis gap antara hasil pengukuran alat dan hasil pengukuran manual untuk menilai kinerja alat ukur. Jika hasil pengukurannya memiliki gap yang sangat kecil, maka bisa dikatakan alat ukur telah memenuhi uji kelayakan.

### 3.5 Metode Pengolahan Data

Pada penelitian ini metode pengolahan data yang digunakan akan dihitung seberapa besar *error* yang terdapat pada data hasil pengukuran alat dengan cara membanding data hasil pengukuran alat ukur ketinggian gelombang air laut menggunakan sensor ultrasonik dengan data sebenarnya yang didapat dari hasil pengukuran secara visual dengan tiang pancang. Dalam mencari besarnya *error* atau kesalahan pengukuran, kita menggunakan rumus RMSE atau *Root Mean Square Error*. Adapun rumus RMSE adalah sebagai berikut.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - A_i)^2}}{n} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

$O_i$  = Nilai hasil pengukuran Alat

$A_i$  = Nilai sebenarnya

$n$  = Jumlah data

Setelah mengetahui nilai *error* pada data hasil pengukuran, maka selanjutnya adalah mencari nilai akurasi dari alat. Akurasi yang dimaksud

disini untuk menganalisa sedekat apa nilai yang dideteksi oleh alat dengan nilai sebenarnya. Metode yang digunakan untuk mengetahui akurasi alat adalah dengan cara melakukan perhitungan kesalahan relatif atau *relative error* pada data hasil pengukuran. Konsepnya hampir sama dengan RMSE, yaitu data hasil pengukuran akan dibandingkan dengan data sebenarnya. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai kesalahan relatif [9].

$$ER = \sum_{i=1}^N \left( \frac{(|X_i - XO_i|)}{X_i} \right) / n \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Berdasarkan rumus atau perhitungan kesalahan relatif diatas kita bisa menghitung nilai akurasi alat ukur dengan persamaan [9] :

$$ACCURACY = 100\% - ER \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

$X_i$  = Nilai Sebenarnya dalam (i) periode

$XO_i$  = Nilai hasil pengukuran dalam (i) periode

ER = *Relative Error* (%)

N = Jumlah Data

Setelah melakukan perhitungan RMSE dan akurasi alat, maka selanjutnya adalah mengukur standar deviasi alat ukur. Fungsi dari perhitungan ini adalah untuk menguji konsistensi alat ukur pada setiap pengukuran karena standar deviasi merupakan metode yang digunakan untuk menentukan persebaran data terhadap rata-rata dari hasil pengukuran dengan variasi yang sama. Untuk menghitung nilai standar deviasi, dapat menggunakan rumus dibawah ini [9].

$$ST.DEV (Individual) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$ST.DEV (Pooled) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(n_i-1) \cdot S_i^2}{n_i-1}} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana:

$X_i$  = Nilai hasil pengukuran pada (i) Periode

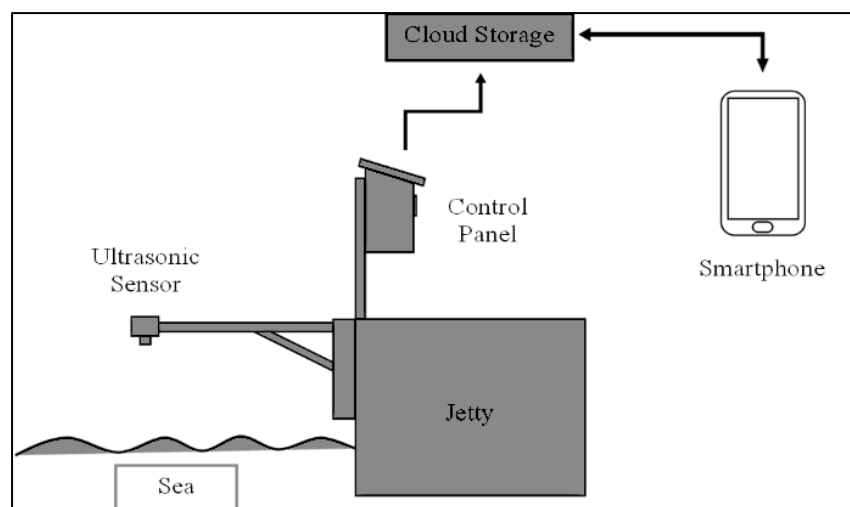
$\bar{x}$  = Nilai rata-rata hasil pengukuran

$n_i$  = Jumlah data pada (i) periode

$S_i$  = Nilai Standar Deviasi (Individual) pada (i) periode

### 3.6 Konsep Desain

Konsep dari alat pengukur gelombang air laut ini adalah mengukur ketinggian gelombang yang terdeteksi dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang kemudian data hasil pengukuran akan disimpan ke dalam penyimpanan *cloud*, yang kemudian akan dapat diakses melalui aplikasi berbasis android sehingga kita dapat mengetahui data hasil pengukuran secara *real time*. Berikut ini adalah desain dari alat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3.13** Konsep Desain Alat.

### 3.7 Prosedur Penelitian

Pada penelitian kali ini, terdapat prosedur yang disusun agar penelitian dapat berjalan secara sistematis dan efisien. Berikut ini ada prosedur penelitian yang telah disusun, yaitu:

1. Mengurus perizinan lokasi yang akan digunakan untuk penelitian.
2. Melakukan survei lokasi yang dijadikan titik acuan dari penelitian.

3. Merancang desain alat pengukur gelombang air laut dengan sensor ultrasonik.
4. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pembuatan alat.
5. Merakit komponen yang sudah disiapkan sesuai dengan desain alat.
6. Membuat program dari alat pengukur gelombang air laut dengan sensor ultrasonik.
7. Melakukan kalibrasi alat pengukur ketinggian gelombang air laut di laboratorium
8. Menganalisa data hasil kalibrasi.
9. Melakukan proses *finishing* pada alat.
10. Melakukan validasi berupa pengambilan data di lokasi yang telah ditetapkan sebagai lokasi pengujian.
11. Mengolah dan menganalisis data yang diperoleh .
12. Membuat kesimpulan hasil pengujian.
13. Menyusun laporan akhir.

### 3.8 Jadwal Kegiatan

Berikut ini merupakan jadwal kegiatan yang akan dilakukan selama penelitian berlangsung selama 2 (dua) bulan yang ditentukan dan dapat dilihat pada tabel 3.1.

| No | Jenis Kegiatan  | Maret |   |   |   | April |   |   |   |
|----|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
|    |   | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Survei lokasi yang dijadikan titik acuan dari penelitian.   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 2. | Merancang desain alat pengukur gelombang air laut.          |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 3. | Mempersiapkan alat dan bahan komponen untuk pembuatan alat. |       |   |   |   |       |   |   |   |

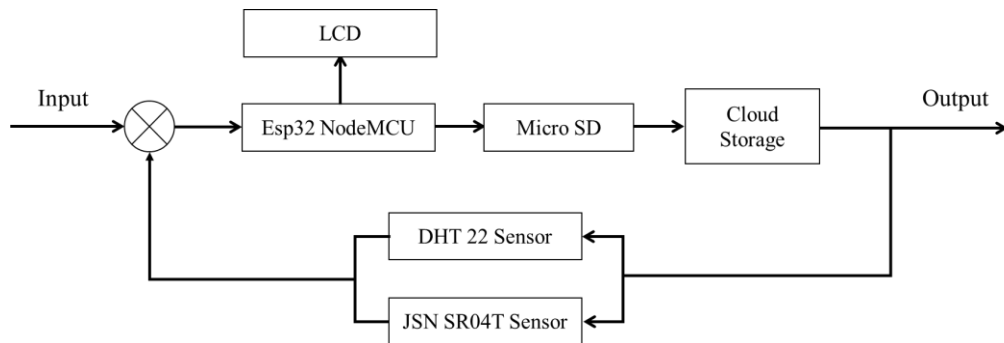
|    |   |  |  |  |  |  |  |  |
|----|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 4. | Merakit komponen yang sudah disiapkan sesuai dengan desain alat                   |  |  |  |  |  |  |  |
| 5. | Membuat program dari alat pengukur gelombang air laut                             |  |  |  |  |  |  |  |
| 6. | Melakukan kalibrasi alat pengukur gelombang air laut di laboratorium              |  |  |  |  |  |  |  |
| 7. | Melakukan validasi alat di lokasi yang telah ditetapkan sebagai lokasi pengujian. |  |  |  |  |  |  |  |
| 8. | Mengolah dan menganalisa data yang diperoleh                                      |  |  |  |  |  |  |  |
| 9. | Menyusun laporan hasil penelitian   |  |  |  |  |  |  |  |



## BAB IV DATA DAN ANALISA

### 4.1 Sistem Kerja Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut dengan Sensor Ultrasonik

Dalam alat ukur ketinggian gelombang air laut pada penelitian ini sistem operasi dibuat dengan menggunakan *controller* berupa *Development Board* ESP32, sehingga sistem operasi pada alat ini memungkinkan alat bekerja secara otomatis dan kontinu dengan data yang dapat diakses melalui internet sehingga proses pengukuran bisa dilakukan dimana saja melalui akses internet. Berikut ini adalah gambar dari diagram blok pada alat ukur yang dibuat pada penelitian ini.



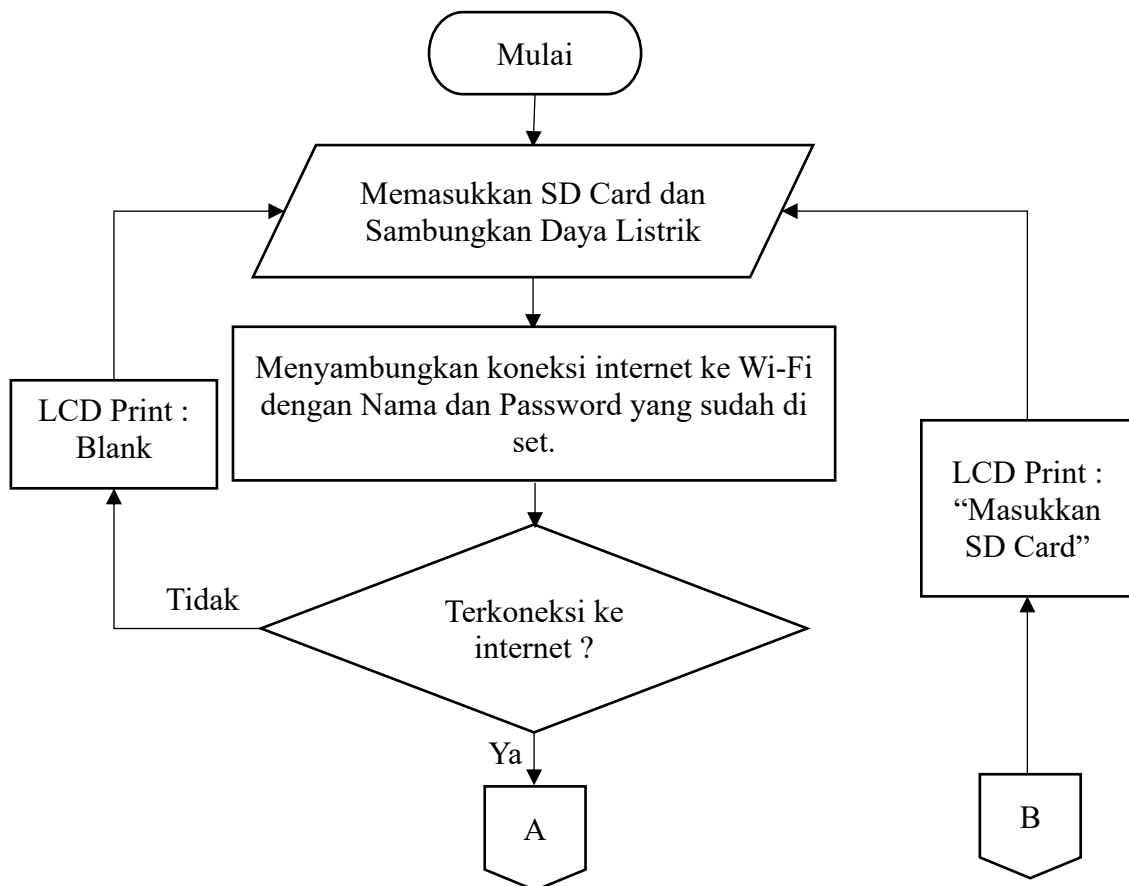
**Gambar 4.1** Diagram Blok Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut dengan Sensor Ultrasonik dan Sistem Internet of Things (IoT)

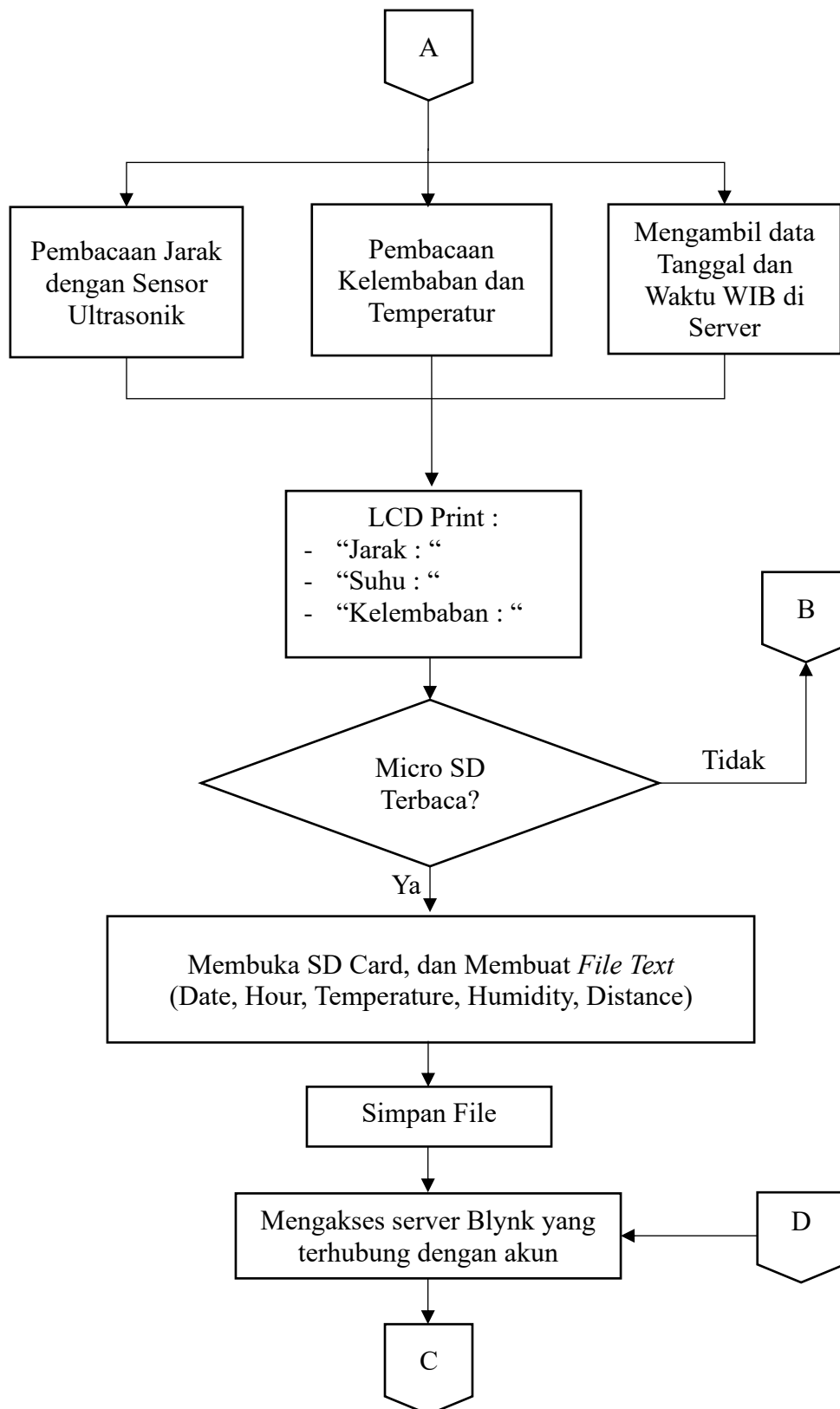
Pada diagram blok diatas menjelaskan terkait dengan proses dari alur kendali yang terdapat pada alat ukur ketinggian gelombang air laut yang dibuat pada penelitian kali ini. Pada bagian *input* atau masukan didalam sistem diatas merupakan daya listrik, serta jaringan internet. Kemudian pada bagian pengendali atau kontroler terdapat *Development Board* Esp32 NodeMCU yang berfungsi untuk menjalankan program yang sudah dimasukkan kedalam *board* mulai dari pemrosesan data, mengirim data hasil pengukuran langsung pada LCD, dan menyimpan data kedalam Micro SD serta *Cloud Storage*. Ketika sistem bekerja, sensor ultrasonik dan sensor suhu akan terus melakukan pengukuran dan data hasil pengukuran tersebut akan diproses kembali oleh kontroler dan kemudian perubahan jarak dan suhu yang terdeteksi kan

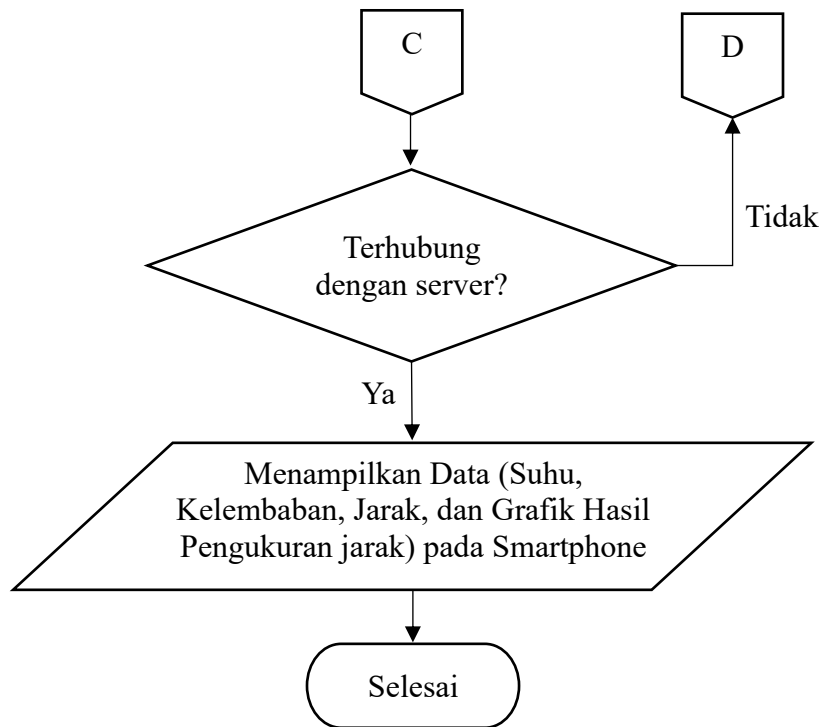
ditampilkan pada LCD dan disimpan kedalam *storage*. Sensor suhu pada alat ini digunakan untuk melakukan koreksi pengukuran dari data pengukuran jarak yang didapat berdasarkan sensor ultrasonik.

