

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Hanif Rizky N, Wahmisari Prihati dan Dies Rahmawati pada tahun 2022 yang berjudul “Perancangan *Force Platform* untuk Analisis Gaya Berjalan” meneliti tentang pengembangan sensor *Force Sensing Resistor* atau disingkat FSR yang akan menghasilkan nilai tekanan yang ada di telapak kaki. Hasil pengukuran tekanan kaki manusia menggunakan sensor *force sensitive resistor* (FSR) pada saat kaki berdiri dan berjalan pada fase jurus yaitu pada saat kaki bersentuhan langsung dengan sensor FSR. Sensor kemudian akan menampilkan nilai berdasarkan bentuk kaki. Penelitian ini menggunakan komponen FSR, Arduino mega 2560, *Print Circuit Board*, *Multiplexer*, konektor FSR, 74HC595, IC74HC595 untuk *shift register* dan kabel jumper. Komponen-komponen tersebut menjadi *platform* kekuatan untuk menganalisis gaya berjalan manusia [2].

Pada penelitian David Isura, Hurriyatul Fitriyah dan Rakhmadhany Primananda tahun 2022 yang berjudul “Analisa Akurasi dari Pendeteksian Berjalan pada Variasi Peletakan *Sensor IMU*, Filter *Kalman* dan FIR serta Klasifikasi KNN dan *Naive Bayes*”. Penelitian ini meneliti tentang membandingkan akurasi langkah kaki dengan menambahkan beberapa filter, sensor, klasifikasi, dan lokasi pengujian untuk menguji keakuratan perhitungan langkah kaki. Penelitian ini menggunakan sensor MPU6050 yang menghasilkan dua jenis sensor yaitu sensor giroskop dan *accelerometer*. Sensor ditempatkan di betis, paha, dan pergelangan tangan. Sensor akan menghasilkan tiga sumbu yang masing-masing sumbu akan disaring menggunakan filter *Kalman* dan *Finite Impulse Response* atau disingkat FIR. [3].

Penelitian dengan judul “Perancangan dan Implementasi *Smart Shoes* untuk *Monitoring Gait* menggunakan *Giroskop*” studi tahun 2020 oleh Aji Abdillah, Muhammad Ikhsan Sani dan Marlindia Aik Salih. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler untuk mengembangkan sensor giroskop mengolah dan mengelola data serta melakukan pemantauan analisis gaya berjalan manusia menjadi lebih mudah. Analisis gaya berjalan pada penelitian ini dapat dipantau menggunakan

sensor giroskop yang memproses data pada Arduino dan mengirimkan data dalam format serial melalui *Bluetooth*. Kemudian data serial menerima data serial dari *smartphone*, memprosesnya kembali dalam aplikasi, dan menampilkan informasi dalam format GUI atau *Graphical User Interface*. Selama pengujian, sistem giroskop dapat mengukur sudut yang diperlukan untuk analisis gaya berjalan [4].

Penelitian dari Mila Rindi Anjani dan Fajar Awang Irawan yang berjudul “Analisis Gerak *Stance phase* pada *Walking Gait* : Studi Kasus pada Mahasiswa yang memiliki *Cedera Ankle*” pada tahun 2023 meneliti tentang menganalisis fase berdiri atau *stance phase* gaya berjalan pada cedera pergelangan kaki. Dalam penelitian ini, 27 dari 120 mahasiswa ilmu olahraga di Universitas Negeri Semarang pernah mengalami cedera pergelangan kaki. Selanjutnya, subjek penelitian berjalan dengan merekam menggunakan tripod dan kamera. Setelah itu program Kinovea versi 0.9.5 digunakan untuk menganalisis video yang telah direkam. Untuk analisis tambahan data tinggi tumit, jaral, waktu dan sudut fleksi diambil dari hasil analisis video. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif analitis dengan desain studi kasus tunggal. Setiap tahapan fase berdiri dalam gaya berjalan meliputi *initial contact*, *loading response*, *mid stance*, *terminal contact* dan *preswing* [5].

Penelitian dari Diah Arie Widhining, Farrady Alif Fiolana dan Mochtar Yahya pada tahun 2020 yang berjudul “Pendeteksi Gerakan Kaki Menggunakan Normalisasi Warna Pada Citra Untuk Klasifikasi Pola Berjalan” meneliti tentang proses klasifikasi pola berjalan yang dibantu dengan perencanaan pembuatan perangkat lunak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengklasifikasikan pola berjalan wanita dan pria yang mendapat perlakuan berbeda-beda. Proses perencanaan meliputi skala abu-abu, ambang batas, penutupan, konversi gambar RGB menjadi *grayscale*, *thresholding*, *closing*, konversi citra RGB ke *grayscale*, pembuatan *rectangle* yang mewakili penanda, penghitungan koordinat penanda, dan perhitungan sudut sendi kaki dan lutut. Dalam penelitian ini menggunakan *camStudio* untuk pengambilan citra [6].

Penelitian Nova Silvia, Jhon Warif Hasibuan, Rony Harjon Lumbantobing dan Budiana pada tahun 2019 yang berjudul “Analisis Sistem Kendali Sendi *Exoskeleton* Robotik Untuk Pola Pergerakan Manusia Normal” meneliti tentang

menganalisis sistem kendali sendi *exoskeleton* robot dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) untuk mengatur torsi dan arah putaran motor. *Fuzzy Logic Controller* (FLC) juga digunakan untuk mengubah sinyal *input* menjadi sudut fase berjalan sehingga menghasilkan berbagai fase berjalan. Metode tersebut memiliki keunggulan dibandingkan metode lain, seperti kemampuan menyesuaikan sistem kendali *exoskeleton* menggunakan cara berpikir manusia serta dapat mengontrol arah putaran dan arus untuk mencapai torsi yang diharapkan atau diinginkan. Dalam penelitian ini, *inputnya* adalah menggunakan sensor IMU yang dapat mengatur nilai torsi motor yang diinginkan dan mendeteksi pergerakan berjalan. Sedangkan *output* yang dihasilkan yaitu arus untuk menghasilkan torsi dan mengatur arah [7].

Penelitian Trupti Gujarathi dan Kalyani Bhole pada tahun 2019 yang berjudul “*Gait Analysis Using IMU Sensor*” meneliti tentang analisis gaya berjalan berbasis IMU yang menggunakan sudut dari sensor akselerometer dan giroskop dengan MPU6050. Pada penelitian ini menggunakan dua buah sensor MPU6050 yang ditempatkan di betis. Setiap orang yang melakukan percobaan diminta untuk berjalan sejauh 40 meter pada koridor lurus dengan kecepatan normal. Selama uji coba berjalan, dua sensor IMU MPU6050 yang mengukur laju sudut rotasi dipasang di sisi anterior tungkai bawah atau satu di setiap betis. Sabuk *velcro* digunakan untuk memasang sensor agar sensor tidak terpeleset atau bergerak saat berjalan. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino uno untuk mengukur data sinyal gaya berjalan [8].

