

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 KAJIAN PUSTAKA**

Hasil studi tahun 2020 oleh M F Yassar dkk menunjukkan bahwa tingginya angka keruntuhan jembatan di Indonesia merupakan salah satu kejadian yang cukup mengkhawatirkan. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan suatu metode untuk memantau kondisi jembatan secara *real time*, salah satunya terkait *Structural Health Monitoring (SHM)*. Metode ini bertujuan untuk memantau kondisi suatu bangunan dengan mengklasifikasikan setiap tingkat kerentanannya. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Accelerometer* untuk mendeteksi getaran pada suatu objek, termasuk jembatan. *Accelerometer* tersebut kemudian digabungkan dengan beberapa komponen lain untuk membentuk *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter* berperan sebagai alat pendeteksi dan pengolah data yang dipasang pada jembatan yang menjadi target. Pengolahan data getaran dilakukan dengan menggunakan metode FFT yang telah diprogram sebelumnya ke dalam *Accelerometer*.

Data yang telah melalui proses pengolahan kemudian dikirim ke *database* menggunakan LoRa, dengan terlebih dahulu diterima oleh *receiver*. Data tersebut kemudian ditransfer ke database agar dapat diakses secara *real time* dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam penentuan kondisi suatu jembatan. Berdasarkan tinjauan pustaka yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa model penelitian mengenai konsep alat pendeteksi ketahanan jembatan ini dapat direalisasikan. Selain itu, konsep dan model telah dibuat dalam bentuk virtual, dimana diharapkan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut berdasarkan model dan konsep yang ada sehingga alat ini dapat digunakan untuk monitoring kondisi bangunan, khususnya jembatan dalam hal ini. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa alat pendeteksi ketahanan jembatan ini dapat direalisasikan dengan memperhatikan berbagai parameter, termasuk parameter-parameter lanjutan, sehingga alat ini dapat digunakan untuk pemantauan kondisi bangunan, dalam hal ini khususnya jembatan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa alat pendeteksi ketahanan jembatan ini dapat direalisasikan dengan memperhatikan

beberapa parameter, termasuk parameter-parameter yang berkaitan dengan komponen yang digunakan dan program yang akan digunakan sebagai masukan untuk alat tersebut[4]

Dari hasil penelitian Hinawan T. Santoso mengenai penilaian kondisi jembatan untuk persyaratan fungsi uji getaran lainnya pada tahun 2020, beliau menggunakan metode uji getaran dimana hasil pengujiannya langsung memberikan nilai respon dinamik jembatan untuk dibandingkan dengan parameter dinamik secara teoritis berdasarkan pemodelan. Uji getaran ini bertujuan untuk mendapatkan parameter dinamik jembatan, seperti frekuensi eigen, rasio redaman dan rentang getaran struktur, sehingga dapat digunakan untuk menilai kondisi jembatan. Instrumen yang diperlukan untuk uji getaran ini adalah sensor Accelerometer yang diletakkan pada titik-titik yang telah direncanakan, kemudian nilainya diolah untuk menentukan *Frequency Response Function* (FRF) dan parameter dinamis lainnya. Uji getaran yang dilakukan memberikan hasil berupa parameter dinamis seperti frekuensi, amplitudo dan rasio redaman. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan penulis, parameter sensor Accelerometer adalah percepatan getaran. Parameter ini mengacu pada seauh mana sensor merespon perubahan percepatan. Sedangkan parameter sensor Gyroscope adalah kecepatan sudut. Setiap Gyroscope memiliki nilai bias yang merupakan kecepatan sudut yang terdeteksi ketika sensor seharusnya dalam keadaan diam.

Waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk melakukan satu kali getaran disebut periode getaran alami (amplitudo). Frekuensi adalah jumlah getaran yang dilakukan per detik. Sedangkan rasio redaman adalah nilai redaman berupa bilangan non-dimensional yang menyatakan besarnya disipasi energi untuk mereduksi amplitudo getaran. Pada penelitian ini, hanya data dari *Accelerometer* atau nilai percepatan arah jembatan yang ditampilkan dan diolah menjadi nilai total, kemudian nilai dari giroskop berguna untuk menentukan arah rotasi atau perputaran jembatan. Dari data tersebut dapat dirangkum nilainya dalam sebuah grafik yang dapat dibandingkan dari setiap percobaan [5]