#### 4.2 Flowchart Program Alat Ukur

Pada alat ukur ketinggian gelombang air laut ini, terdapat sebuah program yang dibuat dan dimasukkan kedalam mikrokontroler. Fungsi dari program itu sendiri merupakan perintah, mulai dari memasukkan nilai input, perintah untuk mengoperasikan sensor, dan cara mengolah data berdasarkan hasil yang diperoleh dari sensor. Program ini didasarkan pada proses *trial and error* yang dilakukan di lab, hingga didapat sebuah program yang mampu dioptimalkan agar alat mampu memenuhi konsep dan kriteria yang disusun sebelumnya. Untuk mempermudah dalam memahami program yang terdapat pada alat, berikut ini merupakan *flowchart* yang mempresentasikan bagaimana program tersebut mengendalikan proses pengukuran yang dilakukan.







**Gambar 4.2** *Flowchart* Program Alat Ukur Ketinggian Gelombang Air Laut dengan Sensor Ultrasonik.

Berikut ini merupakan penjelasan dari *flowchart* program yang terpasang pada alat ukur ketinggian gelombang diatas, yaitu:

1. Mulai, pada tahapan ini dimaksudkan pada proses mengoperasikan alat ukur ketinggian gelombang.
2. Input, pada proses ini alat memerlukan input untuk mulai bekerja yaitu dengan memasukkan *Micro SD/SD Card* dan menyambungkan daya listrik sebesar 2.2 – 5.5 Volt.
3. Setelah alat ukur terkoneksi dengan internet, maka mikrokontroler akan mengirim sinyal listrik untuk menjalankan sensor ultrasonik untuk mengukur jarak antara *probe* dengan permukaan air laut, dan sensor suhu

dan kelembaban untuk mendapatkan nilai suhu dan kelembaban yang ada dilingkungan tempat pengujian.

4. Setelah itu mikrokontroler juga akan masuk kedalam server untuk mendapatkan data berupa tanggal dan waktu yang diatur berdasarkan Waktu Indonesia Barat (WIB).
5. Setelah mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan, maka selanjutnya mikrokontoler akan mendeteksi *SD Card* yang sudah dimasukkan.
6. Apabila *SD Card* tidak terdeteksi atau tidak terbaca oleh sistem maka, sistem akan menuliskan perintah “Masukkan *SD Card*!” pada LCD.
7. Jika *SD Card* tersebut terbaca maka sistem akan langsung membuka *SD Card* dan membuat *File* dengan format *text* yang berisi nilai secara berurutan (Tanggal, Jam, Temperatur, Kelembaban, dan Jarak).
8. Kemudian sistem akan terus membaca perubahan jarak dari permukaan air dengan *probe* untuk mendeteksi ketinggian gelombang air laut dan menulis data pada *file* yang telah dibuat sebelumnya.
9. Data akan disimpan pada *file*, dan dapat diakses dengan menggunakan smartphone atau laptop dengan memasukkan *SD Card* yang sudah terdapat data tersebut.
10. Setelah itu, kontroler yang sudah terhubung ke internet akan mencoba mengakses link dari *Platform* Blynk yang didapat ketika membuat akun.
11. Dan Output akhir dari program ini adalah aplikasi Blynk akan menampilkan data (Suhu, Kelembaban, Jarak, dan Live Grafik hasil pengukuran jarak) pada Aplikasi Blynk yang sudah terinstal di Smartphone.

### 4.3 Spesifikasi Alat Ukur Ketinggian Gelombang

Dalam pembuatan alat kali ini, terdapat beberapa komponen yang menunjang kinerja dari alat yang telah dibuat. Kemampuan dari komponen-komponen tersebut dalam menunjang kinerja alat akan menentukan bagaimana performa dari alat yang telah dibuat. Berdasarkan dari jenis komponen dan sistem yang diterapkan didalamnya, kita bisa mengetahui seberapa jauh performa yang mampu dilakukan oleh alat tersebut. Performa yang dimaksud pada alat ukur kali ini meliputi berbagai mulai dari aspek apa saja yang bisa diukur oleh alat, fitur yang terdapat pada alat, dan akurasi dari alat tersebut. Data-data ini didapat dari datasheet komponen yang digunakan pada alat. Berikut ini adalah datasheet dari alat ukur ketinggian air laut yang dibuat pada penelitian kali ini akan disajikan pada tabel berikut:

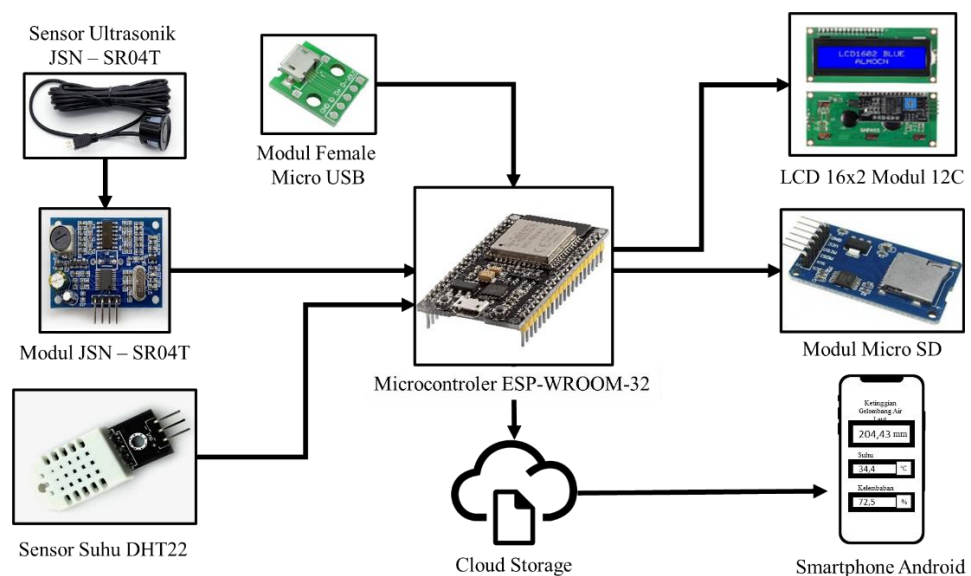
**Tabel 4.1** Spesifikasi Alat.

| NO.              | ATRIBUT                | DETAIL   |
|------------------|------------------------|--|
| <b>Kontroler</b> |                        |  |
| 1.               | CPU                    | Tensilica Xtensa LX6 32bit Dual-Core<br>160/240 Mhz                                |
| 2.               | SRAM                   | 520 kb   |
| 3.               | Tegangan               | 2.2 – 5.5 Volt   |
| 4.               | Arus Kerja             | 80 mA  |
| 5.               | Wi-Fi                  | - Kecepatan (Max. 54 Mbps)<br>- Frekuensi (2.4 GHz)<br>- Jangkauan (35 – 38 Meter) |
| <b>Sensor</b>    |                        |  |
| 6.               | Frekuensi <i>Probe</i> | 40 kHz   |
| 7.               | Jarak Pembacaan        | Min. 200 mm – Max. 4000 mm   |
| 8.               | Akurasi Jarak          | ± 10 mm  |
| 9.               | Temperatur Operasional | -20°C – 70°C   |
| 10.              | Panjang Kabel          | 2 Meter  |

|     |                              |              |
|-----|------------------------------|--------------|
| 11. | Pembacaan Temperatur         | -40°C – 80°C |
| 12. | Pembacaan Kelembaban         | 0 – 100% RH  |
| 13. | Akurasi Pembacaan Temperatur | ± 0.5 °C     |
| 14. | Akurasi Pembacaan Kelembaban | ± 2% RH      |

#### 4.4 Skema dan Wiring Diagram Alat

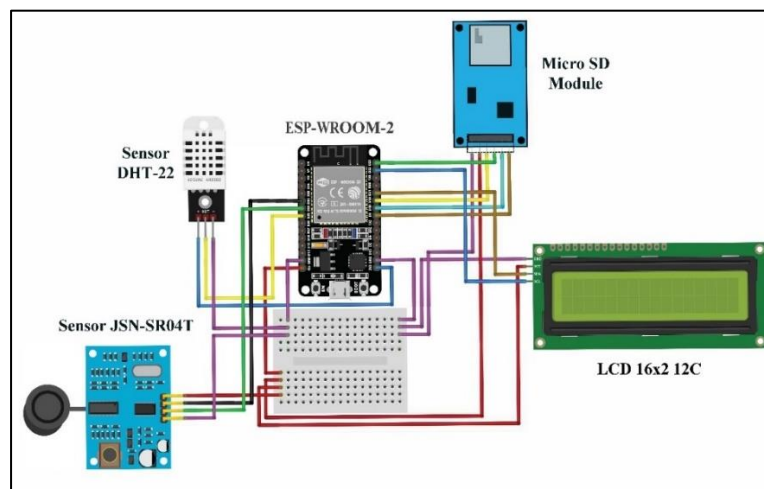
Setelah kita mengetahui komponen apa saja yang dipakai, maka selanjutnya perlu untuk membuat skema dasar dari alat tersebut. Skema alat dibuat lebih awal karena sangat berpengaruh pada posisi dan pembuatan wiring diagram nantinya. Dalam skema alat kita bisa menyusun komponen-komponen yang ada dan memisahkannya sesuai dengan konsep alat yang sudah dibuat sebelumnya. Hasil dari skema ini memisahkan komponen yang menjadi input dan output yang ada pada susunan komponen penyusun alat. Adapun skema untuk alat ukur ketinggian gelombang air laut dengan sensor ultrasonik dapat dilihat dibawah ini.



**Gambar 4.3** Skema Penyusunan Komponen Alat.

Pada skema yang sudah dibuat, terlihat bahwa ESP – WROOM – 32 menjadi pusat kendali yang mengoperasikan sebagian besar komponen sesuai dengan program yang dimasukkan ke dalamnya. Kemudian untuk bagian input yang pertama adalah sumber daya listrik yang disambungkan melalui *port* atau modul micro usb, kemudian ada dua jenis sensor yang otomatis melakukan pengukuran setelah mendapat perintah dari kontroler dan akan mengirim kembali data untuk di proses oleh kontroler. Kedua sensor tersebut adalah sensor ultrasonik JSN-SR04T dan sensor suhu & kelembaban DHT22. Kemudian pada bagian output terdapat LCD 16x2 yang akan menampilkan langsung hasil pengukuran, kemudian ada micro sd yang dimasukan dalam modul micro sd sebagai output untuk menyimpan data dari hasil pengukuran secara langsung. Selain itu sebagai output tambahan untuk melengkapi sistem *Internet of Things* (IoT) kontroler akan menginput data hasil pengukuran ke dalam *cloud storage* yang nantinya data tersebut dapat diakses melalui *smartphone* android dengan melalui jaringan internet.

Dalam pembuatan alat terutama sebelum proses perakitan, tentunya diperlukan juga tentang adanya *wiring diagram* dari rakitan komponen yang akan disusun pada alat. Untuk *wiring diagram* ini sendiri meliputi komponen-komponen elektronik utama yang terdapat pada alat. Fungsi dari *wiring diagram* ini sendiri untuk mempermudah dalam memahami sambungan elektronika serta alur dari suatu komponen ke komponen lainnya. Berikut ini adalah gambar skema dari *wiring diagram* yang terdapat pada alat.



**Gambar 4.4** *Wiring Diagram* Alat.



Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam perakitan alat adalah sebagai berikut.

1. Memasang ESP-WROOM-32 ke *Breadboard*

Letakkan ESP-WROOM-32 di *breadboard* dengan hati-hati, pastikan pin-pin ESP-WROOM-32 terhubung dengan *breadboard* dengan benar. Pastikan modul berada di posisi yang tepat sehingga setiap pin terhubung dengan jalur *breadboard* yang berbeda untuk memudahkan penyambungan ke komponen lainnya.

2. Menghubungkan Sensor DHT-22

Sambungkan pin VCC (pin kanan) dari sensor DHT-22 ke pin 3.3V pada ESP-WROOM-32 untuk memberikan daya yang diperlukan. Sambungkan pin GND (pin kiri) dari sensor DHT-22 ke pin GND pada ESP-WROOM-32 untuk menyelesaikan rangkaian daya. Terakhir, sambungkan pin DATA (pin tengah) dari sensor DHT-22 ke pin GPIO 4 pada ESP-WROOM-32 untuk memungkinkan komunikasi data antara sensor dan mikrokontroler.

3. Menghubungkan Sensor JSN-SR04T

Sambungkan pin VCC dari sensor JSN-SR04T ke pin 5V pada ESP-WROOM-32 untuk memberikan daya yang diperlukan. Sambungkan pin GND dari sensor JSN-SR04T ke pin GND pada ESP-WROOM-32 untuk menyelesaikan rangkaian daya. Sambungkan pin TRIG dari sensor JSN-SR04T ke pin GPIO 5 pada ESP-WROOM-32 untuk mengirimkan sinyal pemicu. Terakhir, sambungkan pin ECHO dari sensor JSN-SR04T ke pin GPIO 18 pada ESP-WROOM-32 untuk menerima sinyal pantulan.

4. Menghubungkan Micro SD Module

Sambungkan pin VCC dari *Micro SD Module* ke pin 3.3V pada ESP-WROOM-32 untuk memberikan daya yang diperlukan. Sambungkan pin GND dari *Micro SD Module* ke pin GND pada ESP-WROOM-32 untuk menyelesaikan rangkaian daya. Sambungkan pin MISO dari *Micro SD Module* ke pin GPIO 19 pada ESP-WROOM-32 untuk menerima data dari kartu SD. Sambungkan pin MOSI dari *Micro SD Module* ke pin GPIO 23

pada ESP-WROOM-32 untuk mengirim data ke kartu SD. Sambungkan pin SCK dari *Micro SD Module* ke pin GPIO 18 pada ESP-WROOM-32 untuk sinyal jam. Terakhir, sambungkan pin CS dari *Micro SD Module* ke pin GPIO 5 pada ESP-WROOM-32 untuk sinyal pemilihan *chip*.