2.2 DASAR TEORI

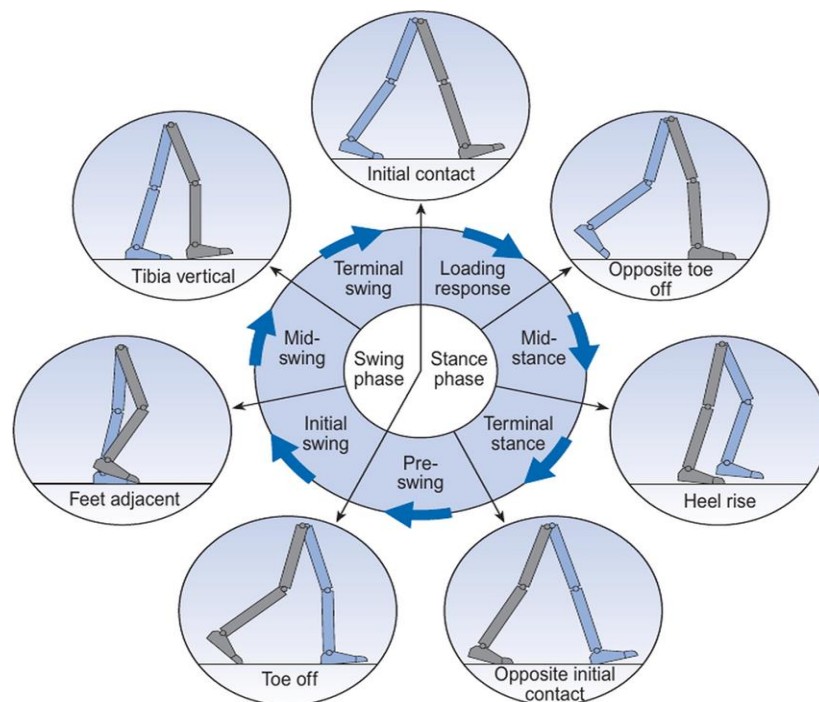
2.2.1 *Wearable device Technology*

Wearable device merupakan segala bentuk perangkat canggih yang didalamnya tertanam super *chip* dengan teknologi yang canggih. Perangkat ini berukuran kecil dan ringan yang dapat digunakan seperti *accessories* dan memiliki banyak manfaat yang praktis. Dalam dunia kesehatan, teknologi yang dapat dipasang pada tubuh dan dapat mengumpulkan data seperti jumlah kalori yang terbakar, detak jantung dan pola berjalan. *Wearable device* dapat digunakan pada tubuh manusia dan diklasifikasikan berdasarkan kegunaannya atau parameter

lainnya. Contohnya adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi kebugaran tubuh seseorang. *Smartband* dan *smartwatch* biasanya memiliki teknologi ini di dalamnya. Dalam bidang medis, alat yang digunakan untuk mengumpulkan data fisiologis, kontekstual dan perilaku untuk diagnosis pengobatan dan penyakit pada pasien. Sedangkan pada bidang industri, alat digunakan untuk mengidentifikasi keselamatan dan memantau fisiologis karyawan atau pekerjanya. Selain itu, *wearable devices* memiliki aplikasi yang berkaitan dengan olahraga. Teknologi ini dapat memberikan data *real-time* tentang kondisi fisik seseorang dan teknik olahraga yang digunakan, sehingga memungkinkan penyesuaian latihan yang cepat dan efektif. *Wearable devices* diharapkan akan terus meningkatkan berbagai aspek kehidupan manusia, seperti kesehatan pribadi, keselamatan kerja, dan peningkatan kinerja atletik [9].

2.2.2 Gaya Berjalan Manusia

Berikut merupakan siklus dari gaya berjalan manusia:



Gambar 2.1 Gait Cycle [10]

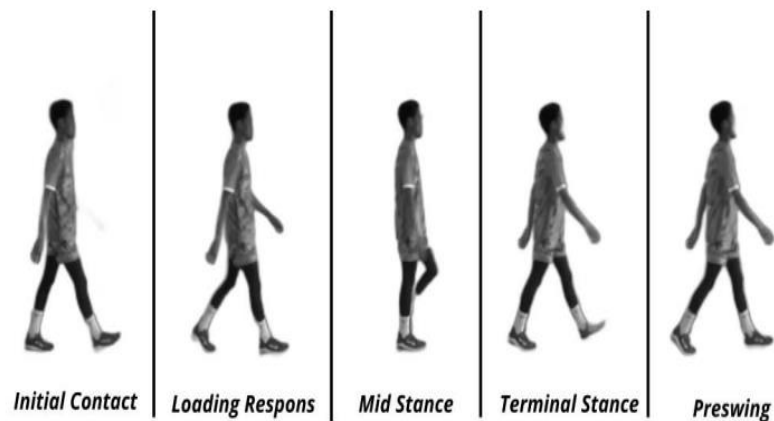
Gait adalah gerakan periodik pada kaki dan tangan juga mengacu pada cara berjalan manusia. Kecepatan, gerakan, kekuatan, ekstremitas dan durasi kontak tanah adalah faktor-faktor yang membedakan pola berjalan manusia yang berbeda.

Analisis *gait* yaitu studi *gait* dengan menggunakan alat visual seperti sensor dan kamera. Ini memberikan kondisi berjalan manusia yang membantu dalam merancang atau mendesain aplikasi bidang medis, olahraga, kebugaran serta keamanan. Secara umum, setiap orang mempunyai perbedaan pada langkah berjalan. Tergantung pada parameter langkah seperti panjang langkah, fase langkah, kekuatan otot dan lainnya. Analisis *gait* juga membantu dalam menyelidiki fungsi *musculoskeletal* yang berbeda.

Siklus berjalan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 didefinisikan sebagai durasi antara pukulan berturut-turut dari kaki yang sama. Siklus berjalan adalah definedas interval waktu atau urutan gerakan yang terjadi dari lengan kaki ke lengan tangan. Siklus berjalan dibagi menjadi dua fase utama, yaitu *Stance phase* dan *Swing Phase* [10].

a. *Stance phase*

Pada fase ini kaki tetap kontak dengan tanah. Fase ini berkontribusi 62% dari siklus berjalan. Fase ini dibagi menjadi lima fase yaitu *initial contact*, *loading respons*, *mid stance*, *terminal stance* dan *preswing*. Berikut merupakan gambar 2.2 yang menunjukkan ketika kondisi *Stance phase*:



Gambar 2.2 Stance Phase [11]

Berikut merupakan 5 tahap dalam *Stance Phase*:

1. *Initial Contact*

Initial Contact terjadi ketika tumit menyentuh tanah atau lantai dan hal ini merupakan awal dari *fase stance*. Pada fase ini, pusat gravitasi berada pada titik terendah dan seseorang berada dalam posisi stabil. Fase ini

berlangsung sampai kaki yang lain menyentuh lantai sehingga terjadi posisi *double stance*. Tungkai akan bergerak jika tumit menyentuh lantai dan tungkai lainnya berada di akhir posisi *terminal stance*.