Dari hasil penelitian Faikul Umam tentang Kestabilan Kecepatan Mobile Robot pada Jalur Datar, Tanjakan dan Turunan pada tahun 2019, ia menggunakan sensor MPU-6050 dengan mengambil nilai *Gyroscope* untuk membuat mobile

robot menjaga kestabilannya. Penelitian tersebut menggunakan metode PID untuk mengatur servo berdasarkan input dari Gyroscope Z, membuat mobile robot berjalan tanpa keluar jalur. Penelitian ini menggunakan arduino uno sebagai mikrokontroler untuk mengontrol servo berdasarkan *input* dari MPU6050 nilai *Gyroscope Z*. Sensor MPU-6050 akan membaca nilai sudut konversi nilai *Accelerometer* dengan *Gyroscope* pada sumbu Y. Berbeda dengan penelitian ini, sensor yang digunakan tidak hanya *Gyroscope* tetapi *Accelerometer* juga pada setiap nilai X, Y, dan Z. Mikrokontroler yang digunakan juga berbeda, penulis menggunakan NodeMCU ESP32 karena NodeMCU ESP32 memiliki kemampuan WiFi yang lebih cepat dan lebih stabil, selain itu NodeMCUESP32 merupakan platform yang relatif terjangkau dan memiliki ukuran yang sama. Hal ini penting dalam penggunaan alat pemantauan getaran yang perlu ditempatkan di lokasi yang terbatas atau di banyak titik di jembatan [6].

Dari penelitian Arda Pramesti Wulandari tahun 2023, Prototipe yang dibuat adalah Simulator Gempa Bumi Sederhana Berbasis Mikrokontroler yang akan merepresentasikan gempa bumi menggunakan meja getar yang digerakkan, sensor *Accelerometer* untuk mengukur nilai percepatan yang didapat, dilakukan analisa pengaruh variasi kecepatan putar motor dan variasi massa serta identifikasi skala gempa. Meja uji getaran merupakan salah satu hal yang penting pada simulator gempa. Meja uji getaran akan menjadi parameter uji untuk melakukan pengamatan terhadap getaran yang terjadi. Meja uji biasanya terdiri dari morot sebagai penggerak.

Pada sistem ini masukkan berupa kecepatan putar motor yang akan menggerakkan pelat secara bolak balik sebagai representasi gempa yang berisolasi, kemudian sistem pada simulator gempa yaitu sensor *Accelerometer* MPU-6050 akan mengukur dan membaca nilai percepatan pada pelat dari axis X. Data getaran akan ditampilkan dalam bentuk grafik, kemudian sensor *Accelerometer* MPU-6050 akan mengukur dan membaca nilai percepatan pada plat axis X. Data keluaran akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk diolah, kemudian data akan ditampilkan pada serial monitor berupa nilai percepatan yang didapat dari gerakan plat axis X, percepatan yang ditampilkan berupa bentuk gelombang yang akan dianalisis sehingga mendapatkan nilai amplitudo. Berbeda dengan penelitian ini

menggunakan rumus vektor untuk menghitung nilai total *Accelerometer* dan *Gyroscope* yang kemudian nilainya dianalisis [7]

## **2.2 DASAR TEORI**

### **2.2.1 IoT (*Internet of Things*)**

*Internet of Things* (IoT) adalah sebuah konsep yang berupaya memperluas manfaat konektivitas internet yang berkelanjutan. *Internet of Things* (IoT) dapat digunakan di dalam gedung untuk mengendalikan peralatan elektronik, seperti pencahayaan ruangan yang dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui jaringan komputer. Tidak dapat dipungkiri bahwa perkembangan teknologi yang begitu cepat perlu dimanfaatkan, dipelajari dan diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Perkembangan teknologi yang dapat digunakan melalui koneksi internet, misalnya, memberikan akses pada peralatan elektronik seperti lampu ruangan yang dapat dikendalikan secara *online* melalui telepon genggam. Dengan demikian, hal ini dapat memudahkan pengguna untuk memantau atau mengontrol pencahayaan kapan pun dan di mana pun, asalkan lokasi di mana teknologi kendali jarak jauh tersebut diaplikasikan memiliki jaringan internet yang memadai. Sistem kendali jarak jauh memudahkan pengguna untuk mengendalikan pencahayaan gedung yang berada di tempat yang jauh.