#### 5. Menghubungkan LCD 16x2 I2C

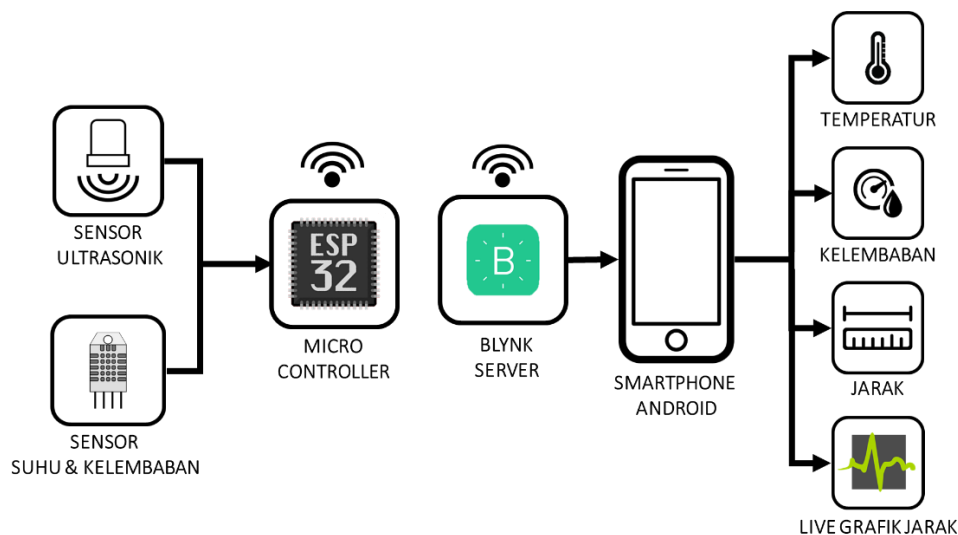
Sambungkan pin GND dari LCD ke pin GND pada ESP-WROOM-32 untuk menyelesaikan rangkaian daya. Sambungkan pin VCC dari LCD ke pin 3.3V pada ESP-WROOM-32 untuk memberikan daya yang diperlukan. Sambungkan pin SDA dari LCD ke pin GPIO 21 pada ESP-WROOM-32 untuk komunikasi data I2C. Terakhir, sambungkan pin SCL dari LCD ke pin GPIO 22 pada ESP-WROOM-32 untuk sinyal jam I2C.

### 4.5 Sistem *Internet of Things* (IoT)

Fungsi utama dari IoT adalah untuk mendapatkan akses dari suatu alat menggunakan alat lainnya dengan bantuan jaringan internet. Adapun keuntungan yang didapat dari sistem ini yaitu, mempermudah dalam proses pengoperasian alat, mempermudah proses analisa, dan mengurangi beban kerja karena mampu meningkatkan efisiensi kerja alat. Hal tersebutlah yang mendasari dari penerapan sistem tersebut pada alat ukur yang dibuat. Sehingga, alat ukur nantinya dapat dioperasikan terus menerus secara otomatis tanpa memerlukan operator untuk selalu berada di lokasi pengukuran. Pada rancangan sistem *Internet of Things* kali ini, sistem yang ingin dibuat adalah suatu sistem yang berbasis Smartphone dengan OS Android. Hal ini dipilih karena penggunaan smartphone sudah sangat marak di kehidupan sehari-hari dan OS Android dipilih karena merupakan OS yang paling banyak digunakan di Indonesia sehingga operator bisa dengan lebih mudah dalam mengakses hasil pengukuran yang dilakukan oleh alat ukur.

Dalam perancangan sistem IoT berbasis Android, sistem dibuat dengan bantuan software Arduino IDE untuk membuat program dan sebuah software *platform* bernama Blynk. *Platform* Blynk dipilih dikarenakan mudah untuk diintegrasikan dengan program alat yang memiliki Bahasa pemrograman C++. Selain itu, *platform* ini sudah banyak digunakan pada berbagai macam project

prototyping secara gratis serta sudah berada di Play Store sehingga keamanannya dapat terjamin oleh Google. Untuk lebih jelasnya, sistem Internet of Things yang disusun dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.5** Skema Sistem IoT Alat Ukur.

Berikut ini adalah penjelasan dari skema IoT dari alat ukur ketinggian gelombang air laut dengan sensor ultrasonik, yaitu:

#### 1. Pengukuran:

Pengukuran dilakukan oleh sensor ultrasonik yang mengukur jarak antara sensor dengan permukaan air untuk menentukan ketinggian gelombang. Selain itu terdapat juga sensor suhu untuk mengetahui kondisi lingkungan sekitar seperti temperatur dan kelembaban lingkungan.

#### 2. Pengolahan Data:

Setelah sensor mengirimkan data mentah hasil pengukuran ke mikrokontroler ESP32. Maka selanjutnya, ESP32 akan mengolah data ini untuk kemudian disimpan.

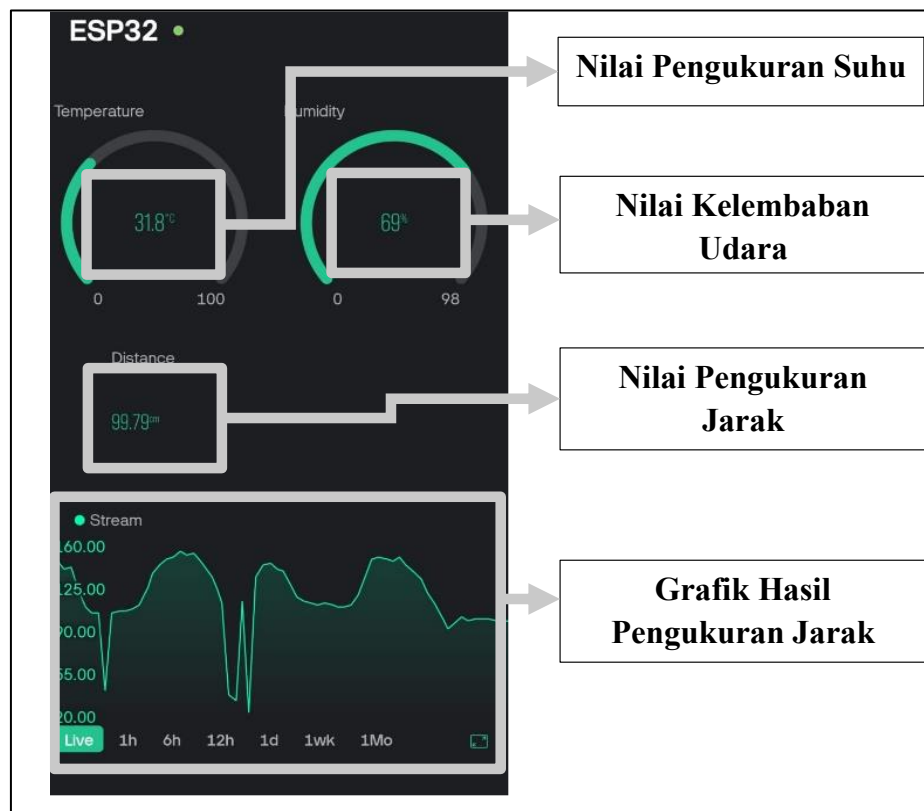
#### 3. Pengiriman Data:

Setelah data disimpan pada memory card, maka program akan berjalan dan memerintahnya ESP32 untuk mengakses server Blynk. Setelah terhubung kedalam server, maka selanjutnya data yang diperoleh akan dikirimkan ke *platform* Blynk melalui koneksi Wi-Fi yang disediakan oleh ESP32.

#### 4. Pemantauan:

Data ketinggian gelombang yang telah dikirim ke server Blynk kemudian akan dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi *mobile* Blynk. Pada aplikasi tersebut akan tertera nilai dari suhu lingkungan, kelembaban udara disekitar alat, jarak real time hasil pengukuran, serta grafik *live* yang selalu *ter-update* berdasarkan hasil pengukuran jarak yang dilakukan oleh alat. Dengan data-data tersebut nantinya pengguna akan dapat memantau data secara *real-time* dan mendapatkan notifikasi jika diperlukan.

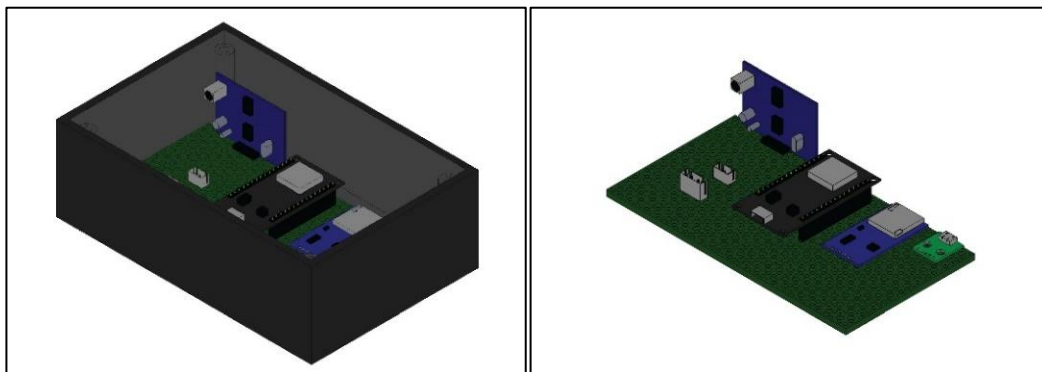
Adapun desain interface yang telah dibuat dengan menggunakan *platform* Blynk IoT *Mobile*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.6** Desain *Interface* Smartphone dengan aplikasi Blynk IoT.

#### 4.6 Desain Alat

Setelah dirakit pada sambungan sementara dengan menggunakan *breadboard* sesuai dengan skema *wiring diagram* yang telah dibuat. Kemudian rangkaian tersebut akan diuji dengan menggunakan program sesuai dengan *flowchart* yang dibuat. Jika hasil pengujian sesuai dengan ketentuan awal dan berfungsi dengan baik, maka selanjutnya adalah mengintegrasikan rangkaian tersebut menjadi semi-permanen agar rangkaian dapat bekerja dengan baik serta memperkecil kemungkinan sambungan terlepas ketika sudah dimasukkan kedalam *Panel Box*. Proses integrasi rangkaian dilakukan dengan menggunakan *perforated board*. Komponen-komponen tersebut akan disusun dengan sedemikian rupa hingga solid dan rapih sesuai ketika dimasukkan kedalam *panel box*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.7** Susunan Komponen pada *Perforated Board*.

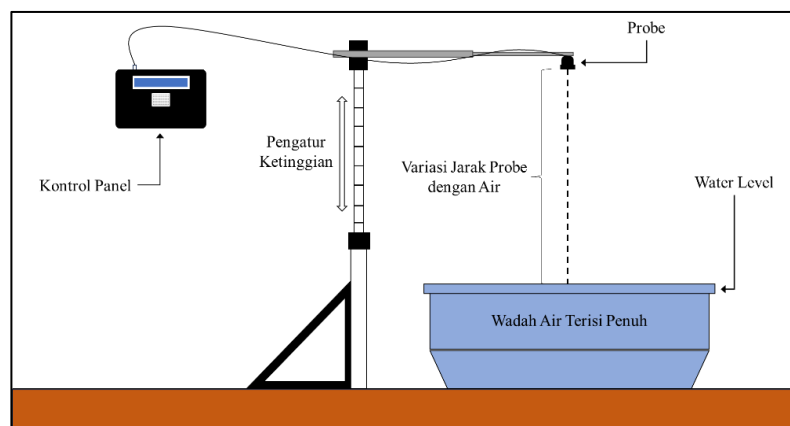
Setelah susunan rangkaian di-integrasikan dan dirasa sudah cukup solid serta sesuai dengan ukuran *panel box*. Maka selanjutnya adalah untuk memodifikasi *panel box* agar semua *port* yang ada pada rangkaian bisa diakses ketika rangkaian berada dalam *panel box*. Pastikan juga rangkaian tersebut memiliki *port* yang bisa dijangkau dengan mudah dari luar panel box dan memiliki susunan yang rapih. Untuk hasil akhir dari seluruh rangkaianannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.8** Gambar Desain 3D Alat.

#### 4.7 Kalibrasi Alat

Proses kalibrasi alat merupakan proses yang dilakukan untuk menguji konsistensi dari alat ukur yang ingin diuji. Pada penelitian kali ini proses kalibrasi juga dilakukan pada alat yang telah dibuat. Untuk proses kalibrasi yang telah dilakukan berapa pada ruangan terbuka. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran alat dengan ketinggian atau jarak antara *probe* dengan permukaan air yang ada di sebuah wadah. Jarak antara *probe* dengan permukaan air tersebut mula-mula ditetapkan dan diukur untuk mendapatkan nilai dari jarak sebenarnya, yang mana pada pengujian kali ini jarak awal antara *probe* dengan air diatur sebesar 727 mm, kemudian akan ditambah sebesar 5 cm sebanyak 10 kali untuk variasi agar nantinya dapat dinilai seberapa konsisten dan akurat dari alat ukur yang telah dibuat. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini yang menggambarkan skema dari kalibrasi alat yang dilakukan.



**Gambar 4.9** Skema Kalibrasi Alat.

Berikut ini merupakan prosedur dari proses kalibrasi alat yang dilakukan, berdasarkan dari skema kalibrasi yang terlihat pada gambar diatas.

1. Mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan selama pengujian
2. Merangkai dan menyusun komponen dari alat-alat yang dibutuhkan sesuai dengan skema diatas.



**Gambar 4.10** Susunan Komponen Sesuai dengan Skema Pengujian.

3. Atur ketinggian awal pada titik terendah yang mampu dijangkau *frame*. Dan ukur jarak dari pengukuran tersebut.



**Gambar 4.11** Mengukur jarak awal dari titik terendah frame.

4. Nyalakan alat dengan menyambungkannya ke listrik menggunakan charger handphone, colokkan kabel sensor dan masukkan *SD Card* kedalam slot yang sudah disediakan.



5.

**Gambar 4.12** Memasukkan *SD Card* dan Menyambungkan Kabel Daya serta Kabel *Probe Sensor* Ultrasonik.

6. Tunggu hingga, 10 – 15 detik, hingga hasil pembacaan jarak yang terlihat pada LCD menjadi Stabil.



**Gambar 4.13** Melakukan Pembacaan Hasil Pengukuran Dengan Alat Ukur.

7. Ketika nilai jarak sudah stabil, maka foto dan tulis hasilnya pada tabel.



**Gambar 4.14** Hasil Pengukuran ke – 1 pada Percobaan Pertama.

8. Naikkan frame sebesar 5 cm atau 50 mm, kemudian ulangi proses pengambilan data hingga 10 variasi dari titik terendah hingga titik tertinggi frame dengan penambahan jarak stabil di 5 cm dan 50 cm.



9. Pastikan kembali dengan mengukur jarak antara sensor dengan permukaan air menggunakan meteran.



**Gambar 4.15** Mengukur Kembali Jarak Antara *Probe* dan Permukaan Air.

10. Lakukan 4 kali percobaan dengan jumlah variasi dan ukuran variasi yang sama untuk menguji stabilitas alat.

#### 4.5.1 Hasil Kalibrasi Alat

Berikut ini merupakan data yang didapat dari proses kalibrasi alat yang telah dilakukan. Ada total 40 data hasil pengukuran, yang didapat dari total 4 kali percobaan dengan masing-masing 10 variasi ketinggian jarak antara *probe* dengan permukaan air.

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Kalibrasi Alat.

| Hasil Pengukuran Proses Kalibrasi Alat (mm) |            |                   |                   |                   |                   |
|---|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| No  | Jarak Real | Pengukuran Ke - 1 | Pengukuran Ke - 2 | Pengukuran Ke - 3 | Pengukuran Ke - 4 |
| 1   | 727        | 757.4             | 742               | 725.6             | 742.70            |
| 2   | 777        | 788.2             | 775.3             | 775.7             | 791.70            |
| 3   | 827        | 838.5             | 841.1             | 825               | 841.70            |
| 4   | 877        | 887.5             | 890.2             | 890.7             | 891.30            |
| 5   | 927        | 937.7             | 940.1             | 941               | 941.20            |
| 6   | 977        | 986.6             | 989.3             | 989.8             | 990.10            |
| 7   | 1027       | 1037.3            | 1055              | 1040.2            | 1040.40           |
| 8   | 1077       | 1103.6            | 1105.1            | 1089.7            | 1089.80           |
| 9   | 1127       | 1152.7            | 1153.5            | 1155.4            | 1155.80           |
| 10  | 1177       | 1203.2            | 1204              | 1205.4            | 1205.4            |

#### 4.8 Perhitungan Akurasi Alat

Setelah melakukan pengujian dan mendapatkan data yang diharapkan. Maka proses selanjutnya yaitu mengolah data tersebut sehingga mampu dianalisa dengan lebih baik dan lebih mudah. Proses pengolahan data yang diperoleh pada penelitian kali ini yaitu dengan cara membandingkan data real yang merupakan data hasil pengukuran manual menggunakan meteran dengan data yang ingin dipastikan kebenarannya yakni hasil pengukuran dengan alat. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa alat yang dibuat pada penelitian kali ini mampu memiliki validasi yaitu merupakan hasil perhitungan akurasi alat tersebut. Hal ini juga merupakan parameter keberhasilan yang terdapat pada penelitian kali ini, sehingga proses ini diperlukan untuk menyatakan bahwa alat yang dibuat bisa disebut layak pakai atau tidak.