2. *Mid Stance*

Gerakan satu tungkai dimulai dengan *mid stance*. Untuk memulai gerakan dengan mengangkat satu kaki dan ditahan hingga berat tubuh beralih ke kaki yang lain. Ketika pergelangan kaki fleksi dorsal, tungkai mulai bergerak ke depan sedangkan lutut dan pinggul ekstensi. Sementara itu, tungkai yang berlawanan mulai bergerak menuju fase *mid-swing*.

3. *Loading Response*

Periode *initial double stance* adalah *loading response*. Dimulai ketika kaki menyentuh lantai dan berlanjut sampai kaki yang lain terangkat untuk mengayun. Berat tubuh berpindah ke depan pada tungkai, tumit menyentuh tanah dan lutut fleksi untuk menyerap guncangan.

4. *Terminal Stance*

Terminal Stance juga dikenal sebagai *heel off*, dimulai ketika tumit terangkat dan berlanjut hingga kaki yang lain menyentuh tanah. Pada fase ini, berat badan berpindah ke depan. Setelah ekstensi kaki, akan ada sedikit fleksi. Kaki depan yang menapak menjadi pusat gravitasi pada *fase heel off*. *Terminal Stance* penting dalam mempersiapkan tubuh untuk langkah berikutnya dalam siklus berjalan dan juga dalam mempertahankan keseimbangan selama gerakan berjalan.

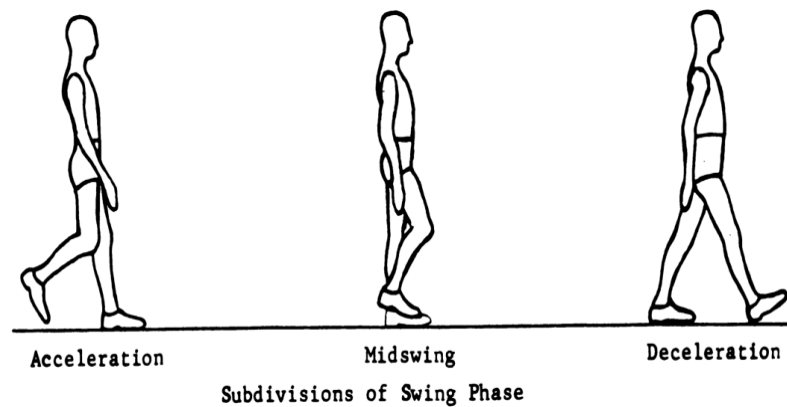
5. *Pre-Swing*.

Ketika jari kaki mulai tidak menyentuh tanah dan kaki meninggalkan tanah dan fase berdiri berakhir merupakan kondisi *Pre-Swing* atau dikenal juga sebagai *toe off*. Fase ini dimulai ketika tubuh mulai memindahkan beratnya dari kaki yang berdiri ke kaki yang akan melakukan langkah berikutnya.

b. *Swing Phase*

Pada fase ayunan ini, kaki tetap berada di posisi *swing* tanpa kontak dengan tanah. Fase ini berkontribusi 38% dari siklus berjalan. Fase *swing* ini dibagi menjadi tiga fase yaitu *Initial Swing*, *Mid Swing* dan *Terminal Swing*. Pada gambar 2.3

menunjukkan *swing phase* pada gaya berjalan manusia. Secara singkat, fase ini pada gaya berjalan manusia adalah fase di mana kaki tidak menyentuh tanah dan bergerak dari posisi di belakang ke posisi di depan tubuh. Pada fase ini, kaki terangkat dari tanah dan berayun ke depan dengan gerakan melengkung. Fase ayunan ini penting untuk memajukan tubuh ke depan dan mempersiapkan kaki untuk fase pendukung berikutnya. Selama fase ayunan, otot-otot di sekitar panggul dan tungkai bekerja sama untuk menghasilkan gerakan yang halus dan koordinatif. Selain itu, fase ayunan ini adalah saat pusat gravitasi tubuh naik ke puncaknya sebelum turun kembali ke fase pendukung. Oleh karena itu, fase ayunan merupakan bagian penting dari siklus berjalan karena membantu menjaga keseimbangan, stabilitas, dan kelancaran gerakan tubuh.



Gambar 2.3 *Swing Phase* [11]

Terdapat dua jenis analisa gaya berjalan yaitu analisa kinetik dan analisa kinematik.

a. Analisa Kinetik

Analisa kinetik merupakan analisis gaya berjalan yang didasarkan gaya yang dihasilkan pada saat berjalan. Analisis ini menggunakan alat khusus untuk mengukur gaya yang berkerja pada tubuh selama berjalan. Analisis ini juga dapat membantu dalam memahami mekanisme gerakan tubuh dan gerakan yang terlibat dalam proses berjalan.

b. Analisa Kinematik

Analisis kinematik ini berfokus pada studi tentang gerakan itu sendiri yang termasuk posisi dan kecepatan objek tanpa mempertimbangkan gaya yang mempengaruhi gerakan tersebut. Analisis ini membantu memahami pola gerakan

tubuh dan hubungan antara bagian tubuh yang bergerak selama berjalan. Parameter temporal dapat digunakan untuk melakukan analisis kinematik [11].

2.2.3 Filter *Butterworth*

Sistem yang dikenal sebagai filter berperan untuk meningkatkan kualitas sinyal dengan mengubah karakteristiknya seperti fasa, frekuensi, amplitudo dan gelombang. Filter juga dapat menghilangkan derau dari sinyal, memisahkan hasil kombinasi dari dua atau lebih sinyal dan mengumpulkan informasi yang ada dari sinyal.

Filter *Butterworth* dalam pengolahan sinyal merupakan filter sederhana yang dimaksudkan untuk mendapatkan respon frekuensi datar pada *pass band* atau pita lolos dan juga respon frekuensi filter ini terfapat pada *stop band* atau pita hambat dan datar. Filter ini disebut sebagai filter dengan magnitude datar maksimum. *Stephen Butterworth* merupakan seorang insinyur berkebangsaan Inggris yang pertama kali memperkenalkan filter *Butterworth* pada tahun 1930 melalui laporan ilmiah yang berjudul *On The Theory of Filter Amplifiers*.

Filter *Butterworth* memiliki respon amplitudo *passband* yang hampir datar tanpa riak, sehingga dianggap lebih baik dibandingkan filter *Chebyshev* dan *Elliptic*, dimana keduanya merupakan desain filter umum. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung magnitudo fungsi transfer desain filter *Butterworth lowpass* dalam domain frekuensi [12].

$$|HB(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_c})^{2N}}} \quad (1)$$

Keterangan:

ω = Frekuensi sudut

ω_c = Frekuensi pojok

N = Orde filter

j = $\sqrt{-1}$

2.2.4 *Fast Fourier Transform*

Fast Fourier Transform merupakan algoritma yang efektif untuk menghitung Transformasi Fourier Diskrit. Dengan menggunakan transformasi Fourier ini dapat menentukan sumber getaran dengan menghitung amplitudonya sebagai fungsi frekuensi. Dalam fungsi eksponensial yang kompleks, FFT membagi sebuah sinyal menjadi berbagai frekuensi.

