

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,-.

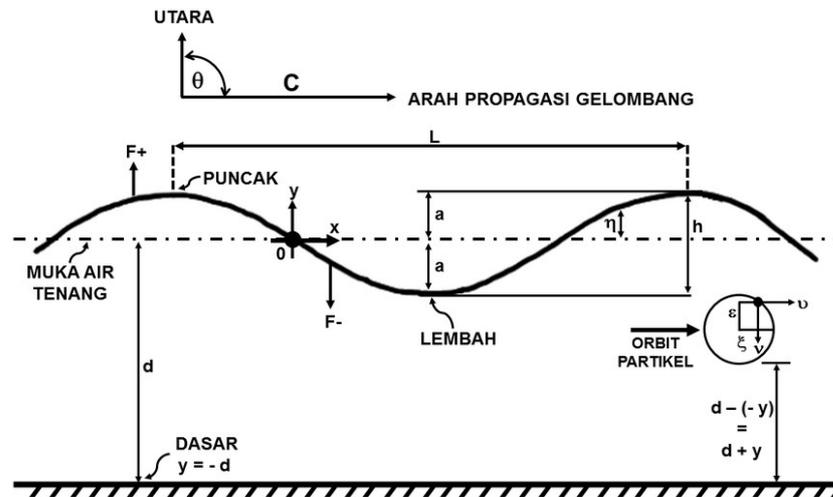
Kemudian referensi selanjutnya, yaitu penelitian tentang Rancang Bangun Alat Ukur Tinggi Gelombang Air Laut Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno yang dilakukan oleh Amdani di Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang, pada tahun 2019. Pada penelitian kali ini, Amdani membuat sebuah alat ukur gelombang 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

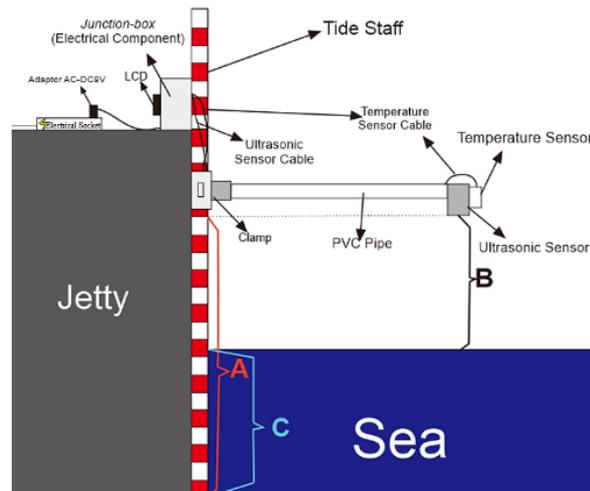
bertambah, yang menghasilkan pasang surut yang lebih tinggi (pasang laut tinggi) dan lebih rendah (surut laut rendah) [7].

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)

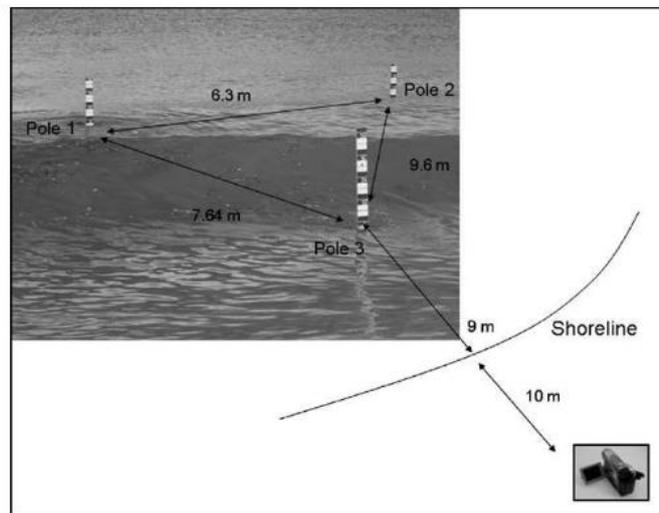
3. *Wave Radar*

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.



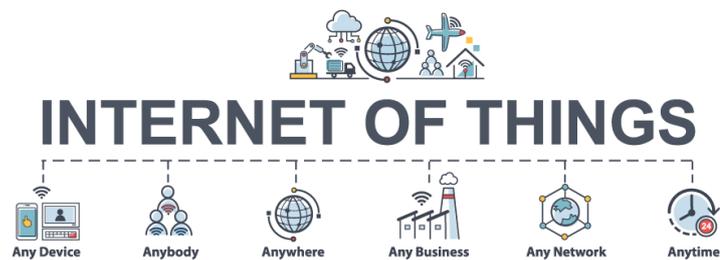
Gambar 2.4 *Poles Visual Observation.*

(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)

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