Terdapat 2 (dua) jenis metode perhitungan yang digunakan pada penelitian kali ini, yaitu dengan metode RMSE atau *Root Mean Squared Error* dan metode Standar Deviasi. Kedua jenis metode ini adalah metode yang paling sering digunakan untuk menentukan akurasi dari suatu alat ukur ataupun data statistik yang asumsi, sehingga dapat diketahui seberapa jauh gap atau jarak dari nilai yang ingin divalidasi dengan nilai yang sebenarnya. Penggunaan kedua metode secara bersamaan ini juga dilakukan untuk membandingkan apakah hasil perhitungan dengan kedua metode tersebut memiliki kesimpulan yang sama satu dengan yang lainnya atau tidak. Berikut ini merupakan hasil perhitungan yang dilakukan dengan kedua metode tersebut.

##### 1. Perhitungan Akurasi Alat Menggunakan Metode RMSE (*Root Mean Squared Error*)

RMSE atau *Root Mean Squared Error* adalah salah satu metrik yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi kinerja model prediksi, terutama dalam konteks regresi. Metode ini memiliki kelebihan yaitu dapat dengan mudah diinterpretasikan dan sensitif terhadap perubahan terkecil apapun sehingga sangat cocok untuk digunakan pada perhitungan alat ukur yang biasanya memiliki batas toleransi yang sangat kecil. Untuk

menghitung nilai RMSE pertama kita perlu untuk menghitung nilai dan *Relative Error* untuk mengetahui akurasi dari alat, dimana perhitungannya seperti berikut [17].

$$RE = \sum_{i=1}^n \left( \left( \frac{X_i - XO_i}{X_i} \right) \times 100\% \right) / n \dots\dots\dots (4.1)$$

$$Akurasi = 100\% - RE \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana :

RE = *Relative Error*

X<sub>i</sub> = Nilai Aktual atau Sebenarnya dalam periode i

XO<sub>i</sub> = Nilai Hasil Pengukuran dalam periode i

n = Jumlah Data

Kemudian setelah mendapatkan nilai RE dan nilai akurasi, kita bisa mengetahui nilai berapa besar penyimpangan yang terjadi selama percobaan dengan menghitung nilai RMSE yang rumusnya seperti berikut [17].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - A_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana :

O<sub>i</sub> = Nilai Hasil Pengukuran dalam periode i

A<sub>i</sub> = Nilai Aktual dalam periode i

n = Jumlah Data

Menggunakan kedua rumus diatas, kita bisa mengaplikasikannya pada setiap data hasil pengujian. Berikut ini adalah perhitungan RMSE yang didapat dari hasil kalibrasi alat.

#### A. Percobaan Kalibrasi Pertama

Pertama-tama kita perlu melakukan perhitungan satu persatu *relative error* dari masing-masing variasi dengan menggunakan

persamaan 4.4 yang menggunakan data pada percobaan pertama dengan jumlah data 20.

a. Perhitungan RE pada variasi ke-1

$$\begin{aligned} RE &= \left( \frac{757,4-727}{727} \right) \times 100\% \\ &= 4,1816\% \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan *relative error* keseluruhan variasi pada percobaan pertama.

**Tabel 4.3** Data Hasil Kalibrasi ke – 1.

| No | Jarak Real (mm) | Hasil Pembacaan Alat Ukur (mm) | Relative Error (%) |
|----|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| 1  | 727             | 757,4                          | 4,1816             |
| 2  | 777             | 788,2                          | 1,4414             |
| 3  | 827             | 838,5                          | 1,3906             |
| 4  | 877             | 887,5                          | 1,1973             |
| 5  | 927             | 937,7                          | 1,1543             |
| 6  | 977             | 986,6                          | 0,9826             |
| 7  | 1027            | 1037,3                         | 1,0029             |
| 8  | 1077            | 1103,6                         | 2,4698             |
| 9  | 1127            | 1152,7                         | 2,2804             |
| 10 | 1177            | 1203,2                         | 2,2260             |
| 11 | 1177            | 1204                           | 2,2940             |
| 12 | 1127            | 1153,5                         | 2,3514             |
| 13 | 1077            | 1105,1                         | 2,6091             |
| 14 | 1027            | 1055                           | 2,7264             |
| 15 | 977             | 989,3                          | 1,2590             |
| 16 | 927             | 940,1                          | 1,4132             |
| 17 | 877             | 890,2                          | 1,5051             |
| 18 | 827             | 841,1                          | 1,7050             |
| 19 | 777             | 775,3                          | 0,2188             |
| 20 | 727             | 742                            | 2,0633             |

b. Perhitungan RE untuk keseluruhan data

$$\begin{aligned} RE &= \sum_{i=1}^n \left( \left( \frac{X_i - X_{0i}}{X_i} \right) \times 100\% \right) / n \\ &= 1,8017\% \end{aligned}$$

c. Menghitung Nilai Akurasi

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= 100\% - RE \\ &= 98,1983\% \end{aligned}$$

d. Menghitung Nilai RSME

$$\begin{aligned} \text{RMSE} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - A_i)^2}{n}} \\ &= 19,478 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh diketahui bahwa keseluruhan variasi pada kalibrasi pertama memiliki *relative error* sebesar 1,8017 % yang berarti bahwa pada kalibrasi pertama ini, alat ukur ketinggian gelombang air laut memiliki akurasi sebesar 98,1983 %. Kemudian setelah melakukan perhitungan dengan rumus RMSE diketahui bahwa selama pengujian berlangsung, alat ukur ini memiliki penyimpangan sebesar 19,478 mm dari nilai sebenarnya.

## B. Percobaan Kalibrasi Ke – 2

Pertama-tama kita perlu melakukan perhitungan satu persatu *relative error* dari masing-masing variasi dengan menggunakan persamaan 4.5 yang menggunakan data pada percobaan ke – 2 dengan jumlah data 20.

a. Perhitungan RE pada variasi ke-1

$$\begin{aligned} \text{RE} &= \left( \frac{727 - 725,6}{727} \right) \times 100\% \\ &= 0,1926\% \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan *relative error* keseluruhan variasi pada percobaan kedua.

**Tabel 4.4** Data Hasil Kalibrasi ke – 2.

| No | Jarak Real (mm) | Hasil Pembacaan Alat Ukur (mm) | Relative Error (%) |
|----|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| 1  | 727             | 725,6                          | 0,1926             |
| 2  | 777             | 775,7                          | 0,1673             |
| 3  | 827             | 825                            | 0,2418             |

|    |      |         |        |
|----|------|---------|--------|
| 4  | 877  | 890,7   | 1,5621 |
| 5  | 927  | 941     | 1,5102 |
| 6  | 977  | 989,8   | 1,3101 |
| 7  | 1027 | 1040,2  | 1,2853 |
| 8  | 1077 | 1089,7  | 1,1792 |
| 9  | 1127 | 1155,4  | 2,5200 |
| 10 | 1177 | 1205,4  | 2,4129 |
| 11 | 1177 | 1205,4  | 2,4129 |
| 12 | 1127 | 1155,80 | 2,5555 |
| 13 | 1077 | 1089,80 | 1,1885 |
| 14 | 1027 | 1040,40 | 1,3048 |
| 15 | 977  | 990,10  | 1,3408 |
| 16 | 927  | 941,20  | 1,5318 |
| 17 | 877  | 891,30  | 1,6306 |
| 18 | 827  | 841,70  | 1,7775 |
| 19 | 777  | 791,70  | 1,8919 |
| 20 | 727  | 742,70  | 2,1596 |

b. Perhitungan RE untuk keseluruhan data

$$\begin{aligned} RE &= \sum_{i=1}^n \left( \left( \frac{X_i - X_{O_i}}{X_i} \right) \times 100\% \right) / n \\ &= 1,4486 \% \end{aligned}$$

c. Menghitung Nilai Akurasi

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= 100\% - RE \\ &= 98,5514 \% \end{aligned}$$

d. Menghitung Nilai RSME

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - A_i)^2}{n}} = 16,9405 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh diketahui bahwa keseluruhan variasi pada kalibrasi kedua memiliki *relative error* sebesar 1,4486 % yang berarti bahwa pada kalibrasi pertama ini, alat ukur ketinggian gelombang air laut memiliki akurasi sebesar 98,5514 %. Kemudian setelah melakukan perhitungan dengan rumus RMSE diketahui bahwa selama pengujian berlangsung, alat ukur ini memiliki penyimpangan sebesar 16,9405 mm dari nilai sebenarnya.

## 2. Perhitungan Standar Deviasi serta RSD secara Individual dan Pooled

Untuk mendukung kembali hasil perhitungan dengan metode RMSE, maka perlu menambahkan perhitungan dengan metode Standar Deviasi. Standar deviasi digunakan karena mampu untuk menunjukkan seberapa bervariasi data dalam satu set keseluruhan data dari hasil kalibrasi alat. Secara khusus, standar deviasi mengukur rata-rata penyimpangan setiap nilai dari *mean* (rata-rata) data tersebut. Pada perhitungan kali ini, digunakan perhitungan standar deviasi secara individual dan pooled. Berikut ini adalah penjabarannya.

### 1. Standar Deviasi Individual.

Pada perhitungan standar deviasi individual, perhitungan dilakukan pada satu kelompok data, yang mana pada penelitian ini berarti data dari hasil satu variasi di setiap percobaan. Untuk menghitung standar deviasi, hal pertama yang harus kita lakukan adalah mencari nilai *Mean*, kemudian menghitung nilai Standar Deviasi secara Individual di setiap variasi data. Berikut ini adalah perhitungan untuk mencari standar deviasi untuk hasil kalibrasi secara individual [17].

#### a. Mencari Nilai Mean ( $\bar{x}$ ) Pada Variasi Ketinggian Pertama

$$\begin{aligned} \text{Mean } (\bar{x}) &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \\ &= \frac{722,9+742+725,6+742,70}{4} \\ &= 741,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### b. Mencari Nilai Deviasi Individual (S) Pada Percobaan Pertama

$$\begin{aligned} \text{St. Dev (S)} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (757,4 - 741,9)^2}{4-1}} \\ &= 12,9947 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hitung setiap variasi untuk setiap pengujian, hingga semuanya didapat nilai Standar Deviasinya. Berikut adalah hasil perhitungannya.

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Standar Deviasi Individual.

| Menghitung Nilai Standar Deviasi Individual |                 |                      |        |        |         |           |                         |
|---|-----------------|----------------------|--------|--------|---------|-----------|-------------------------|
| No  | Jarak Real (mm) | Hasil Pengujian (mm) |        |        |         | Mean (mm) | ST. DEV Individual (mm) |
|   |                 | 1                    | 2      | 3      | 4       |           |                         |
| 1   | 727             | 757,4                | 742    | 725,6  | 742,70  | 741,9     | 12,9947                 |
| 2   | 777             | 788,2                | 775,3  | 775,7  | 791,70  | 782,7     | 8,4658                  |
| 3   | 827             | 838,5                | 841,1  | 825    | 841,70  | 836,6     | 7,8407                  |
| 4   | 877             | 887,5                | 890,2  | 890,7  | 891,30  | 889,9     | 1,6780                  |
| 5   | 927             | 937,7                | 940,1  | 941    | 941,20  | 940,0     | 1,6062                  |
| 6   | 977             | 986,6                | 989,3  | 989,8  | 990,10  | 989,0     | 1,6010                  |
| 7   | 1027            | 1037,3               | 1055   | 1040,2 | 1040,40 | 1043,2    | 7,9768                  |
| 8   | 1077            | 1103,6               | 1105,1 | 1089,7 | 1089,80 | 1097,1    | 8,4516                  |
| 9   | 1127            | 1152,7               | 1153,5 | 1155,4 | 1155,80 | 1154,4    | 1,4888                  |
| 10  | 1177            | 1203,2               | 1204   | 1205,4 | 1205,4  | 1204,5    | 1,0893                  |

## 2. Standar Deviasi Pooled

Standar deviasi pooled digunakan ketika kita menggabungkan dua atau lebih kelompok data yang mungkin memiliki ukuran yang berbeda, tetapi kita ingin memperkirakan variasi keseluruhan dari data yang digabungkan tersebut. Berikut ini adalah hasil perhitungan Standar Deviasi *Pooled* pada hasil kalibrasi alat yang sudah dilakukan [17].

a. Nilai  $(n - 1) \cdot S^2$  pada Percobaan Pertama

$$\begin{aligned}
 &= (n_1 - 1) \cdot S_1^2 \\
 &= (4 - 1) \cdot (12,9947)^2 \\
 &= 506,5875 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

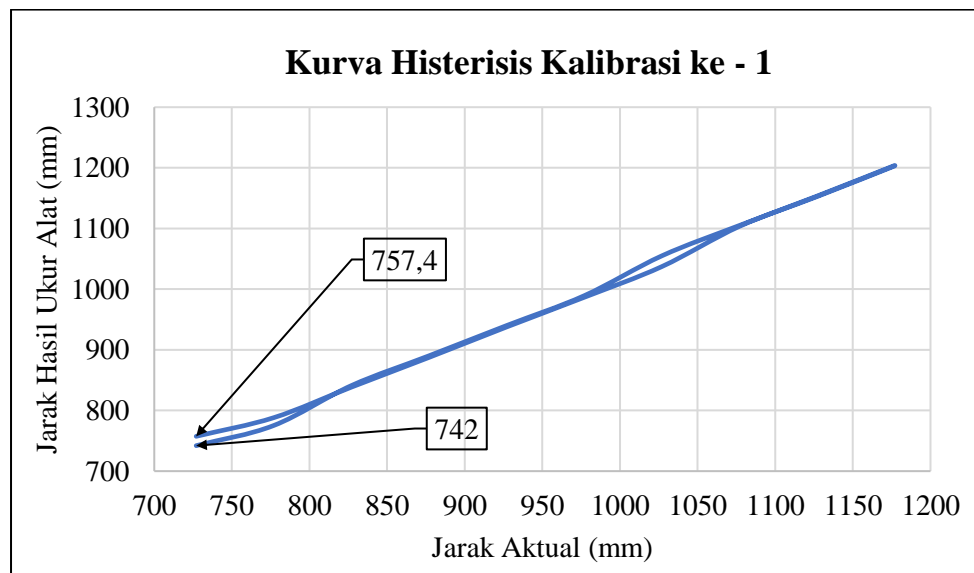
Hitung semua nilai, dengan menggunakan data variasi selanjutnya berurutan hingga semuanya didapat nilai  $(n - 1) \cdot S^2$ . Setelah didapat untuk masing-masing nilainya, maka selanjutnya adalah sebagai berikut [17].

$$\begin{aligned}
 \text{St. Dev Pooled } (S_P) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(n_i-1) \cdot S_i^2}{n_i-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{1345,2875}{30-10}} = 8,20149 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



#### 4.9 Analisa Hasil Kalibrasi

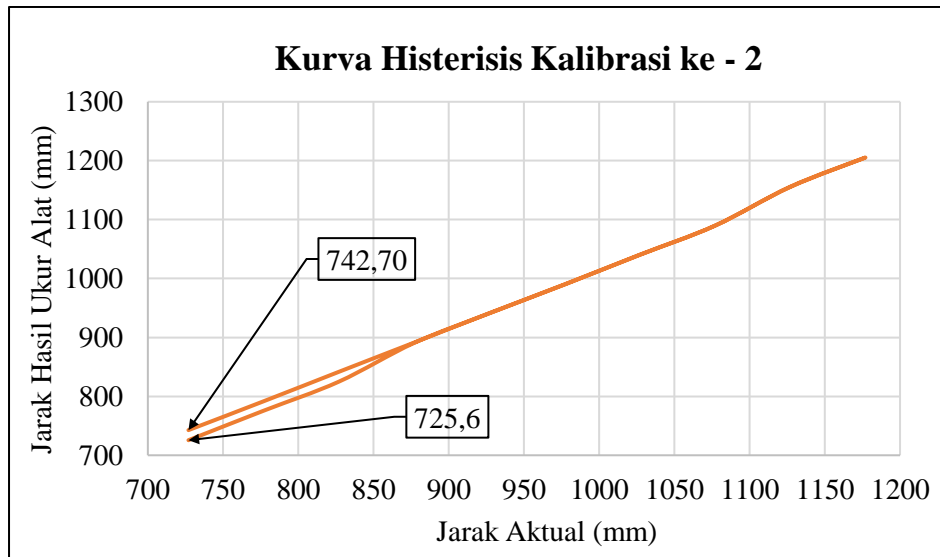
Pada proses kalibrasi kali ini, data hasil pengukuran akan dibandingkan dengan data jarak aktual. Kemudian hasil dari perbandingan tersebut akan dibuat menjadi kurva histeresis. Fungsi dari kurva histeresis adalah untuk mengetahui seberapa baik akurasi, dan konsistensi pengukuran berdasarkan dari pengukuran yang berurutan. Menurut, Shivaram tahun 2019 pada penelitiannya untuk membuat sensor humidity, menyatakan bahwa kurva histeresis akan menentukan kinerja atau performa sebuah sensor. Sensor dapat dikatakan memiliki keandalan dan konsistensi yang baik jika kurva histeresis hasil pengukurannya rendah. Hal ini dikarenakan, hasil pengukuran alat tidak terpengaruh oleh hasil pengukuran sebelumnya ketika melakukan pengukuran lainnya dengan nilai yang berbeda. Hal ini juga menunjukkan bahwa alat tidak perlu untuk dikalibrasi ulang setiap melakukan pengukuran yang berlanjut atau terus menerus dalam jangka waktu yang pendek sehingga alat ukur tersebut dapat digunakan secara terus menerus atau real time dalam jangka waktu yang cukup lama.