Berikut merupakan rumus dari FFT:

$$Y(k) = \sum_{j=1}^n X(j)W_n^{(j-1)(k-1)} \quad (2)$$

Dimana:

$$W_n = e^{(-2\pi i)/n}$$

FFT bekerja dengan membagi sinyal yang telah di-sampling menjadi bagian-bagian kecil, kemudian menerapkan algoritma yang sama pada setiap bagian tersebut dan akhirnya mengumpulkan hasilnya kembali. Pengolahan sinyal digital, analisis data, pengolahan gambar, dan bidang lain yang membutuhkan analisis frekuensi banyak menggunakan FFT [25].

2.2.5 *Inertial Measurement Unit (IMU)*

IMU adalah unit dalam modul elektronik yang terdiri dari kombinasi *accelerometer* (sensor percepatan) dan *gyroscope* (sensor kecepatan angular). IMU mengumpulkan data tentang keberadaan dan pergerakan suatu benda dan kemudian dikirim ke CPU. Dengan memanfaatkan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* penelitian sistem instrumentasi IMU dapat dilakukan. Beberapa proses algoritma dapat mengumpulkan informasi tentang posisi dan jarak dari keluaran sensor *accelerometer*. Salah satu komponen utama sistem *Guidance Navigation Control* adalah Unit Pengukuran *Inertial*. IMU bertugas menangkap parameter sinyal yang diperlukan untuk sistem navigasi. Penggunaan IMU telah merambah berbagai bidang, mulai dari navigasi pesawat hingga pengembangan *wearable device*. IMU sangat penting untuk mengembangkan berbagai inovasi teknologi yang meningkatkan kualitas hidup dan kemajuan dalam berbagai industri. Hal ini

ditunjukkan oleh penggunaan IMU dalam perangkat seperti *tracker fitness* untuk mengukur aktivitas fisik pengguna, seperti jumlah langkah atau pola tidur.

IMU beroperasi dengan mendeteksi tingkat percepatan saat ini dan perubahan rotasi seperti *roll*, *yaw* dan *pitch* dalam tiga dimensi (x, y, dan z). Setelah memperoleh data, komputer menghitung kecepatan dan posisi saat ini dengan mempertimbangkan kecepatan dan posisi awal. IMU juga menggunakan tiga akselerometer dan tiga giroskop yang saling tegak lurus untuk mengukur enam derajat kebebasan atau DOF. Data giroskop digunakan untuk memperkirakan orientasi motor, sementara akselerometer digunakan untuk mengukur percepatan motor. Data ini kemudian diolah untuk menentukan orientasi motor relatif terhadap gravitasi, yang memungkinkan perhitungan vektor gravitasi. Hasilnya, akselerasi diintegrasikan untuk menghitung kecepatan dan posisi motor. IMU sangat sensitif untuk mengukur kesalahan akselerometer dan giroskop. Penyimpangan giroskop menyebabkan kesalahan dalam perhitungan orientasi motor terhadap gravitasi, yang menyebabkan kesalahan vektor gravitasi yang tidak tepat. Dalam kasus dimana data akselerometer diintegrasikan dua kali, sisa vektor gravitasi menyebabkan kesalahan posisi *quadratic*. Penyimpangan adalah masalah utama dari IMU. Oleh sebab itu, hampir tidak mungkin untuk menghilangkan vektor gravitasi dan *error* yang lain dari waktu ke waktu sepenuhnya [13].

2.2.6 Sensor MPU-6050

Modul sensor MPU-6050 yaitu gabungan dari sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope*. MPU-6050 memiliki dua fungsi yaitu *accelerometer* dengan sistem MEMS dan *gyroscope* dalam *chip* MEMS. Ketika sensor ini digerakkan, MEMS pada sensor akan mendeteksi getaran. Sensor MPU-6050 ini mempunyai kemampuan untuk mengambil nilai sumbu x, y, dan z sekaligus. Sensor ini dapat dihubungkan ke Arduino melalui *Inter Integrated Circuit*, yang juga dikenal sebagai *interface I2C-bus*. Pada gambar 2.4 merupakan gambar dari sensor MPU-6050. Sensor ini menggabungkan tiga sumbu *accelerometer* dan tiga sumbu *gyroscope*. *Accelerometer* bertugas untuk mengukur percepatan inersia sepanjang ketiga sumbu, sementara *gyroscope* digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi atau laju perubahan posisi sudut pada ketiga sumbu tersebut.



Gambar 2.4 Sensor MPU-6050 [14]

Kombinasi antara *accelerometer* dan *gyroscope* memungkinkan sensor ini untuk memberikan informasi tentang gerakan dan orientasi suatu objek dalam tiga dimensi. Dengan kemampuan ini, MPU-6050 menjadi alat yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi, seperti navigasi, kontrol gerak dan pengembangan robotika.

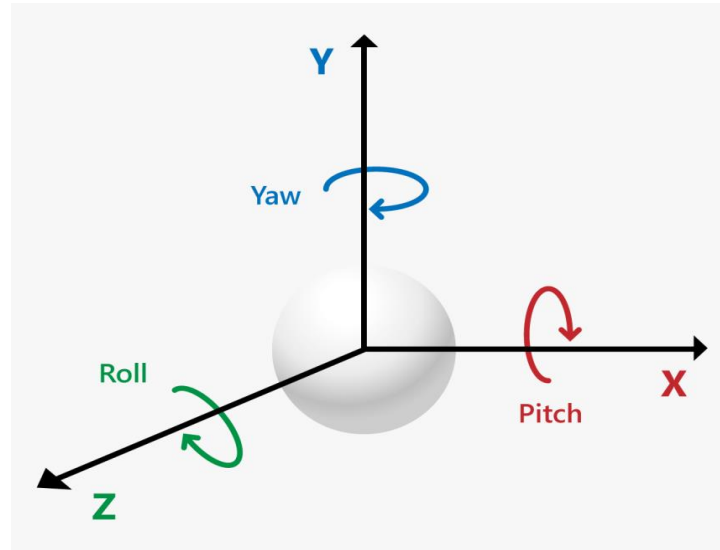
Tabel 2.1 Spesifikasi dari Sensor MPU-6050

<i>Part</i>	MPU6050
VDD	2.375V – 3.46V
VLOGIC	1.71V to VDD
<i>Serial Interface Supported</i>	I2C
Pin 8	VLOGIC
Pin 9	AD0
Pin 23	SCL
Pin 24	SDA

Dengan menggunakan 16-bit ADC untuk setiap sumbu *gyroscope* dan *accelerometer*, besaran tegangan analog diproses melalui penguatan, pengkondisian sinyal dan demodulasi untuk menghasilkan tegangan listrik yang diukur. Sistem ini hanya menggunakan data yang dihasilkan oleh sensor *accelerometer*.