Pada awalnya, mesin ini hanya dibuat untuk membantu manusia dan dioperasikan secara manual. Lambat laun, mesin dapat membuat dirinya sendiri bekerja (secara otomatis), namun dalam perkembangannya, penggunaan mesin sebagai alat bantu dalam sebuah sistem akan menemui kendala ketika menyangkut jarak dan waktu. Dengan jarak yang jauh, mesin tidak dapat berkomunikasi dengan mesin lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diterapkanlah ide *Internet of Things*, dimana semua mesin dengan identifikasi alamat *IP* dapat menggunakan jaringan Internet sebagai media komunikasi (untuk bertukar data) [8]

*Internet of Things* adalah sebuah konsep dimana sebuah objek dapat berkomunikasi melalui sebuah jaringan, seperti proses transfer data tanpa adanya proses komunikasi antar manusia (*human to human*) atau antara manusia dengan perangkat sistem seperti komputer atau sebuah controller. Dengan adanya teknologi Internet of Things ini, proses kerja suatu sistem dapat dilakukan secara lebih luas, jangkauannya juga lebih besar, pengolahan data dan analisa data dari suatu sistem

juga semakin baik. Teknologi IoT ini sangat mendukung kerja sistem sebagai satu kesatuan termasuk komponen elemen dalam hal mempermudah proses aliran informasi data [9]

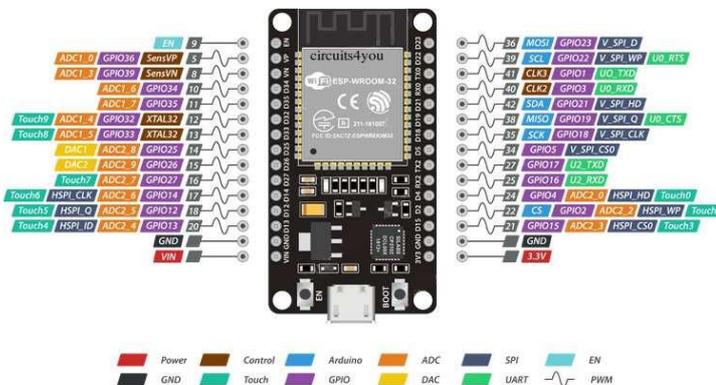
### 2.2.2 Vibrasi Jembatan

Sistem getaran terdiri dari energi potensial yang tersimpan yang diubah menjadi energi kinetik hingga dapat mencapai titik kesetimbangan kembali. Dalam sistem getaran, terjadi transfer energi secara bergantian antara energi potensial dan energi kinetik. Pada sistem redaman, sejumlah energi didistribusikan pada setiap siklus getaran dan mengubah sumber eksternal dengan menstimulasi getaran yang konstan. Getaran adalah sistem mekanis atau struktural yang berada dalam kesetimbangan. Getaran dimulai ketika elemen inersia bergerak keluar dari posisi kesetimbangan sebagai akibat dari energi yang bekerja pada sistem seperti yang bekerja pada lingkungan.

Sistem getaran mekanis terdiri dari elemen-elemen seperti pegas untuk menyimpan energi potensial, massa dan inersia untuk energi kinetik, serta peredam untuk menghilangkan energi mekanis. Proses getaran atau konversi energi antara bentuk potensial dan kinetik. Dalam pengertian umum, getaran adalah gerakan periodik yang berulang dengan segala detailnya setelah selang waktu tertentu yang disebut periode getaran. Dalam setiap siklus getaran, sejumlah energi harus diganti dari sumber eksternal untuk mempertahankan getaran [10]

### 2.2.3 NodeMCU ESP 32

Mikrokontroler adalah sistem komputer yang memiliki satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik, berlawanan dengan komputer pribadi yang memiliki beragam fungsi.



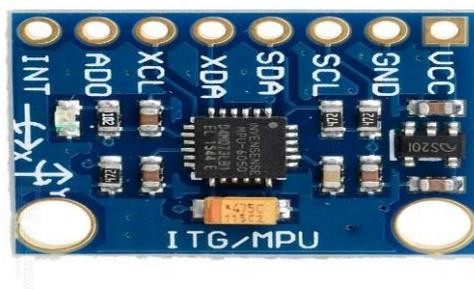
Gambar 2.1 Tampilan Board NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP 32 adalah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh Espressif System, yang merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Perbedaan yang menjadi keunggulan mikrokontroler ESP32 dibandingkan dengan mikrokontroler lainnya, mulai dari jumlah pin yang lebih banyak, pin analog yang lebih banyak, memori yang lebih besar, tersedia Bluetooth 4.0 *low power* dan *WiFi*, sehingga memungkinkan untuk mengimplementasikan Internet of Things dengan mikrokontroler ESP32 [11]