**Gambar 4.16** Kurva Histeresis Kalibrasi ke-1.

Pada percobaan kalibrasi yang pertama, hasil perbandingan dapat dilihat pada kurva histeresis diatas. Terlihat bahwa untuk titik awal pengukuran pada jarak aktual sebesar 727 mm didapat nilai pengukuran 742 mm, kemudian pada

pengukuran terakhir didapat nilai pengukuran sebesar 757,4 mm. Terdapat gap atau jarak antara pengukuran sebesar 15,4 mm. Sedangkan rata-rata histeresis pada setiap pengukuran dengan jarak aktual yang sama, didapat nilai rata-rata 5,95 mm.



**Gambar 4.17** Kurva Histeresis Kalibrasi ke-2.

Kemudian berdasarkan hasil percobaan kalibrasi kedua, dengan jarak pengukuran yang sama dengan percobaan pertama didapat nilai pengukuran awal sebesar 725,6 mm dan pada akhir pengukuran didapat nilai hasil pengukuran dengan alat ukur sebesar 742,7 mm. Gap yang dihasilkan dari awal pengukuran hingga akhir pengukuran adalah sebesar 17,1 mm. Jika dilihat dari rata-rata histeresis pada masing-masing pengukuran dengan jarak aktual yang sama, histeresis yang didapat adalah 5,16 mm. Setelah melakukan pengujian kalibrasi, keseluruhan pengujian mendapatkan nilai rata-rata histeresis sebesar 5,55 mm. Untuk sebuah kurva histeresis, nilai tersebut bisa dibilang cukup baik dikarenakan nilainya kecil hanya berkisar 5,55 mm. Sedangkan untuk gap antara awal pengukuran dengan akhir pengukuran pada jarak aktual yang sama memiliki gap rata-rata 16,25 mm. Hal ini berarti, jika pengukuran dilakukan secara terus menerus maka hasil pengukuran akan meleset sekitar 5,55 mm akibat pengaruh dari pengukuran sebelumnya.

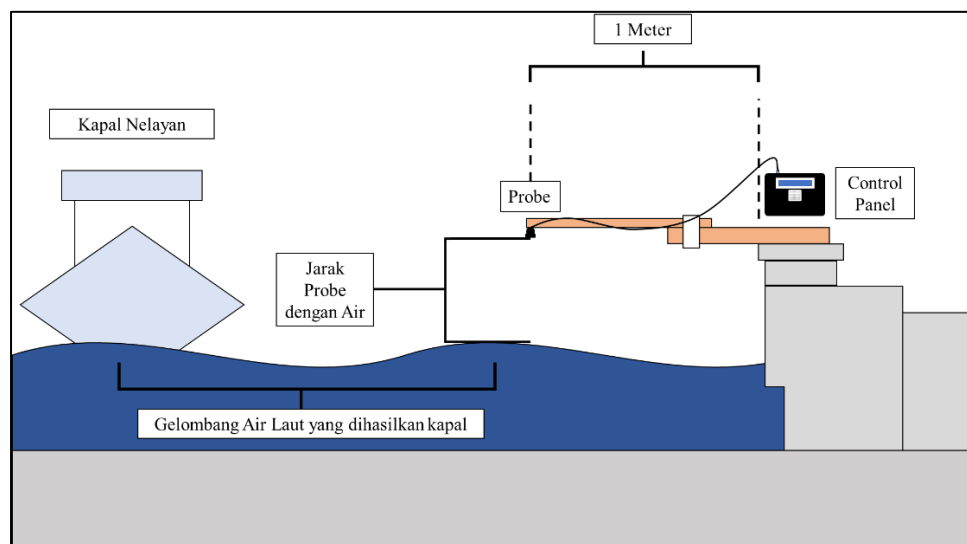
Sedangkan untuk gap histerisis dari awal pengukuran hingga akhir alat ukur tersebut kehilangan akurasi atau ketepatan sebesar 16,25 mm.

Kemudian Hasil dari perhitungan yang sudah dilakukan dengan metode RMSE menunjukkan bahwa pada percobaan pertama diketahui bahwa hasil pengukuran mendapatkan nilai *relative error* sebesar 1,8017 % yang berarti bahwa pada kalibrasi pertama ini, alat ukur ketinggian gelombang air laut memiliki akurasi sebesar 98,1983 %. Kemudian untuk nilai RMSE diketahui bahwa selama pengujian berlangsung, alat ukur ini memiliki penyimpangan sebesar 19,478 mm dari nilai sebenarnya. Kemudian pada percobaan kedua didapat nilai *relative error* sebesar 1,4486 % yang berarti bahwa pada kalibrasi pertama ini, alat ukur ketinggian gelombang air laut memiliki akurasi sebesar 98,5514 %. Kemudian setelah melakukan perhitungan dengan rumus RMSE diketahui bahwa selama pengujian berlangsung, alat ukur ini memiliki penyimpangan sebesar 16,9405 mm dari nilai sebenarnya. Jika dihitung secara keseluruhan berdasarkan percobaan pertama dan kedua didapat nilai RMSE sebesar 18,209 mm, atau akurasi alat sebesar 98,363 %. Selain itu, setelah dihitung menggunakan metode standar deviasi didapat nilai pada percobaan pertama dan kedua secara keseluruhan (*pooled*) yaitu sebesar 8,2014 mm. Hal ini berarti nilai hasil pengukuran oleh alat, menyimpang sebesar 8,2014 mm dari hasil pengukuran rata-rata di setiap variasi dari percobaan yang dilakukan. Dengan nilai tersebut, dapat disimpulkan bahwa alat ukur yang dibuat sudah dapat digunakan di lapangan dikarenakan nilai akurasi yang didapat secara keseluruhan sudah mencapai 98,363% yang mana berarti nilai akurasi > 95% sehingga dapat dikategorikan sebagai alat ukur dengan akurasi tinggi.

Kemudian setelah mengetahui bahwa alat ukur yang dibuat memiliki akurasi yang tinggi maka selanjutnya kita menghitung standar deviasi. Fungsi perhitungan standar deviasi disini adalah untuk menguji konsistensi dari setiap pengukuran alat. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa standar deviasi alat ukur adalah 8,20149 mm. Hal ini berarti bahwa alat ukur memiliki gap atau jarak di setiap pengukuran sebesar 8,20149 mm dari rata-rata pengukuran pada jarak yang sama. Hasil tersebut bisa dibilang cukup bagus dan sesuai dengan

akurasi sensor JSN – SR04T yang menyatakan akurasi pengukuran jarak berkisar  $\pm 10$  mm pada datasheet yang ditunjukkan.

#### 4.10 Percobaan Pengukuran Menggunakan Alat di Lapangan



**Gambar 4.18** Skema Pengukuran di Lapangan.

Pada pengukuran kali ini dilakukan di lapangan tempat *study case* yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu di Pelabuhan Karangantu, Kota Serang, Banten. Pengukuran dilakukan di samping dermaga dengan menggunakan alat ukur yang sudah dibuat. Letak *probe* dari tepi dermaga yakni sejauh 1 meter dan mengarah langsung secara tegak lurus dengan permukaan air laut. Tujuan pengukuran ini yaitu untuk mengetahui besarnya ketinggian gelombang air yang dihasilkan dari kapal nelayan yang melintas baik itu ketika memasuki pelabuhan atau keluar pelabuhan. Pengukuran dilakukan dengan menyiapkan sebuah kapal yang akan digunakan sebagai objek pengukuran. Kapal tersebut nantinya akan diarahkan untuk melewati area perairan sekitar 4-5 meter jauhnya dari titik pengukuran atau lokasi ditematkannya *probe* sensor ultrasonik. Hal tersebut dilakukan untuk membuat gelombang yang akan dijadikan sampel pada pengujian alat ukur. Setelah kapal melewati titik yang telah ditentukan, maka selanjutnya diamati gelombang yang dihasilkan oleh kapal tersebut yang akan mengarah ke tepi dermaga. Gelombang yang terhasil akan diukur menggunakan alat yang sudah dibuat dan juga menggunakan tiang

mistar yang kemudian direkam untuk diamati secara visual melalui video hasil rekaman tersebut. Kemudian kedua data yang telah didapat pada masing-masing pengukuran akan dilakukan perbandingan berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada waktu yang sama. Untuk melakukan perbandingan tersebut akan dibuat grafik berdasarkan pengelompokan data pada waktu yang sama, sehingga dapat dilihat berapa ketinggian gelombang air yang terdeteksi oleh masing-masing pengukuran untuk kemudian dibandingkan apakah hasilnya sesuai atau tidak yang kemudian hasil akhir dari perbandingan dapat disimpulkan apakah alat yang dibuat sudah sesuai dengan tujuan awalnya atau tidak.

#### 4.11 Pengolahan Data Hasil Pengukuran di Lapangan

Pada pengukuran lapangan ini dilakukan pengambilan sampel sebanyak 3 kali yang menggunakan dua alat ukur yaitu alat ukur sensor ultrasonik dan alat ukur manual dengan menggunakan mistar, sehingga data yang diperoleh bisa beragam dan memudahkan ketika dibandingkan. Pada hasil pengukuran di lapangan dengan menggunakan alat ukur terdapat kendala yang terjadi. Kendala yang terjadi dikarenakan alat ukur bekerja dalam mendeteksi gelombang dengan cara mengukur perubahan permukaan air yang dideteksi oleh *probe* dari arah yang tegak lurus dengan permukaan air secara vertikal. Akibat dari hal ini maka grafik yang didapat menjadi terbalik jika digunakan untuk menganalisa gelombang yang dihasilkan. Sehingga diperlukan adanya pengolahan data terlebih dahulu sebelum menganalisa hasil pengukuran gelombang yang dilakukan. Berikut ini adalah data hasil pengukuran tanpa pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** *Raw Data* Hasil Pengukuran di Lapangan.

| No. | Detik | Hasil Pengukuran Ketinggian Gelombang Air Laut (mm) |        |                |        |                |        |
|-----|-------|---|--------|----------------|--------|----------------|--------|
|     |       | Percobaan Ke-1                                      |        | Percobaan Ke-2 |        | Percobaan Ke-3 |        |
|     |       | Visual  | Alat   | Visual         | Alat   | Visual         | Alat   |
| 1   | 0     | 5,86  | 699,70 | -9,08          | 706,89 | -2,74          | 708,08 |

|   |     |       |        |       |        |       |        |
|---|-----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 2 | 0.3 | 7,71  | 706,10 | -1,08 | 694,92 | -3,79 | 710,08 |
| 3 | 0.6 | -8,14 | 712,90 | 17,92 | 672,62 | 8,84  | 700,78 |
| 4 | 1.0 | 9,43  | 680,70 | 7,49  | 709,02 | 20,16 | 673,72 |

|    |     |       |        |        |        |        |        |
|----|-----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 5  | 1.3 | 5,86  | 690,90 | -17,92 | 728,01 | -13,42 | 726,33 |
| 6  | 1.6 | -9,43 | 719,70 | -2,51  | 694,92 | -20,16 | 734,78 |
| 7  | 2.0 | -7,86 | 703,90 | 12,77  | 677,62 | -3,32  | 690,33 |
| 8  | 2.3 | 3,57  | 690,90 | -1,37  | 694,72 | 11,26  | 699,78 |
| 9  | 2.6 | 7,86  | 699,30 | -4,81  | 695,02 | 8,32   | 705,33 |
| 10 | 3.0 | 3,57  | 696,30 | -16,66 | 715,82 | -3,26  | 712,62 |
| 11 | 3.3 | -1,00 | 696,10 | -6,23  | 714,82 | -5,89  | 713,18 |
| 12 | 3.6 | -8,36 | 716,90 | 10,63  | 683,62 | -19,05 | 718,08 |
| 13 | 4.0 | -3,14 | 702,10 | -8,08  | 695,02 | -13,79 | 726,23 |
| 14 | 4.3 | 5,86  | 696,10 | -15,82 | 711,82 | -1,16  | 704,78 |
| 15 | 4.6 | -7,14 | 713,80 | -4,08  | 726,01 | 9,37   | 698,03 |
| 16 | 5.0 | 0,86  | 696,10 | 2,92   | 711,82 | 3,58   | 704,88 |
| 17 | 5.3 | 3,71  | 696,10 | -12,81 | 711,82 | -14,84 | 714,88 |
| 18 | 5.6 | 5,43  | 708,10 | 3,77   | 688,42 | -2,74  | 706,48 |
| 19 | 6.0 | 2,43  | 716,10 | -4,23  | 704,92 | 8,32   | 706,53 |
| 20 | 6.3 | -1,57 | 706,10 | -7,66  | 705,02 | -1,16  | 706,48 |
| 21 | 6.6 | -5,29 | 703,10 | -0,80  | 688,62 | -0,63  | 714,93 |
| 22 | 7.0 | 1,00  | 702,30 | -9,37  | 712,02 | -2,21  | 698,23 |
| 23 | 7.3 | 1,29  | 703,80 | 2,63   | 711,82 | -9,05  | 723,18 |
| 24 | 7.6 | -0,71 | 704,80 | -0,80  | 695,32 | -2,72  | 722,03 |

Setelah mengumpulkan data dengan melakukan 3 (tiga) kali percobaan pengukuran langsung di lapangan, didapat data seperti yang tertera pada Tabel 4.6 diatas. Berdasarkan dari data yang diperoleh tersebut, dapat terlihat bahwa

nilai dari hasil pengukuran menggunakan alat sangat jauh berbeda jika dibandingkan dengan hasil pengukuran secara visual. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan data secara lebih lanjut agar data hasil pengukuran dengan alat memungkinkan untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran visual. Berikut ini adalah proses dari pengolahan data hasil pengukuran menggunakan alat ukur yang telah dibuat.

1. Mencari nilai-nilai karakteristik gelombang.

Untuk mengubah datum dari gelombang hal yang perlu diketahui yaitu nilai-nilai karakteristik gelombang mulai dari puncak tertinggi gelombang (H), lembah terdalam gelombang (l), dan amplitudo dari gelombang. Puncak tertinggi merupakan nilai tertinggi yang dicapai oleh permukaan air ketika terjadi gelombang air dan untuk kedalaman lembah merupakan hal sebaliknya. Untuk nilai amplitudo diambil dari setengah jarak antara puncak tertinggi dan lembah terdalam yang ada pada gelombang. Amplitudo dirumuskan sebagai berikut [7].

$$\text{Amplitudo } (A) = \frac{(H-l)}{2} \text{ (mm) ..... (4.1)}$$

Keterangan :

A = Amplitudo (mm)

H = Puncak Tertinggi Gelombang (mm)

l = Lembah Terdalam Gelombang (mm)

Kemudian setelah mendapatkan nilai amplitudo, maka selanjutnya nilai datum dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut [7].

$$D = H - A \text{ (mm) ..... (4.2)}$$

Keterangan:

D = Datum (mm)

H = Puncak Tertinggi Gelombang (mm)

A = Amplitudo (mm)

Adapun contoh perhitungan untuk perhitungan amplitudo dan datum dapat dilihat dibawah ini yang dilakukan untuk data hasil pengukuran percobaan ke-1 dari detik 0 hingga detik 7,6 .

a. Menghitung Amplitudo

$$\text{Amplitudo } (A) = \frac{(H-l)}{2} \text{ mm}$$

$$\text{Amplitudo } (A) = \frac{(719,70-680,70)}{2} \text{ mm}$$

$$\text{Amplitudo } (A) = 19,50 \text{ mm}$$

b. Menghitung Datum

$$\text{Datum } (D) = 719,70 - A \text{ mm}$$

$$\text{Datum } (D) = 719,70 - 19,50$$

$$\text{Datum } (D) = 700,20 \text{ mm}$$

Perhitungan diatas kemudian akan dilakukan pada masing-masing percobaan untuk pengukuran dengan alat. Hasil perhitungan pada setiap percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini.