Pada Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi dari sensor MPU-6050. Pada gambar 2.5 yaitu menunjukkan posisi atau sudut kemiringan dari sensor MPU-

6050. *Roll*, *pitch* dan *yaw* merupakan titik acuan untuk sudut kemiringan dalam sistem. Gerakan melingkar ke samping disebut dengan *roll*, gerakan memutar ke atas dan ke bawah disebut dengan *pitch* dan gerakan melingkar ke samping disebut dengan *yaw* [14].



Gambar 2.5 Titik Kemiringan MPU-6050 [14]

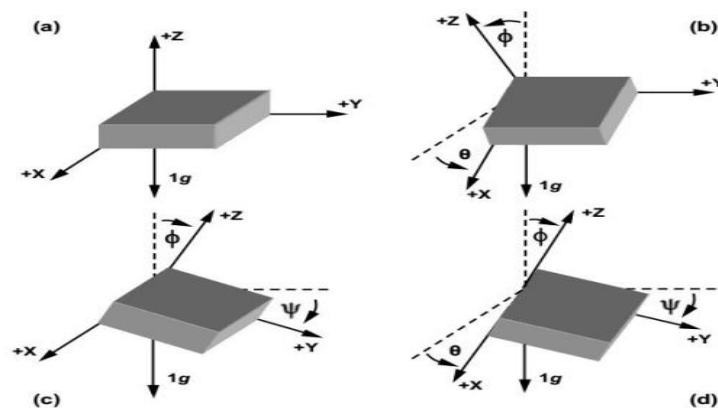
2.2.7 Accelerometer

Accelerometer merupakan sensor yang dapat mendeteksi dan mengukur percepatan serta getaran. Pergerakan suatu benda yang melekat padanya menyebabkan sensor mengukur percepatan. *Accelerometer* yang memiliki model *single axis* atau *multi axis*, berfungsi untuk mendeteksi arah dan besarnya getaran sesuai dengan percepatan suatu benda. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur getaran pada berbagai objek seperti kendaraan, bangunan, jembatan, sistem keamanan, mesin, serta kecepatan dengan atau tanpa pengaruh gravitasi bumi.

Selain itu, *accelerometer* berfungsi sebagai pedometer, atau penghitung langkah, yang dapat dilihat saat seseorang berlari. Alat ini tidak hanya dapat digunakan untuk aplikasi biasa, tetapi juga menawarkan pengalaman baru dalam berinteraksi dengan perangkat bergerak. Salah satu contohnya adalah kolaborasi antara *Nike* dan produknya, di mana *Nike* membuat sepatu yang dapat dihubungkan ke pemutar lagu *iPod*. Data seperti jumlah langkah kaki yang dilakukan, jumlah kalori yang dibakar, dan waktu bergerak juga dapat dikirimkan. Meskipun

accelerometer berfungsi untuk mengukur percepatan, tujuan sebenarnya adalah untuk mengukur perubahan kecepatan tiap detik, bukan percepatan dari suatu gerak.

Accelerometer bekerja berdasarkan prinsip hukum kedua *Newton* tentang gerak ($F = m \times a$), yang diilustrasikan dalam gambar 2.6. Dalam proses ini, terjadi pergerakan massa yang terpasang pada *accelerometer* dan alat khusus digunakan untuk mengukur perpindahan massa tersebut. *Accelerometer* bekerja berdasarkan prinsip percepatan per dan beban. Ketika keduanya dilepaskan, beban akan bergerak dengan percepatannya dan berhenti pada titik tertentu. Saat keduanya dilepaskan, beban akan berayun saat terjadi guncangan. Hal ini akan menyebabkan *chip* akselerometer menghasilkan pengukuran. Untuk memiliki kemampuan mendeteksi objek tiga dimensi, tiga alat harus terpasang tegak lurus dalam masing-masing *chip*. *Accelerometer* terbagi menjadi dua kategori yaitu *accelerometer* mekanik dan *accelerometer* MEMS [15].



Gambar 2.6 Accelerometer [15]

2.2.8 MEMS Accelerometer

MEMS merupakan sebuah perangkat atau susunan yang menggabungkan komponen dari miniatur mekanik dan elektronik serta dalam pembuatannya menggunakan teknik *microfabrication*. MEMS dapat mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis, dan demikian sebaliknya. MEMS diletakkan ke dalam bentuk IC dan terlihat seperti rangkaian IC biasa tetapi terdapat sistem mekanik di dalamnya dengan massa yang kecil dan juga pegas yang bergerak. MEMS biasanya digunakan untuk mengukur percepatan dan posisi. Hal ini karena

merupakan *microelectronic* dan komponen utamanya adalah *silicon* dalam ukuran *micron*.

MEMS terdiri dari beberapa komponen utama, diantaranya adalah:

1. *Microsensor*

Microsensor adalah perangkat kecil yang dapat mendeteksi perubahan dalam sistem atau lingkungan menggunakan berbagai metode pengukuran seperti mekanik, termal, magnetik, dan lainnya. Contohnya sensor radiasi, sensor suhu, sensor magnetik, sensor mekanik, dan sebagainya. Mikrosensor sangat berguna dalam berbagai aplikasi, dari pengukuran suhu hingga deteksi perubahan magnetik dalam lingkungan sekitar.

2. *Microelectronic*

Memiliki fungsi yaitu memindahkan mikro untuk bekerja sama dan memproses informasi dan memberikan sinyal seperti *signal processing*, *control system* dan sebagainya.

3. *Microactuator*

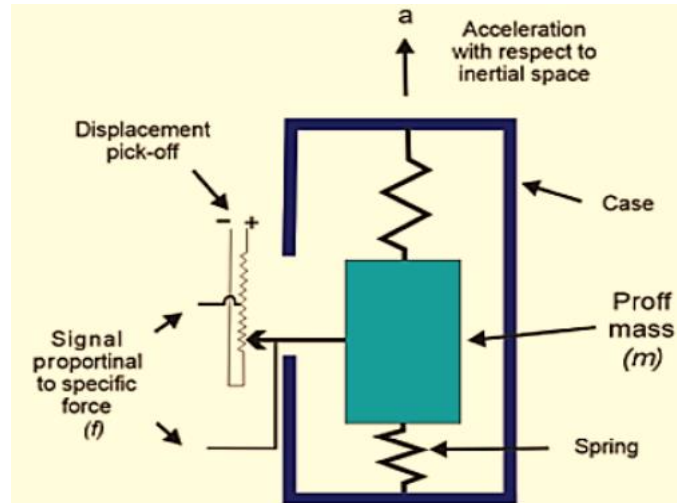
Memiliki fungsi yaitu setelah mendapatkan sinyal dari *microelectronics*, dapat bereaksi dan memberikan berbagai bentuk perubahan lingkungan. Contohnya adalah *actuator* suhu, *actuator magnetic* dan sebagainya.