Mikrokontroler terdiri dari prosesor atau *Central Processing Unit* (CPU), *Random Access Memory* (RAM), *Ready Only Memory* (ROM), dan perangkat input dan output yang dapat diprogram. Mikrokontroler umumnya digunakan dengan sensor untuk memonitor lingkungan dan mengendalikan sesuatu. NodeMCU ESP32 adalah mikrokontroler kombo sistem on-chip yang membutuhkan daya rendah dan murah. Selain itu NodeMCU ESP32 memfasilitasi *Wi-Fi*, *flash* berkapasitas besar memori, *bluetooth dual-mode*, dan *periferal* lainnya. Mikrokontroler ini merupakan pengembangan dari versi mikrokontroler 8266 [12]

#### 2.2.4 MPU6050

Sensor *Accelerometer* MPU-6050 merupakan unit yang memiliki kemampuan membaca percepatan dengan 3 sumbu X, Y, dan Z dengan besar tegangan 3-5 Vdc. MPU-6050 adalah sensor yang menggabungkan *Gyroscope* 3-sumbu dan *Accelerometer* 3-sumbu.



**Gambar 2.2 Tampilan Sensor MPU6050**

Pada sensor MPU-6050 memiliki beberapa pin antara lain VCC, GND, SCL, dan SDA yang digunakan untuk *I2C*. Berikut tabel fungsi pin sensor MPU-6050

Tabel 2.1 Fungsi Pin Sensor MPU6050

<b>Pin</b>	<b>Kegunaan</b>
VCC	Yang pertama adalah Pin VCC yang digunakan untuk memberi daya sensor dan tegangan dc 3 hingga 5 volt diterapkan untuk menyalakan sensor ini. Namun biasanya sumber daya 5V disediakan langsung dari mikrokontroler.
GND	Pin kedua adalah pin GND yang terhubung ke <i>ground</i> sumber dan pin <i>ground</i> mikrokontroler.
SCL	Pin nomor tiga adalah pin SCL ( <i>serial clock</i> ) yang dihubungkan ke pin SCL mikrokontroler yang ingin kita gunakan sebagai interface sensor MPU6050. SCL adalah pin pulsa jam yang digunakan dalam komunikasi I2C.
SDA	Pin keempat adalah pin SDA ( <i>serial data</i> ) yang digunakan untuk mentransfer data ke mikrokontroler. Kami menghubungkan pin SDA ke MPU6050 dengan pin SDA mikrokontroler.
XDA	Kelima adalah pin XDA ( <i>Auxiliary Serial Data</i> ) yang digunakan untuk menghubungkan modul eksternal I2C dengan MPU6050 seperti magnetometer).
XCL	Yang keenam adalah pin XCL ( <i>Auxiliary clock</i> ) yang juga terhubung ke sensor antarmuka I2C lainnya untuk mengaktifkan pinnya dari modul sensor ini.
AD0 (Pin7)	AD0 (Pin pemilihan alamat) yang merupakan pin pemilihan alamat slave I2C. Misalnya, jika kita menggunakan lebih dari satu modul MPU6050 dengan satu mikrokontroler, pin ini digunakan untuk memvariasikan alamat slave setiap sensor MEMS. Dengan demikian, setiap sensor MEMS dapat dengan mudah dibedakan pada bus I2C dengan alamat uniknya.
INT (Pin8)	Pin INT ( <i>interrupt</i> ) yang merupakan pin keluaran digital interupsi dan digunakan untuk memberikan indikasi kepada mikrokontroler bahwa data tersedia untuk dibaca dari modul sensor MPU6050.

Tabel 2.2 Pin koneksi pada NodeMCU ESP 32

Pin Sensor MPU6050	Pin NodeMCU6050
VCC	3V3
GND	GND
SCL	D22
SDA	D21

Sensor MPU-6050 ini memiliki sensor *I2C* MPU-6050 yang didalamnya terdapat *Accelerometer* dan *Gyroscope* yang dapat diintegrasikan satu sama lain. Sensor ini sangat sensitif dalam pembacaannya, sensor ini akan membaca setiap sumbu x, y, z secara bersamaan dalam satu waktu. MPU-6050 merupakan sebuah unit sensor yang memiliki dua fungsi didalamnya yaitu, *Accelerometer* dengan *Micro Electro Mechanical System* (MEMS) dan *Gyroscope* dengan *Micro Electro Mechanical* (MEMS) dalam sebuah chip. Terdapat 16 pin analog yang terlebih dahulu dikonversi untuk menentukan sumbu agar sensor ini dapat bekerja secara optimal. Nilai sumbu x, y dan z pada sensor ini dapat diperoleh secara bersamaan dalam satu waktu. Sensor ini menggunakan *Inter Integrated Circuit* (antarmuka *I2C-bus*) sebagai penghubung antara sensor dengan Arduino [13]