**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan Nilai Karakteristik Gelombang.

| Jenis Data       | Percobaan Ke-1 |       | Percobaan Ke-2 |       | Percobaan Ke-3 |       |
|------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|                  | Visual         | Alat  | Visual         | Alat  | Visual         | Alat  |
| Puncak Tertinggi | 28,93          | 39,00 | 45,61          | 55,39 | 50,69          | 61,06 |
| Lembah Terendah  | 10,07          | 0,00  | 9,78           | 0,00  | 10,37          | 0,00  |
| Amplitudo        | 9,43           | 19,50 | 17,92          | 27,70 | 20,16          | 30,53 |
| Datum            | 19,50          | 19,50 | 27,70          | 27,69 | 30,53          | 30,53 |

2. Menyetarakan titik datum di titik 0 dan membalikan nilai hasil pengukuran

Untuk mengubah datum agar berada di titik 0, dapat dilakukan dengan cara mengurangi seluruh hasil pengukuran di setiap detiknya. Kemudian berdasarkan kendala yang disebutkan sebelumnya, bahwa grafik hasil pengukuran menampilkan gelombang air laut yang terbalik. Oleh karena itu,



untuk prosen pembalikan tersebut semua hasil pengukuran pada setiap percobaan harus dikalikan dengan -1 (minus satu).

$$(Y - D) \cdot (-1) = X \text{ (mm)} \dots\dots\dots (4.4)$$

Keterangan:

Y = Nilai hasil pengukuran awal (mm)

D = Datum (mm)

X = Nilai pengukuran hasil perhitungan (mm)

Berikut ini adalah proses perhitungan data untuk mengubah datum dan memalikan nilai hasil pengukuran yang dilakukan pada percobaan pengukuran ke-1 pada detik 0.

$$(Y - D) \cdot (-1) = X \text{ (mm)}$$

$$(699,7 - 700,20) \cdot (-1) = 0,5 \text{ mm}$$

### 3. Mengubah titik datum untuk memudahkan proses perbandingan antara dua hasil pengukuran

Mengubah titik datum disini dimaksudkan agar ketika data hasil pengukuran dengan kedua metode dibandingkan, akan lebih mudah terlihat sehingga memudahkan proses analisa. Selain itu mengubah titik datum diperlukan untuk menghindari hasil pengukuran yang memiliki angka negatif. Untuk mengubah titik datum, metode yang digunakan adalah menambahkan amplitudo tertinggi diantara kedua metode yang digunakan pada masing-masing percobaan pengukuran yang telah dilakukan. Karena dari ketiga hasil pengukuran menunjukkan nilai amplitudo yang lebih besar ada pada setiap pengukuran dengan alat ukur, maka nilai amplitudo alat ukur di setiap percobaan akan digunakan sebagai datum.

$$X + A_1 = Z \dots\dots\dots (4.5)$$

Keterangan :

X = Nilai pengukuran pada datum 0 (mm)

A<sub>x</sub> = Amplitudo tertinggi di setiap percobaan (mm)

Z = Nilai pengukuran pada Datum A<sub>1</sub> (mm)

Pada percobaan pengukuran pertama, didapat nilai amplitudo alat ukur sebesar 19,50 mm sedangkan nilai amplitudo dari pengukuran visual adalah 9,43 mm. Oleh karena itu, nilai amplitudo alat ukur akan dijumlahkan pada seluruh hasil pengukuran dari kedua metode pada percobaan pengukuran ke-1. Adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut.

a. Pehitungan pada hasil pengukuran metode visual percobaan ke-1 di detik 0

$$X + A_1 = Z$$

$$5,86 + 19,50 = 25,36 \text{ mm}$$

b. Perhitungan pada hasil pengukuran alat percobaan ke-1 di detik 0

$$X + A_1 = Z$$

$$0,5 + 19,50 = 20 \text{ mm}$$

Setelah melakukan beberapa perhtiungan diatas, maka data hasil pengukuran sudah dapat dianalisa. Berikut ini merupakan hasil pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.8. Perlu diketahui bahwa hasil pengukuran ini didapat berdasarkan skema pengujian yang telah dijelaskan sebelumnya.

**Tabel 4.8** Hasil Pengukuran Gelombang Air Laut.

| No. | Detik | Hasil Pengukuran Ketinggian Gelombang Air Laut (mm) |       |                |       |                |       |
|-----|-------|---|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|     |       | Percobaan Ke-1                                      |       | Percobaan Ke-2 |       | Percobaan Ke-3 |       |
|     |       | Visual  | Alat  | Visual         | Alat  | Visual         | Alat  |
| 1   | 0     | 25,36   | 20,00 | 18,61          | 21,12 | 27,79          | 26,70 |

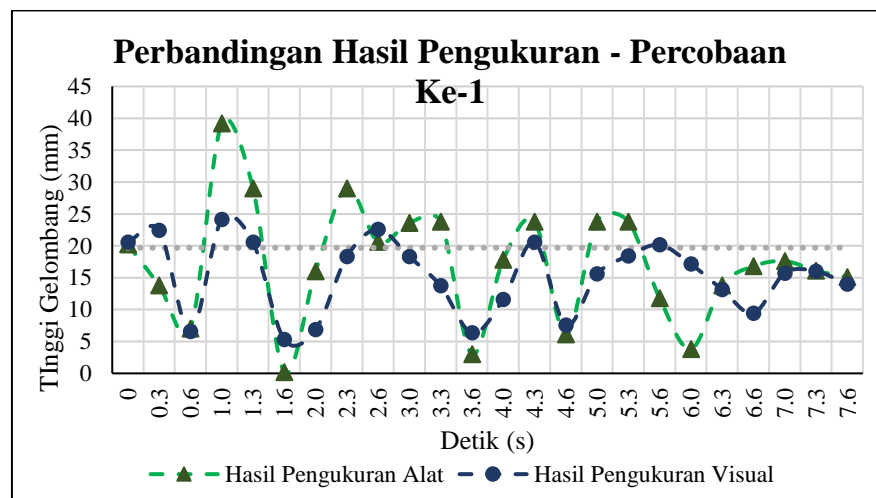
|                  |     |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2                | 0.3 | 27,21 | 13,60 | 26,61 | 33,09 | 26,74 | 24,70 |
| 3                | 0.6 | 11,36 | 6,80  | 45,61 | 55,39 | 39,37 | 34,00 |
| 4                | 1.0 | 28,93 | 39,00 | 35,18 | 18,99 | 50,69 | 61,06 |
| 5                | 1.3 | 25,36 | 28,80 | 9,78  | 0,00  | 17,11 | 8,45  |
| 6                | 1.6 | 10,07 | 0,00  | 25,18 | 33,09 | 10,37 | 0,00  |
| 7                | 2.0 | 11,64 | 15,80 | 40,47 | 50,39 | 27,21 | 44,45 |
| 8                | 2.3 | 23,07 | 28,80 | 26,33 | 33,29 | 41,79 | 35,00 |
| 9                | 2.6 | 27,36 | 20,40 | 22,89 | 32,99 | 38,85 | 29,45 |
| 10               | 3.0 | 23,07 | 23,40 | 11,04 | 12,19 | 27,27 | 22,17 |
| 11               | 3.3 | 18,50 | 23,60 | 21,47 | 13,19 | 24,64 | 21,60 |
| 12               | 3.6 | 11,14 | 2,80  | 38,33 | 44,39 | 11,48 | 16,70 |
| 13               | 4.0 | 16,36 | 17,60 | 19,61 | 32,99 | 16,74 | 8,55  |
| 14               | 4.3 | 25,36 | 23,60 | 11,88 | 16,19 | 29,37 | 30,00 |
| 15               | 4.6 | 12,36 | 5,90  | 23,61 | 2,00  | 39,90 | 36,75 |
| 16               | 5.0 | 20,36 | 23,60 | 30,61 | 16,19 | 34,11 | 29,90 |
| 17               | 5.3 | 23,21 | 23,60 | 14,89 | 16,19 | 15,69 | 19,90 |
| 18               | 5.6 | 24,93 | 11,60 | 31,47 | 39,59 | 27,79 | 28,30 |
| 19               | 6.0 | 21,93 | 3,60  | 23,47 | 23,09 | 38,85 | 28,25 |
| 20               | 6.3 | 17,93 | 13,60 | 20,04 | 22,99 | 29,37 | 28,30 |
| 21               | 6.6 | 14,21 | 16,60 | 26,90 | 39,39 | 29,90 | 19,85 |
| 22               | 7.0 | 20,50 | 17,40 | 18,33 | 15,99 | 28,32 | 36,55 |
| 23               | 7.3 | 20,79 | 15,90 | 30,33 | 16,19 | 21,48 | 11,60 |
| 24               | 7.6 | 18,79 | 14,90 | 26,90 | 32,69 | 27,81 | 12,75 |
| Puncak Tertinggi |     | 28,93 | 39,00 | 45,61 | 55,39 | 50,69 | 61,06 |
| Lembah Terendah  |     | 10,07 | 0,00  | 9,78  | 0,00  | 10,37 | 0,00  |
| Amplitudo        |     | 9,43  | 19,50 | 17,92 | 27,70 | 20,16 | 30,53 |
| Datum            |     | 19,50 | 19,50 | 27,70 | 27,69 | 30,53 | 30,53 |

#### 4.12 Analisa Hasil Pengukuran di Lapangan

Analisa hasil pengukuran lapangan dilakukan untuk mengetahui seperti apa kinerja alat ketika dilakukan pengukuran pada kondisi nyata di lapangan. Hal ini dilakukan karena pada proses kalibrasi pengukuran dilakukan pada permukaan air yang tenang. Karena tujuan utama alat ini untuk mengukur ketinggian gelombang air laut, maka diperlukan verifikasi alat dengan pengukuran langsung gelombang air laut yang terhasil oleh kapal yang berlalu-lalang di Pelabuhan Karangantu. Ketika proses kalibrasi dilakukan, hasil kalibrasi alat menunjukkan bahwa alat ukur yang di buat memiliki akurasi sebesar 98,3748% dengan standar deviasinya sebesar 8,20149 mm. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa alat sudah siap untuk dilakukan pengambilan data di lapangan.

Pada proses pengambilan data dilapangan kali ini, diambil sebanyak 3 sampel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6. Hasil dari pengukuran tersebut kemudian akan dibuat grafik yang mana akan dibandingkan hasil pengukuran menggunakan alat ukur dengan hasil pengukuran manual secara visual. Fokus utama perbandingan ini adalah untuk melihat apakah ada perbedaan data gelombang seperti amplitudo, frekuensi, dan periode antara hasil pengukuran alat dengan hasil pengukuran secara visual. Berikut ini akan dijabarkan data serta grafik hasil pengukuran alat dan hasil pengukuran visual.

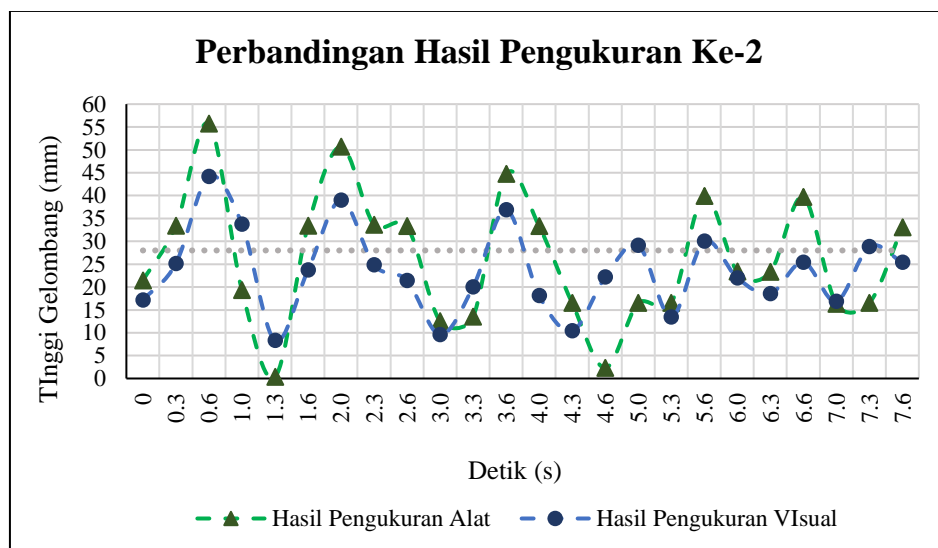
##### 1. Hasil Pengukuran di Lapangan pada Percobaan Pertama.



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran ke-1.

Berdasarkan hasil pengukuran pada percobaan ke-1, diketahui bahwa berdasarkan hasil pengukuran dengan alat ukur didapat bahwa gelombang air laut memiliki amplitudo tertinggi sebesar 19,5 mm sedangkan pada pengukuran secara visual didapat amplitudo tertinggi gelombang sebesar 9,428 mm. Hal ini berarti terdapat perbedaan nilai antara keduanya sebesar 10,071 mm. Selain itu, berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa untuk membentuk satu gelombang dengan siklus penuh (periode) membutuhkan waktu 1,2 detik berdasarkan hasil pengukuran dengan alat sedangkan pada hasil pengukuran visual periode gelombang yang didapat adalah 1,35 detik. Sehingga dapat diketahui juga frekuensi dari gelombang air laut dari hasil pengukuran alat ukur adalah 0,833 Hz dan dari hasil pengukuran visual adalah 0,741 Hz.

## 2. Hasil Pengukuran di Lapangan pada Percobaan Kedua.

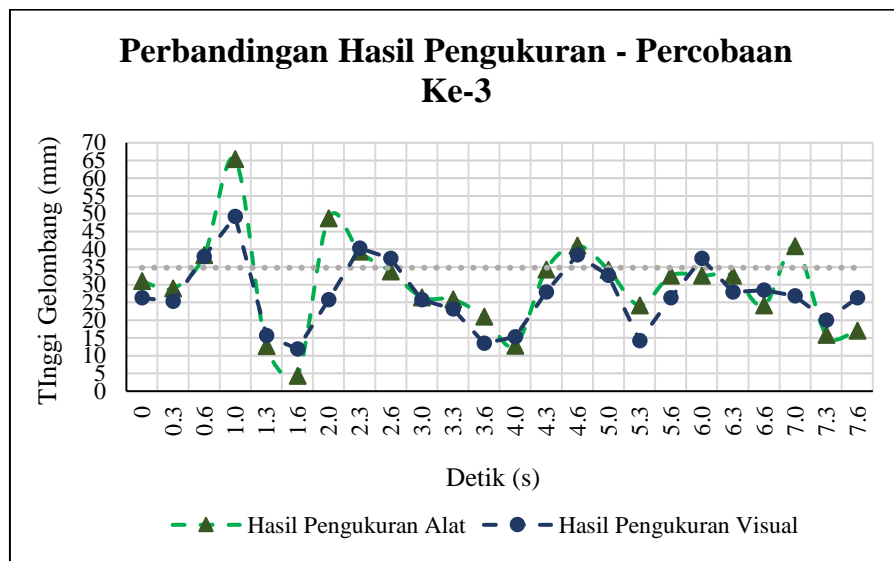


**Gambar 4.20** Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran ke-2.

Berdasarkan hasil pengukuran pada percobaan kedua, diketahui bahwa berdasarkan hasil pengukuran dengan alat ukur didapat bahwa gelombang air laut memiliki amplitudo tertinggi sebesar 27,695 mm sedangkan pada pengukuran secara visual didapat amplitudo tertinggi gelombang sebesar 17,91 mm. Hal ini berarti terdapat perbedaan nilai antara keduanya sebesar 9,7785 mm. Selain itu, berdasarkan grafik diatas terlihat

bahwa untuk membentuk satu gelombang dengan siklus penuh (periode) membutuhkan waktu 1,35 detik berdasarkan hasil pengukuran dengan alat sedangkan pada hasil pengukuran visual periode gelombang yang didapat adalah 1,3 detik. Sehingga dapat diketahui juga frekuensi dari gelombang air laut dari hasil pengukuran alat ukur adalah 0,741 Hz dan dari hasil pengukuran visual adalah 0,769 Hz.

### 3. Hasil Pengukuran di Lapangan pada Percobaan Ketiga.



**Gambar 4.21** Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran ke-3.

Berdasarkan hasil pengukuran pada percobaan ketiga, diketahui bahwa berdasarkan alat ukur yang telah dibuat gelombang yang dihasilkan kapal memiliki Amplitudo sebesar 30,53 mm sedangkan pada pengukuran secara visual didapat amplitudo gelombang sebesar 18,658 mm. Hal ini berarti terdapat perbedaan nilai antara keduanya sebesar 11,872 mm. Selain itu, berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa untuk membentuk satu gelombang dengan siklus penuh (periode) membutuhkan waktu 1,2 detik berdasarkan hasil pengukuran dengan alat sedangkan pada hasil pengukuran visual periode gelombang yang didapat adalah 1,55 detik. Sehingga dapat diketahui juga frekuensi dari gelombang air laut dari hasil pengukuran alat ukur adalah 0,833 Hz dan dari hasil pengukuran visual adalah 0,645 Hz.