4. *Mechanical Microstructure*

Memiliki fungsi yaitu untuk mengontrol pergerakan yang ada di dalam MEMS. Contohnya adalah *micro valve*, *micromirror* dan komponen mekanik lainnya. Sedangkan pada *accelerometer* mekanik mempunyai tiga komponen utama yang terdiri dari massa uji, *spring*, dan potensiometer atau alat pengukur yang terletak pada alat dalam area tertutup.

Hukum *Hooke* dan hukum gerak *Newton* kedua yang menjadi hukum dasar fisika. Menurut hukum *Hooke*, gaya yang diperlukan untuk memanjangkan atau memampatkan pegas sebanding dengan jarak x dari perubahan panjang yang diinginkan. Akibatnya, pegas akan menghasilkan gaya yang sama untuk mengembalikan keadaannya semula dan bertindak berlawanan dengan gaya yang diterapkan. MEMS *accelerometer* adalah sensor mikro yang digunakan untuk mengukur percepatan dalam sebuah sistem. Biasanya, jenis *accelerometer* ini adalah MEMS kapasitif yang terdiri dari dua bagian utama yaitu jangkar sebagai

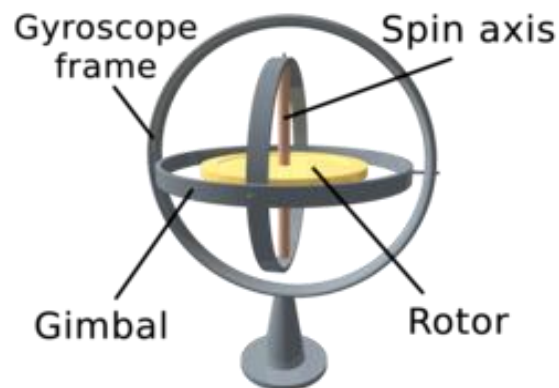
bagian yang diam dan elemen sensing sebagai bagian yang bergerak. Elemen *sensing* terbuat dari kristal silikon tunggal dan mencakup *proof mass*, *comb capacitor* dan pegas. MEMS *accelerometer* memiliki prinsip kerja yang sangat sederhana. Pada gambar 2.7 di atas menunjukkan gambar *accelerometer* mekanik.



Gambar 2.7 Accelerometer Mekanik [16]

2.2.9 Gyroscope

Gyroscope merupakan sensor yang dapat mendeteksi kemiringan dan pergerakan pada perangkat bergerak berdasarkan perubahan pergerakan. Alat ini mampu mengidentifikasi rotasi atau perputaran perangkat berdasarkan perubahan gerakannya. Ketika sensor *gyro* mengalami perubahan dari nilai awalnya, hasilnya akan memberikan informasi tentang kemiringan objek yang sedang diamati.



Gambar 2.8 Gyroscope [16]

Gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi dari sebuah *gyroscope*. *Gyroscope* ini berfungsi untuk mendeteksi gerakan rotasi, baik itu berasal dari gerakan pengguna

atau dari gaya gravitasi. Gerakan yang terjadi pada cakram *gyroscope* akan dideteksi dan stabil pada sumbu yang sesuai. Sebelum digunakan, *gyroscope* biasanya perlu dikalibrasi terlebih dahulu, yang sering dilakukan menggunakan bandul untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi. *Gyroscope* dapat menghasilkan tiga sumbu yang berbeda, yaitu:

1. Sudut Y, yang mengacu pada sudut *theta* atau gerakan atas dan bawah.
2. Sumbu X, yang mengacu pada sudut *phi* atau gerakan ke kiri dan ke kanan.
3. Sumbu Z, yang mengacu pada sudut *psi* atau gerakan ke depan dan ke belakang.

Pada dasarnya, prinsip kerja giroskop adalah prinsip kelestarian momentum sudut. satu dari banyak hukum kelestarian energi. Suatu giroskop memiliki vektor arah dan kecepatan saat berputar. Sekali berputar, gangguan dari luar hanya akan mempengaruhi sementara yang kemudian giroskop menyeimbangkan dirinya kembali [17].

2.2.10 Digital Signal Processing (DSP)

DSP merupakan istilah untuk perangkat pemrosesan sinyal digital. DSP yaitu rangkaian terintegrasi sejenis mikroprosesor yang dibuat untuk pemrosesan data diskrit dengan kecepatan yang tinggi. DSP juga dapat diartikan sebagai proses sinyal yang dianalisis dan diubah untuk meningkatkan kinerja atau efisiensi. DSP biasanya menghasilkan sinyal analog menjadi sinyal digital dan menggunakan algoritma dan teknik pemrosesan sinyal. Contohnya, DSP dapat mengurangi kebisingan dan distorsi pada sinyal audio. DSP mengubah berbagai jenis sinyal untuk mengukur atau mengompresi kemudian menghasilkan sinyal analog.

Berikut merupakan beberapa konsep kunci dalam pemrosesan sinyal digital, diantaranya adalah:

1. Sinyal waktu diskrit

Sinyal waktu diskrit merupakan rangkaian nilai yang diwakili dengan fungsi indeks waktu diskrit. Sinyal waktu diskrit mempunyai peran penting dalam *Digital Signal Processing* dikarenakan analisis data kompleks yang efisien. Sinyal ini didapatkan dengan cara mengambil sampel sinyal waktu kontinu pada interval

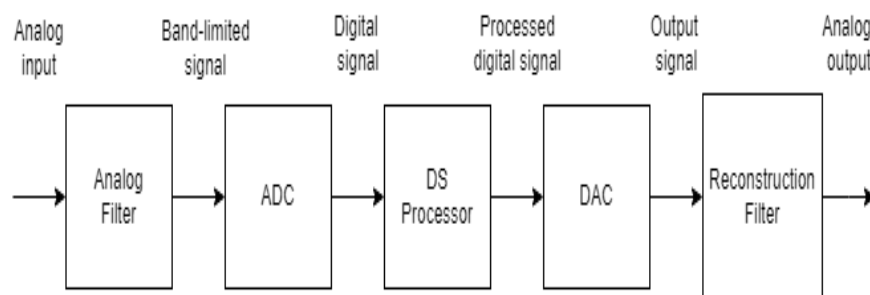
tertentu yang menghasilkan serangkaian titik data terpisah. Sinyal waktu diskrit memproses sinyal waktu diskrit dan beroperasi pada rangkaian masukan untuk menghasilkan rangkaian keluaran dengan mengikuti aturan yang ditentukan oleh karakteristik sistem. *Digital Signal Processing* juga membutuhkan sistem waktu diskrit, hal tersebut dikarenakan dapat memberikan kerangka kerja untuk menerapkan berbagai teknik pemrosesan sinyal.