### 2.2.5 *Accelerometer*

*Accelerometer* adalah perangkat yang dirancang untuk mengukur percepatan gravitasi, mendeteksi getaran, mengukur sudut kemiringan bidang atau ruang dan perubahan sudut tergantung pada besarnya percepatan gravitasi yang disebabkan oleh getaran. Sensor *Accelerometer* juga dapat digunakan untuk mengukur sudut kemiringan suatu bidang atau ruang dan perubahan sudut tergantung pada besarnya percepatan akibat gravitasi [14]

*Accelerometer* digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin dan juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di tanah, getaran mesin, jarak dinamis, kecepatan atau tanpa efek gravitasi bumi. Akselerasi adalah keadaan perubahan kecepatan terhadap waktu. Peningkatan kecepatan selama periode waktu tertentu disebut akselerasi. Jika kecepatan menurun dari kecepatan sebelumnya, maka disebut perlambatan. Akselerasi juga bergantung pada arah/orientasi, karena ini mewakili penurunan kecepatan, yang merupakan besaran vektor.

Sensor *Accelerometer* beroperasi pada tegangan 2,2-3,6 V, dengan tegangan tipikal 3,3 V (Vdd). Sinyal output sensor *Accelerometer* adalah tegangan analog yang merefleksikan data akselerasi. *Accelerometer* yang terletak di permukaan bumi dapat mendeteksi percepatan 1g (ukuran gaya gravitasi bumi) pada titik vertikal, dan untuk percepatan yang disebabkan oleh gerakan horizontal, *Accelerometer* akan mengukur percepatan secara langsung selama gerakan horizontal. Saat ini, hampir semua sensor/transistor *Accelerometer* sudah dibuat secara digital, sehingga prinsip pengoperasiannya hanya didasarkan pada suhu, yang diproses secara digital pada satu chip. Yang dipasang pada chip untuk mengukur kondisi yang dapat digunakan untuk tujuan di bidang teknik dalam kehidupan teknologi saat ini. Sensor *Accelerometer* tersedia dalam berbagai modifikasi tergantung dari kebutuhan penggunaannya [15]

Sensor akselerometer 3-sumbu ini memiliki beberapa fitur karena kemampuannya untuk mewakili tiga sumbu. Beberapa properti ini adalah scroll, tilt dan yaw. Sifat-sifat ini adalah karakteristik gerakan pada sumbu X, Y dan Z yang telah disejajarkan dengan pusat gravitasi bumi. Sumbu X mewakili gerakan rotasi. Sumbu Y mewakili gerakan terhadap kemiringan relatif terhadap sumbu Y; sumbu Z mewakili gerakan terhadap bidang [16]

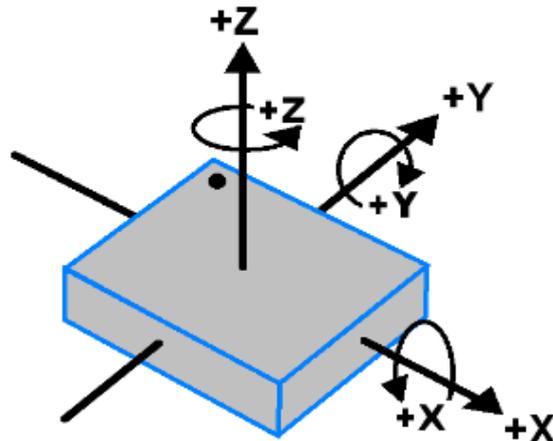
### **2.2.6 Gyroscope**

*Gyroscope* adalah perangkat yang mampu mengukur dan mempertahankan orientasi berdasarkan kecepatan sudut. Sensor *Gyroscope* memiliki jangkauan operasi 3 sumbu sebagai pendeteksi gerakan dan kemiringan. Sensor giroskop memiliki jangkauan 3 sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Ketika *Gyroscope* berputar searah jarum jam pada arah Z, tegangan (-Z) menurun dan ketika *Gyroscope* berputar berlawanan dengan arah jarum jam, tegangan keluaran (+Z) meningkat [17]