### 4.13 Evaluasi Kinerja Alat Ukur Ketinggian Gelombang dengan Sensor Ultrasonik

Setelah melakukan analisa untuk setiap percobaan antara hasil pengukuran alat ukur dengan hasil pengukuran secara visual, maka selanjutnya adalah menganalisa data hasil pengukuran dilapangan antara masing-masing percobaan. Perbandingan dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan bentuk dan karakteristik ada gelombang berdasarkan hasil pengukuran di setiap percobaan. Langkah ini dilakukan untuk melihat kecocokan dari hasil yang telah diperoleh diperoleh agar dapat disimpulkan apakah alat ukur sudah sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat digunakan untuk penggunaan di lapangan. Berikut ini merupakan hasil perbandingan gelombang pada masing-masing percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini.

**Tabel 4.9** Tabel Data Hasil Analisa Pengukuran di Lapangan.

| No. | Data           | Data Hasil Analisa |       |                |        |                |       |
|-----|----------------|--------------------|-------|----------------|--------|----------------|-------|
|     |                | Percobaan Ke-1     |       | Percobaan Ke-2 |        | Percobaan Ke-3 |       |
|     |                | Visual             | Alat  | Visual         | Alat   | Visual         | Alat  |
| 1   | Amplitudo (mm) | 9,428              | 19,5  | 17,916         | 27,695 | 18,658         | 30,53 |
| 2   | Periode (s)    | 1,35               | 1,2   | 1,3            | 1,35   | 1,55           | 1,2   |
| 3   | Frekuensi (Hz) | 0,741              | 0,833 | 0,769          | 0,741  | 0,645          | 0,833 |

Jika dilihat berdasarkan Tabel 4.9, hasil analisa setiap percobaan menghasilkan nilai amplitudo, periode, dan frekuensi yang berbeda antara pengukuran visual dengan pengukuran menggunakan alat ukur di setiap percobaannya. Pada nilai amplitudo terlihat bahwa berdasarkan jarak atau perbedaan antar pengukuran, pada percobaan pertama nilai amplitudo yang didapat yaitu sebesar 10,071 mm, pada percobaan kedua didapat perbedaan sebesar 9,77 mm, kemudian pada percobaan ketiga didapat perbedaan sebesar 11,872 mm. Jika di rata-ratakan maka didapat nilai pada setiap percobaan bahwa 10,573 mm. Hal ini berarti bahwa hasil pengukuran dengan menggunakan alat memiliki perbedaan sebesar 10,573 mm jika dibandingkan

dengan hasil pengukuran secara visual. Jika dilihat dari angka yang dihasilkan, maka gap yang tercipta sesuai dengan hasil kalibrasi yang telah dilakukan karena angka yang didapat yaitu 10,573 mm masih berada diantara nilai RMSE sebesar 18,2535 mm dan standar deviasi sebesar 8,2015 mm. sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan sudah sesuai dengan hasil perhitungan yang sudah dilakukan.

Kemudian jika dilihat dari frekuensi serta periode gelombang yang dihasilkan dari kedua metode pengukuran, maka dapat disimpulkan juga bahwa alat tersebut mampu mendeteksi gelombang air laut dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai periode dari kedua pengukuran yang tidak berbeda jauh, dimana rata-rata alat ukur dapat mendeteksi gelombang lebih cepat atau lebih lambat 0,183 detik saja jika dibandingkan dengan hasil pengukuran visual.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian alat, percobaan pengukuran di lapangan, dan analisa yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa sistem IoT yang diterapkan pada alat, mampu bekerja sesuai dengan konsep dan tujuan yang telah ditetapkan diawal dengan sangat baik. Selain itu, berdasarkan proses kalibrasi yang telah dilakukan pada alat ukur menunjukkan nilai RMSE sebesar 18,2535 mm, dan akurasi alat sebesar 98,3748 %. Kemudian, nilai standar deviasi alat ukur didapat nilai yang sangat baik yaitu pada sebesar 8,2015 mm. Hal ini berarti nilai hasil pengukuran oleh alat memiliki batas toleransi terjauh alat adalah  $\pm 18,209$  mm, dan rata-rata persebaran hasil pengukurannya berkisar kurang lebih sebesar 8,2015 mm. Dengan nilai tersebut, dapat disimpulkan bahwa alat ukur yang dibuat sudah dapat digunakan di lapangan dikarenakan jika dilihat dari nilai akurasi yang didapat secara keseluruhan sudah mencapai 98,636% yang mana berarti nilai akurasi  $> 95\%$  sehingga dapat dikategorikan sebagai alat ukur dengan akurasi tinggi.

Selain itu setelah melakukan percobaan pengukuran dilapangan didapatkan hasil yang sangat baik dimana hanya terdapat perbedaan nilai amplitudo yang dihasilkan setiap percobaan rata-rata mencapai 10,573 mm yang berada diantara nilai RMSE dan Standar Deviasi dari hasil kalibrasi. Selain itu, dengan nilai periode hanya berkisar 0,183 detik dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa alat ukur ini mampu menangkap pergerakan gelombang air laut dengan sangat baik.

#### 5.2 Saran

Adapun sarang yang dapat penulis sampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk hasil alat ukur dengan akurasi dan kinerja yang lebih baik, maka dapat melakukan *upgrade* dengan mengganti sensor ultrasonik yang

memiliki akurasi yang lebih baik serta frekuensi kerja yang lebih tinggi. Sehingga nantinya alat ukur mampu mendeteksi gelombang air laut dengan lebih baik dan mampu bekerja dengan range jarak yang lebih tinggi sehingga mampu dioperasikan. Adapun sensor yang direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya yaitu mulai dari Parallax Ping Ultrasonic Sensor yang bisa menjadi alternatif karena memiliki frekuensi kerja yang lebih baik dan range yang lebih jauh meskipun akurasi tidak berbeda signifikan, kemudian bisa juga menggunakan Sensor Ultrasonik dari MaxBotix dengan seri MB7360 hingga MB7380, karena memiliki akurasi yang lebih baik yaitu 1 mm, dan jarak ukur yang sangat besar yaitu sekitar 10 meter.

2. Untuk mempermudah proses pengaplikasian di lapangan, maka perlu untuk membuat rangka alat tambahan yang mampu diatur ketinggian dan sudut *probe* terhadap permukaan air sehingga memudahkan dalam pengoperasian dan pengaplikasiannya.
3. Membuat *panel box* yang mampu tahan terhadap air hujan sehingga ketika alat digunakan untuk mengukur ketinggian gelombang air laut secara *real time* dalam jangka waktu yang cukup lama tidak akan terkendala oleh cuaca.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Noya, “Dampak Gelombang Kapal Cepat Pada Wilayah Pesisir Pantai Yang Mengakibatkan Abrasi,” *Balobe Law J.*, vol. 3, no. 1, p. 8, 2023, doi: 10.47268/balobe.v3i1.1366.
- [2] O. Sri Suharyo, “Rancang Bangun Alat Pengukur Gelombang Permukaan Laut Presisi Tinggi (a Prototype Design),” *Appl. Technol. Comput. Sci. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 18–29, 2018, doi: 10.33086/atcsj.v1i1.6.
- [3] N. T. Karim and H. Muhammad, “Studi Prediksi Pasang Surut Dan Gelombang Untuk Pantai Pasir Putih Pitulua Kolaka Utara Pendahuluan Wilayah pantai Pasir Putih Kabupaten Kolaka merupakan Utara Sulawesi yang Tenggara intensif dimanfaatkan untuk seperti kegiatan manusia pemukiman , dapat i,” *J. Tek. Hidro*, vol. 11, pp. 1–13, 1979.
- [4] H. Gunawan, R. H. Dananjaya, and B. Setiawan, “Pengaruh tinggi, kedalaman pondasi mesin jenis blok dan parameter tanah berbutir halus terhadap amplitudo,” no. September, pp. 777–786, 2017.
- [5] T. W. L. Putra, M. Zainuri, and D. N. Sugianto, “Studi Penjalaran Gelombang Laut di Pulau Panjang, Kabupaten Jepara,” *Bul. Oseanografi Mar.*, vol. 10, no. 1, pp. 75–87, 2021, doi: 10.14710/buloma.v10i1.34299.
- [6] R. Kurniawan and M. N. Habibie, “Variasi bulanan gelombang laut di indonesia,” *J. Meteorol. DAN Geofis.*, vol. 12, no. 2, pp. 221–232, 2011.
- [7] R. Hartono, M. Ary Murti, and I. Alinursafa, “Sistem Pemantauan Ketinggian Gelombang dan Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis Internet of Things (Iot) Menggunakan LPWAN LoRa,” *Snistek*, pp. 157–164, 2022.
- [8] A. Amdani, “Rancang Bangun Alat Ukur Tinggi Gelombang Air Laut Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno,” *Systematics*, vol. 1, no. 2, p. 130, 2019, doi: 10.35706/sys.v1i2.2982.
- [9] N. A. Haq, Khomsin, and D. G. Pratomo, “The Design of an Arduino Based Low-Cost Ultrasonic Tide Gauge with the Internet of Things (Iot) System,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 698, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-

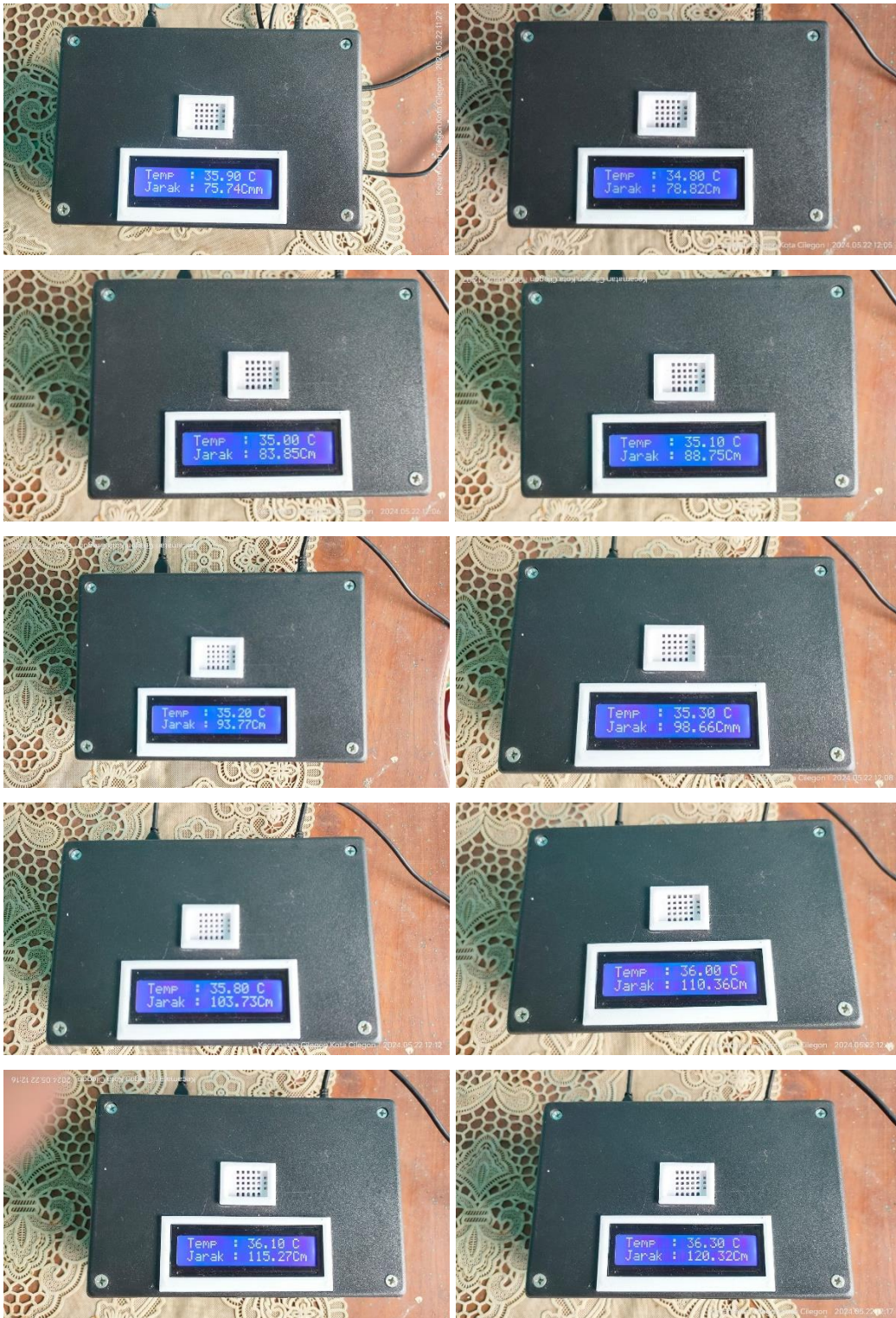
1315/698/1/012004.

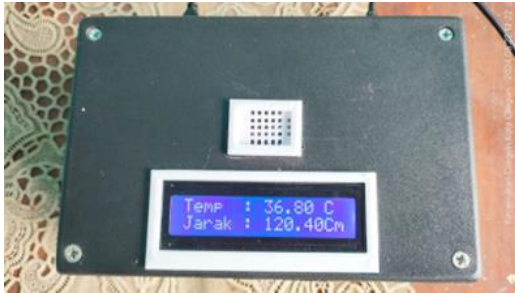
- [10] A. Djalilov, E. Sobirov, O. Nazarov, S. Urolov, and I. Gayipov, "Study on automatic water level detection process using ultrasonic sensor," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1142, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1142/1/012020.
- [11] G. S. Payne, J.-B. Richon, D. Ingram, and J. Spinneken, "Development and preliminary assessment of an optical wave gauge," *Proc. 8th Eur. Wave Tidal Energy Conf.*, pp. 160–167, 2009.
- [12] D. Buscombe, R. J. Carini, S. R. Harrison, C. C. Chickadel, and J. A. Warrick, "Optical wave gauging using deep neural networks," *Coast. Eng.*, vol. 155, no. March 2019, 2020, doi: 10.1016/j.coastaleng.2019.103593.
- [13] L. A. Fiorentino, R. Heitsenrether, and W. Krug, "Wave Measurements From Radar Tide Gauges," *Front. Mar. Sci.*, vol. 6, no. October, pp. 1–14, 2019, doi: 10.3389/fmars.2019.00586.
- [14] A. F. Velegrakis, M. I. Vousdoukas, A. M. Vagenas, T. Karambas, K. Dimou, and T. Zarkadas, "Field observations of waves generated by passing ships: A note," *Coast. Eng.*, vol. 54, no. 4, pp. 369–375, 2007, doi: 10.1016/j.coastaleng.2006.11.001.
- [15] N. K. Mukhopadhyay, S.C., Suryadevara, *Internet of Things Archives | Internet of Things*, vol. 2019, no. July 2016. 2016. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/iot/search/internet-of-things/>
- [16] S. Villamil, C. Hernández, and G. Tarazona, "An overview of internet of things," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 18, no. 5, pp. 2320–2327, 2020, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i5.15911.
- [17] V. Riandaru, H. Lazuardi, A. Adhi, and C. Lauw, "Penerapan Aplikasi RapidMiner Untuk Prediksi Nilai Tukar Rupiah Terhadap US Dollar Dengan Metode Regresi Linier," *J. Nas. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 01, pp. 8–17, 2021.
- [18] nur Nafi'iyah, "Perbandingan Modus , Median , Standar Deviasi , Iterative , Mean Dan Otsu Dalam Thresholding," *J. SPIRIT*, vol. 8, no. 2, pp. 31–36, 2016.

## **LAMPIRAN**

# Lampiran 1. Hasil Pengukuran Kalibrasi

## 1. Proses Kalibrasi Percobaan Pertama





## 2. Proses Kalibrasi Percobaan Pertama







## Lampiran 2. Datasheet Komponen

### 1. Datasheet ESP – WROOM – 32

#### 1 Overview

## 1 Overview

ESP32-WROOM-32 is a powerful, generic Wi-Fi + Bluetooth® + Bluetooth LE MCU module that targets a wide variety of applications, ranging from low-power sensor networks to the most demanding tasks, such as voice encoding, music streaming and MP3 decoding.

At the core of this module is the ESP32-D0WDC6 chip\*. The chip embedded is designed to be scalable and adaptive. There are two CPU cores that can be individually controlled, and the CPU clock frequency is adjustable from 80 MHz to 240 MHz. The chip also has a low-power coprocessor that can be used instead of the CPU to save power while performing tasks that do not require much computing power, such as monitoring of peripherals. ESP32 integrates a rich set of peripherals, ranging from capacitive touch sensors, SD card interface, Ethernet, high-speed SPI, UART, I2S, and I2C.

**Note:**

\* For details on the part numbers of the ESP32 family of chips, please refer to the document [ESP32 Datasheet](#).