2. Transformasi Fourier Diskrit

Dalam *Digital Signal Processing*, DFT merupakan alat matematika yang dapat digunakan untuk mengubah sinyal waktu diskrit dari domain waktu ke domain frekuensi. Para insinyur dapat menemukan pola dan fitur yang tidak terlihat dalam domain waktu dengan menganalisis komponen frekuensi sinyal. Analisis sinyal, pemfilteran, kompresi dan aplikasi DSP lainnya menggunakan DFT secara luas. DFT digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi DSP, termasuk analisis sinyal, pemfilteran, kompresi, dan banyak lagi. Kemampuannya untuk mengubah representasi sinyal antara domain waktu dan frekuensi menjadi alat yang sangat berharga dalam pemahaman dan manipulasi sinyal digital.

3. Transformasi Z

Transformasi Z adalah alat yang penting lainnya bagi DSP yang digunakan untuk menganalisis dan menggambarkan sistem waktu diskrit. Mewakili sinyal waktu diskrit dalam domain frekuensi kompleks, Transformasi Z memungkinkan para insinyur mengetahui tentang respon frekuensi, stabilitas sistem dan fitur-fitur penting lainnya. Hal ini sangat penting untuk merancang dan mengoptimalkan algoritma serta implementasi DSP.



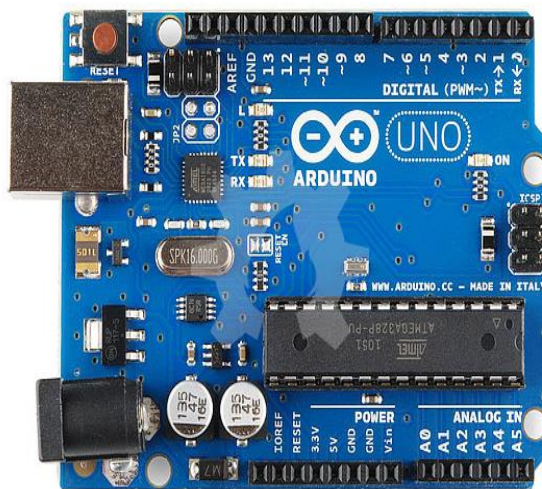
Gambar 2.9 Diagram Block Sistem DSP [18]

Gambar 2.9 merupakan gambar konsep DSP yang terdiri dari filter analog, konverter ADC prosesor sinyal digital, konverter digital-ke-analog (DAC) dan filter

rekonstruksi (*counter-image*). Sinyal *input* analog yang bertahan dalam rentan waktu dan amplitudonya biasanya ditemukan di dunia nyata. Contoh sinyal analog termasuk tegangan, arus, tekanan, suhu, dan intensitas cahaya. *Transducer* biasanya digunakan untuk mengubah sinyal non-elektrik menjadi sinyal analog, atau *voltase*. *Output* sinyal *band* membatasi sinyal *band*. Kemudian, ini mengubah sinyal ADC menjadi sinyal digital yang memiliki amplitudo dan waktu yang berbeda [18].

2.2.11 Arduino Uno

Massimo Banzi dan David Cuartielles adalah orang yang pertama kali mengembangkan Arduino dengan tujuan awal untuk menyediakan solusi desain dan interaksi yang ekonomis. Nama "Arduino" berasal dari Bahasa Italia yang berarti "pemikiran yang berani". Arduino pertama kali dirilis sebagai Arduino Uno R3 pada tahun 2011. Perangkat ini bersifat *open source* dan menggunakan bahasa pemrograman C++ berbasis bahasa C untuk mikrokontroler AVR. Arduino Uno dapat digunakan dengan menghubungkannya ke laptop atau komputer melalui kabel USB atau dengan memberikannya daya melalui baterai untuk menjalankan berbagai aplikasi



Gambar 2.10 Arduino Uno [19]

Arduino Uno yaitu sebuah papan mikrokontroler berbasis ATmega328 sebagai basisnya. Gambar 2.10 merupakan gambar Arduino Uno. Papan ini dilengkapi dengan 14 pin yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output* digital, dimana 6 diantaranya juga bisa berfungsi sebagai *output Pulse Width Modulation*. Berikut merupakan tabel dari bagian-bagian Arduino Uno:

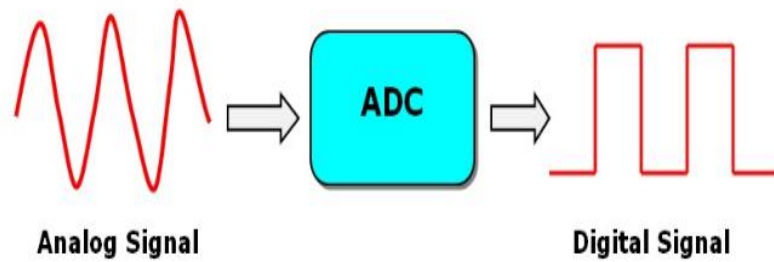
Tabel 2.2 Bagian Arduino Uno

Mikrokontroler	ATMega 328
Tegangan	5V
Tegangan <i>input</i> (disarankan)	7-12V
Tegangan <i>input</i>	6-20V
Digital I/O	14 pin
Analog <i>input</i>	6 pin
Arus DC per pin I/O	50mA
Arus DC untuk pin 3.3V	40mA
<i>Flash memory</i>	32kB (ATmega328) 0.5kB (untuk <i>bootloader</i>)
SRAM	2kB (ATmega328)
EEPROM	1kB (ATmega328)
<i>Clock speed</i>	16MHz

Selain itu, Arduino Uno dilengkapi dengan osilator kristal 16 MHz, *header* ICSP, koneksi USB, tombol *reset* dan *jack power*. Untuk menggunakan mikrokontroler, pengguna dapat menghubungkan papan Arduino Uno ke komputer menggunakan kabel USB atau ke sumber daya listrik dengan adaptor AC-ke-DC atau baterai. Fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()* dari setiap 14 pin digital Arduino Uno dapat digunakan baik sebagai *input* maupun *output* dengan tegangan kerja sebesar 5 Volt. Setiap pin memiliki kapasitas untuk menyalurkan atau menerima arus hingga 40 mA dan resistor *pull-up*nya *default*nya berada dalam kisaran 20 hingga 50 kOhm. [19].

2.2.12 Analog Digital Converter (ADC)

ADC merupakan perangkat elektronik yang mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Gambar 2.11 menunjukkan ADC dapat berbentuk modul, rangkaian elektronik atau *chip* IC dan berperan dalam mendukung sistem digital dalam memproses sinyal analog. Penggunaan ADC tersebar luas dalam berbagai bidang, seperti mengendalikan proses industri, komunikasi digital dan melakukan pengukuran serta pengujian pada rangkaian elektronik.