*Gyroscope* dapat didefinisikan secara luas sebagai benda tetap yang dapat berputar dengan kecepatan sudut tinggi pada sumbu sesaat yang selalu melewati titik tetap. Titik tetap dapat berupa pusat gravitasi objek atau titik lainnya. *Gyroscope* mengukur sudut terhadap sumbu tetap sehubungan dengan ruang inersia. Selama empat dekade terakhir, desain, optimasi, dan fabrikasi berbagai

jenis giroskop, terutama berdasarkan konservasi momentum sudut, telah dipelajari secara intensif [18]

MPU-6050 terdiri dari giroskop 3-sumbu yang dibuat dengan teknologi MEMS (*Micro Electro Mechanical System*). Ini digunakan untuk mendeteksi kecepatan rotasi di sepanjang sumbu X, Y dan Z.



**Gambar 2.3 Gyroscope 3 sumbu**

1. Ketika giroskop diputar ke arah salah satu sumbu sensor, efek Coriolis menyebabkan getaran yang terdeteksi oleh MEM di Mpu6050.
2. Sinyal yang dihasilkan diperkuat, didemodulasi, dan disaring untuk menghasilkan tegangan yang sebanding dengan kecepatan sudut.
3. Tegangan ini didigitalkan menggunakan ADC 16-bit untuk mengambil sampel setiap sumbu.
4. Kisaran output skala penuh adalah +/- 250, +/- 500, +/- 1000, +/- 2000.
5. Mengukur kecepatan sudut pada setiap sumbu dalam satuan derajat per detik [19]

### **2.2.7 Vektor**

Dalam fisika, besaran dibagi menjadi besaran skalar dan vektor berdasarkan arahnya. Besaran skalar adalah besaran yang tidak memiliki arah. Besaran vektor adalah besaran yang memiliki nilai dan arah. Jumlah dari dua vektor atau lebih disebut besaran resultan. Besarnya resultan vektor ditentukan dengan dua metode, yaitu grafis dan analitis. Metode grafis adalah metode penentuan nilai resultan vektor dengan cara memplotkan panjang vektor pada penjumlahan dua vektor atau

lebih berdasarkan besar dan arahnya. Metode analitis adalah metode penentuan resultan vektor dengan menggunakan persamaan matematis [20]

Pergerakan benda dikatakan terjadi apabila terjadi pergeseran lokasi relatif terhadap titik asal, hal inilah yang dikatakan sebagai perubahan posisi atau letak. Jarak didefinisikan sebagai panjang seluruh lintasan yang dilalui oleh benda yang bergerak, dan merupakan besaran skalar yang hanya memiliki satu nilai tanpa memandang arah. Perpindahan didefinisikan sebagai perubahan posisi suatu benda yang berbentuk garis, dan nilainya adalah jarak terpendek dari posisi awal ke posisi akhir benda tersebut dan termasuk ke dalam besaran vektor, yaitu besaran yang memiliki nilai dan arah. Percepatan adalah besarnya perubahan kecepatan terhadap satuan waktu dan merupakan besaran vektor. Arah percepatan dapat memiliki arah yang sama, berlawanan arah dan bahkan dapat membentuk sudut terhadap kecepatan [21]

#### **2.2.8 SPIFFS (*Serial Peripheral Interface Flash File System*)**

Dalam sebuah mikrokontroler terdapat memori atau penyimpanan yang digunakan untuk menyimpan data program yang telah dibuat. Ketika penyimpanan sebuah program yang telah dibuat, maka program tersebut akan dialokasikan ke penyimpanan sketch. Sedangkan kapasitas dari penyimpanan *sketch* terbatas. Namun dengan menggunakan SPIFFS maka dapat mengakses dan menyimpan *file* dengan kapasitas yang lebih besar, dimana *file* tersebut dapat diletakkan pada penyimpanan *file system*. Penyimpanan sketch dan file system dapat digunakan secara bersamaan dan tidak mengganggu satu sama lain [22]

#### **2.2.9 Web Server**

*Web server* adalah sebuah perangkat lunak yang berfungsi menerima permintaan HTTP atau HTTPS dari client yang dikenal dengan *web browser*, dan mengirimkan kembali hasilnya dalam bentuk halaman-halaman *web* yang umumnya berbentuk dokumen HTML. Beberapa jenis *Web server* adalah *Apache Web server / the HTTP web server, Apache Tomcat, Internet Information Services* [23].