The integration of Bluetooth, Bluetooth LE and Wi-Fi ensures that a wide range of applications can be targeted, and that the module is all-around: using Wi-Fi allows a large physical range and direct connection to the Internet through a Wi-Fi router, while using Bluetooth allows the user to conveniently connect to the phone or broadcast low energy beacons for its detection. The sleep current of the ESP32 chip is less than 5  $\mu$ A, making it suitable for battery powered and wearable electronics applications. The module supports a data rate of up to 150 Mbps, and 20 dBm output power at the antenna to ensure the widest physical range. As such the module does offer industry-leading specifications and the best performance for electronic integration, range, power consumption, and connectivity.

The operating system chosen for ESP32 is freeRTOS with LwIP; TLS 1.2 with hardware acceleration is built in as well. Secure (encrypted) over the air (OTA) upgrade is also supported, so that users can upgrade their products even after their release, at minimum cost and effort.

Table 1 provides the specifications of ESP32-WROOM-32.

Table 1: ESP32-WROOM-32 Specifications

| Categories    | Items                                       | Specifications  |
|---------------|---|---|
| Certification | RF certification                            | See certificates for <a href="#">ESP32-WROOM-32</a>   |
|               | Wi-Fi certification                         | Wi-Fi Alliance  |
|               | Bluetooth certification                     | BQB   |
|               | Green certification                         | RoHS/REACH  |
| Test          | Reliability                                 | HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD   |
| Wi-Fi         | Protocols                                   | 802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)<br>A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 $\mu$ s guard interval support |
|               | Center frequency range of operating channel | 2412 ~ 2484 MHz   |
| Bluetooth     | Protocols                                   | Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification  |
|               | Radio                                       | NZIF receiver with -97 dBm sensitivity  |
|               |   | Class-1, class-2 and class-3 transmitter  |
|               | AFH   |   |

[Not Recommended For New Designs \(NRND\)](#)

## 1 Overview

| Categories | Items   | Specifications  |
|------------|---|---|
|            | Audio   | CVSD and SBC  |
| Hardware   | Module interfaces                               | SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWA <sup>®</sup> ), compatible with ISO11898-1 (CAN Specification 2.0) |
|            | Integrated crystal                              | 40 MHz crystal  |
|            | Integrated SPI flash                            | 4 MB  |
|            | Operating voltage/Power supply                  | 3.0 V ~ 3.6 V   |
|            | Operating current                               | Average: 80 mA  |
|            | Minimum current delivered by power supply       | 500 mA  |
|            | Recommended operating ambient temperature range | -40 °C ~ +85 °C   |
|            | Package size                                    | 18 mm x 25.5 mm x 3.10 mm   |
|            | Moisture sensitivity level (MSL)                | Level 3   |

## 2 Pin Definitions

| Name      | No. | Type | Function   |
|-----------|-----|------|--|
| SENSOR_VP | 4   | I    | GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0  |
| SENSOR_VN | 5   | I    | GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3  |
| IO34      | 6   | I    | GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4  |
| IO35      | 7   | I    | GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5  |
| IO32      | 8   | I/O  | GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9  |
| IO33      | 9   | I/O  | GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8 |
| IO25      | 10  | I/O  | GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0  |
| IO26      | 11  | I/O  | GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1  |
| IO27      | 12  | I/O  | GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV                                       |
| IO14      | 13  | I/O  | GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2        |
| IO12      | 14  | I/O  | GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPICLK, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3    |
| GND       | 15  | P    | Ground   |
| IO13      | 16  | I/O  | GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER     |
| SHD/SD2*  | 17  | I/O  | GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD   |
| SWP/SD3*  | 18  | I/O  | GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD  |
| SCS/CMD*  | 19  | I/O  | GPIO11, SD_CMD, SPICSS0, HS1_CMD, U1RTS  |
| SCK/CLK*  | 20  | I/O  | GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS  |
| SDO/SD0*  | 21  | I/O  | GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS  |
| SDI/SD1*  | 22  | I/O  | GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS  |
| IO15      | 23  | I/O  | GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICSS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3       |
| IO2       | 24  | I/O  | GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, HS2_DATA0, SD_DATA0                        |
| IO0       | 25  | I/O  | GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK                             |
| IO4       | 26  | I/O  | GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER            |
| IO16      | 27  | I/O  | GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT   |
| IO17      | 28  | I/O  | GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180   |
| IO5       | 29  | I/O  | GPIO5, VSPICSS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK  |
| IO18      | 30  | I/O  | GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7   |
| IO19      | 31  | I/O  | GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0  |
| NC        | 32  | -    | -  |
| IO21      | 33  | I/O  | GPIO21, VSPHD, EMAC_TX_EN  |
| RXD0      | 34  | I/O  | GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2   |
| TXD0      | 35  | I/O  | GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2  |
| IO22      | 36  | I/O  | GPIO22, VSPWP, U0RTS, EMAC_TXD1  |
| IO23      | 37  | I/O  | GPIO23, VSPID, HS1_STROBE  |
| GND       | 38  | P    | Ground   |

## 2. Datasheet Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

### JSN-SR04T-2.0

#### 20-600 cm Ultrasonic Waterproof Range Finder

JSN-SR04T-2.0 ultrasonic distance measurement module can provide 20cm-600cm non-contact distance sensing function, ranging accuracy up to 2mm; module includes the transceiver of an integrated ultrasonic sensor and control circuit. Mode one usage and the Division's JSN-SR04T-2.0 module.

This product adopts industrial-grade integrated ultrasonic probe design, waterproof type, stable performance, all the MCU on the market. 1, the module performance is stable, the measurement distance is accurate. And foreign SRF05, SRF02 and other ultrasonic rangefinder module comparable. Module high precision, blind (20cm), stable range is the product successfully to the market a strong basis.

#### Features:

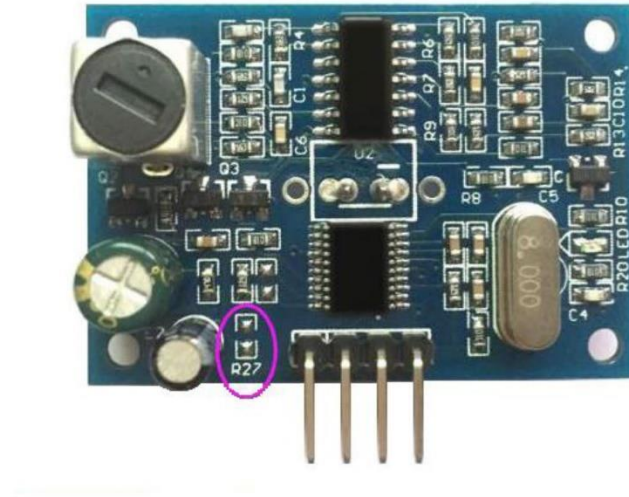
1. small size, easy to use;
2. low voltage, low power consumption;
3. high precision measurement;
4. strong anti-interference;
5. integrated closed waterproof cable probe, suitable for wet, bad measurement occasions

#### Specifications:

|                          | Pulse width output / Serial Output   |
|--------------------------|--|
| Operating Voltage        | DC 3.0-5.5V  |
| Working current          | Less than 8mA  |
| Probe frequency          | 40KHz  |
| Farthest range           | 600cm  |
| Recent range             | 20cm   |
| Distance accuracy        | +/- 1cm  |
| Resolution               | 1mm  |
| Measuring angle          | 75 degree  |
| Enter the trigger signal | 1,10uS above the TTL pulse<br>2, the serial port to send instructions 0X55                 |
| Output the echo signal   | Output pulse width level signal, or TTL  |
| Wiring                   | 3-5.5V (power positive)<br>Trig (RX) RX<br>Echo (output) TX<br>GND (power supply negative) |
| Product Size             | L42 * W29 * H12 mm   |
| Operating temperature    | -20 ° C to + 70 ° C  |
| Product color            | PCB board is blue  |

[www.iahankit.ir](http://www.iahankit.ir)

## Function Description:



**Mode 1:** R27 = open that is not welding. The pattern is described below

1. the basic working principle:

(1) using IO port TRIG trigger range, to a minimum of 10us high letter.

(2) module automatically send 8 40khz square wave, automatically detect whether there is a signal to return;

(3) a signal to return, through the IO port ECHO output a high level, high time is the duration of ultrasound from the launch to the return time. Test distance = (high time \* speed of sound (340M / s)) / 2;

(4) module is triggered after the distance measurement, if you cannot receive the echo (the reason exceeds the measured range or the probe is not on the measured object), ECHO port will automatically become low after 60MS, marking the End of measurement, whether successful or not.

(5) LED indicator, LED non-power indicator, it will receive the signal after the module will be lit, then the module is working.

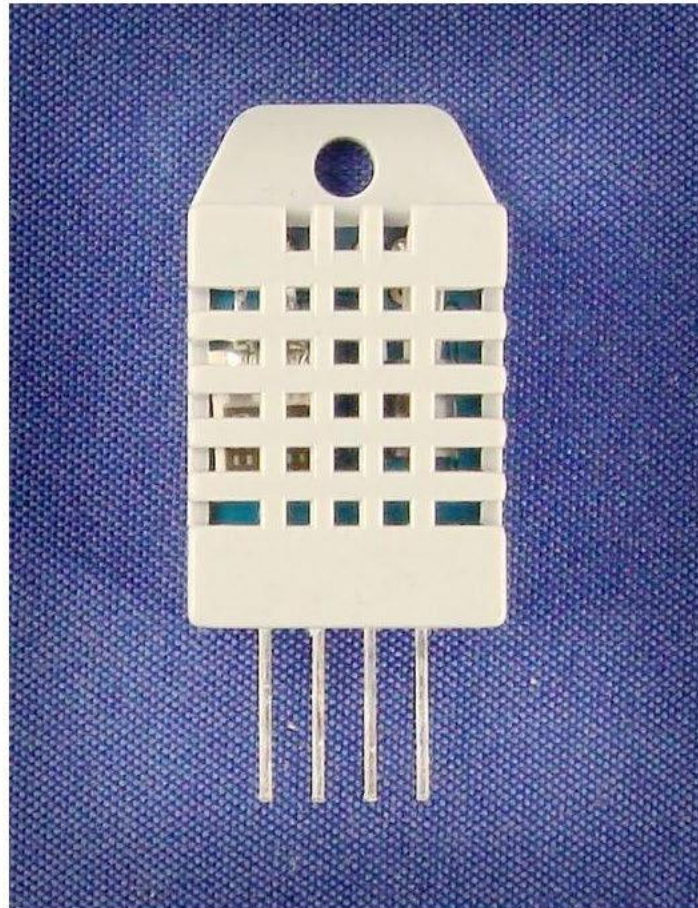
[www.jahankit.ir](http://www.jahankit.ir)

### 3. Datasheet Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22

## **Aosong Electronics Co.,Ltd**

*Your specialist in innovating humidity & temperature sensors*

### **Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)**



**Capacitive-type humidity and temperature module/sensor**

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: [thomasliu198518@yahoo.com.cn](mailto:thomasliu198518@yahoo.com.cn)

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

## 1. Feature & Application:

- \* Full range temperature compensated
- \* Relative humidity and temperature measurement
- \* Calibrated digital signal
- \* Outstanding long-term stability
- \* Extra components not needed
- \* Long transmission distance
- \* Low power consumption
- \* 4 pins packaged and fully interchangeable

## 2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

## 3. Technical Specification:

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Model                     | DHT22  |
| Power supply              | 3.3-6V DC  |
| Output signal             | digital signal via single-bus                          |
| Sensing element           | Polymer capacitor                                      |
| Operating range           | humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius           |
| Accuracy                  | humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius |
| Resolution or sensitivity | humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius                |
| Repeatability             | humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius              |
| Humidity hysteresis       | +/-0.3%RH  |
| Long-term Stability       | +/-0.5%RH/year   |
| Sensing period            | Average: 2s  |
| Interchangeability        | fully interchangeable                                  |
| Dimensions                | small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm             |

## 4. Dimensions: (unit---mm)

### 1) Small size dimensions: (unit---mm)



## Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian

### 1. Proses Kalibrasi



### 2. Proses Pengujian Lapangan



#### Lampiran 4. Program Alat

```
#include "FS.h"
#include "SD.h"
#include <SPI.h>
#include <WiFi.h>
#include <NTPClient.h>
#include <WiFiUdp.h>

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 25 // DHT PIN 2
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

#define trigPin 32
#define echoPin 33

const char* ssid = "Haikal SuperSpeed";
const char* password = "haikalganteng";

RTC_DATA_ATTR int sensor_data = 0;
String Data;

float t;
float h;
float distance;
long duration;
float soundSPD;

WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP);
uint8_t cardType;

String Date;
String day;
String Time;
String Temperature;
String Humidity;
```

```
String Jarak;

void setup(){

  Serial.begin (115200);
  SensorJarakinit();
  SensorSuhuinit();
  Wifiinit();
  waktuinit();
  LOGinit();
  Lcdinit();

}

void loop (){

  if(cardType != CARD_NONE){
    SensorSuhu();
    SensorJarak();
    LcdTask();
    LOGwaktu();
    dataLOG();
  } else {
    Serial.println ("ERROR");
    lcd.setCursor (3,0);
    lcd.print("ERROR !!!");
    lcd.setCursor (3,1);
    lcd.print("CEK SD CARD !");
  }

  delay(200);
}

void Wifiinit(){

  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
}
```

```
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected.");

}

void Lcdinit (){

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print ("Temp : ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print ("Jarak : ");

}

void LcdTask(){

  lcd.setCursor (8,0);
  lcd.print (t);
  lcd.print (" C");
  lcd.setCursor(8, 1);
  lcd.print(distance);
  lcd.print ("Cm");

}

void SensorJarakinit(){

  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);

}

void SensorJarak(){

  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  // Send a 10 microsecond pulse to the trigger pin
```

```

digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
// Read the duration of the echo pulse
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
// Calculate distance in centimeters (assumes speed of sound is 340
m/s)
// Distance = (duration * speed of sound) / 2
soundSPD = ((t*0.6)+ 331) / 10000 ;
distance = duration * soundSPD / 2;
Jarak = distance;
Serial.print(" Distance: ");
Serial.print(distance);
Serial.println(" Cm");
}

void SensorSuhuinit(){

    dht.begin();

}

void SensorSuhu (){

    h = dht.readHumidity();
    t = dht.readTemperature();
    Temperature = dht.readTemperature();
    Humidity = dht.readHumidity();
    Serial.print("Temperature : ");
    Serial.print(t);
    Serial.print(", Humidity : ");
    Serial.print(h);

}

void waktuinit(){

```

```
timeClient.begin();
timeClient.setTimeOffset(25200);

}

void LOGwaktu() {

while(!timeClient.update()) {
    timeClient.forceUpdate();
}
Date = timeClient.getFormattedDate();
Serial.println(Date);

int split = Date.indexOf("T");
day = Date.substring(0, split);
Serial.println(day);
Time = Date.substring(split+1, Date.length()-1);
Serial.println(Time);

}

void LOGinit() {

if(!SD.begin()) {
    Serial.println("Card Mount Failed");
    return;
}
cardType = SD.cardType();
if(cardType == CARD_NONE) {
    Serial.println("No SD card attached");
    return;
}
Serial.println("Initializing SD card...");
if(!SD.begin()) {
    Serial.println("SD card initialization failed!");
    return;
}
File file = SD.open("/dataLOG.txt");
```

```

if(!file) {
    Serial.println("File does not exist");
    Serial.println("Creating file...");
    writeFile(SD, "/dataLOG.txt", "Date, Hour, Temperature, Humidity,
Distance \r\n");
}
else {
    Serial.println("File exists");
}
file.close();
}

void dataLOG(){

    Data = String(day) + "," + String(Time) + "," + String(Temperature) +
"," + String(Humidity) + "," + String (Jarak) + "\r\n";
    Serial.print("Save data: ");
    Serial.println(Data);
    appendFile(SD, "/dataLOG.txt", Data.c_str());

}

void writeFile(fs::FS &fs, const char * path, const char * message) {

    Serial.printf("Writing file: %s\n", path);

    File file = fs.open(path, FILE_WRITE);
    if(!file) {
        Serial.println("Failed to open file for writing");
        return;
    }
    if(file.print(message)) {
        Serial.println("File written");
    } else {
        Serial.println("Write failed");
    }
    file.close();
}

```

```
}  
  
void appendFile(fs::FS &fs, const char * path, const char * message) {  
  
    Serial.printf("Appending to file: %s\n", path);  
  
    File file = fs.open(path, FILE_APPEND);  
    if(!file) {  
        Serial.println("Failed to open file for appending");  
        return;  
    }  
    if(file.print(message)) {  
        Serial.println("Message appended");  
    } else {  
        Serial.println("Append failed");  
    }  
    file.close();  
  
}
```