Gambar 2.11 Analog to Digital Converter [20]

Umumnya, ADC berperan sebagai perantara antara sensor-sensor yang mayoritas menghasilkan sinyal analog dengan sistem komputer. Sensor seperti suhu, cahaya, tekanan, berat, dan lainnya diukur menggunakan sistem digital atau komputer. Prinsip kerja ADC adalah mengubah sinyal analog menjadi nilai digital dengan memperhitungkan rasio antara sinyal *input* dan tegangan referensi.

ADC memungkinkan pengolahan dan analisis data sensor dalam bentuk digital, yang mendukung berbagai aplikasi seperti pemantauan lingkungan dan pengukuran industri. Selain itu, ADC juga berperan dalam penyimpanan dan transmisi data dalam format digital. Dengan mengonversi sinyal analog menjadi bentuk digital, ADC memungkinkan data sensor untuk disimpan dalam perangkat penyimpanan digital seperti komputer atau mikrokontroler, serta memfasilitasi transmisi data melalui jaringan digital seperti internet.[20].

2.2.13 Serial Peripheral Interface (SPI)

SPI adalah salah satu protokol komunikasi serial yang bekerja secara *synchronous* dengan kecepatan tinggi yang tersedia pada ATmega32. Pada pembuatan *prototype data logger* menggunakan mikrokontroler ATmega32, SPI dapat digunakan sebagai antarmuka bus untuk mentransfer data antara mikrokontroler dan berbagai perangkat kecil seperti register bergeser, sensor dan *SD Card*.

SPI memiliki jam dan data baris terpisah. *Hardware* penerima dapat berfungsi sebagai register geser adalah salah satu alasan mengapa SPI sangat populer. Ada bagian dari perangkat keras UART *full-up* yang membutuhkan serial *asynchronous*. Dalam SPI hanya satu sisi menghasilkan sinyal jam. Sinyal jam

serial biasanya disebut CLK atau SCK. Salah satu contoh IC yang menggunakan SPI sebagai komunikasinya adalah IC MCP23S17IMCCP23S17 yang berfungsi sebagai transmitter I/O. IC ini sangat bermanfaat untuk Arduino Uno dikarenakan *outputnya* hanya 20 pin dan satu IC MCP23S17 memiliki *output* 16-pin [21].

2.2.14 Inter Integrated Circuit (I2C)

I2C merupakan protokol komunikasi serial dua arah dengan menggunakan dua saluran yang dirancang khusus untuk mengirim dan menerima data. Pada Gambar 2.12 menunjukkan gambar I2C.



Gambar 2.12 Modul I2C [22]

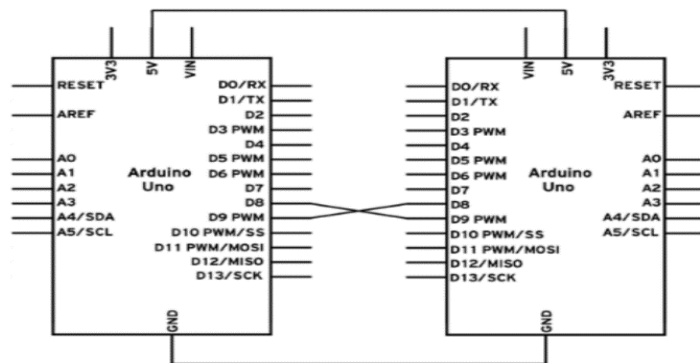
Dalam Protokol I2C, ada dua kabel, yang dikenal sebagai SDA (Serial Data) dan SCL (*Serial Clock*) yang masing-masing berfungsi untuk mengirimkan informasi data antara I2C dan pengontrolnya. Perangkat yang terhubung ke bus I2C dapat berperan sebagai *Master* atau *Slave*. *Master* bertanggung jawab untuk memulai dan mengakhiri *transfer* data ke bus I2C dengan mengirimkan sinyal *start* dan *stop*, serta mengontrol sinyal *clock*. Sementara itu, *Slave* adalah perangkat yang dituju oleh *Master* untuk dikirimkan data.

Kesederhanaan perangkat lunak dan integritas desain elektronika merupakan faktor penting dalam keberhasilan pembuatan protokol komunikasi I2C. Perubahan tegangan SDA dari "1" ke "0" ketika SCL adalah "1" menandakan awal dari semua perintah dalam *bus* I2C. Sinyal *stop* mengindikasikan akhir dari semua perintah dengan perubahan tegangan SDA dari "0" ke "1" saat SCL adalah "1". Sinyal *acknowledge* (ACK) juga penting dalam *bus* I2C. Setelah *master* menerima

data dari *slave*, *slave* akan mengirimkan sinyal ACK dengan mengubah SDA menjadi "0" selama siklus waktu ke-9. Hal ini menunjukkan bahwa *slave* telah menerima 8 bit data dari *master* [22].

2.2.15 Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

UART yaitu protokol komunikasi serial yang memfasilitasi pengiriman dan penerimaan data antar perangkat elektronik. Ini merupakan komponen kunci dalam komunikasi serial asinkron, dimana data dapat dikirim secara berurutan tanpa memerlukan sinyal jam terpisah. Banyak perangkat elektronik termasuk mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul UART yang memungkinkan mereka berkomunikasi dengan perangkat lain menggunakan protokol ini. Gambar 2.13 menunjukkan gambar dari protokol UART.



Gambar 2.13 Protokol UART [23]

UART berfungsi sebagai komponen utama untuk berkomunikasi antara perangkat. Hal ini termasuk koneksi antara mikrokontroler dengan mikrokontroler lainnya serta perangkat lain yang mendukung protokol komunikasi UART. Contoh dari mikrokontroler yang menggunakan UART yaitu Arduino [23].

2.2.16 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) berbasis *Java* dan dilengkapi dengan *library C/C++* yang dikenal sebagai *wiring* yang artinya proses menghubungkan *input* dan *output* menjadi lebih mudah. *Sketch* adalah program yang ditulis dengan Arduino Uno. Fungsi dari Arduino IDE sendiri yaitu untuk menulis, meng-*upload* program ke *board* Arduino dari komputer, memverifikasi,

men-*debug* dan mengkomplikasi. Pada gambar 2.14 merupakan tampilan dari Arduino IDE. Arduino IDE dikembangkan dari *software processing* yang dirancang menjadi Arduino IDE untuk pemrograman menggunakan Arduino. Pengguna dapat melakukan pemrograman dengan mudah menggunakan Bahasa pemrograman Arduino (*sketch*). *Sketch* merupakan program yang dibuat menggunakan Arduino IDE dan kemudian ditulis dalam editor teks dan disimpan dalam *file* dengan ekstensi *ino*.



Gambar 2.14 Arduino IDE [24]

Di dalam teks editor Arduino IDE terdapat fitur yang memungkinkan pengguna untuk melakukan *paste*, *cut*, *replace* dan *search* sehingga memudahkan dalam penulisan kode program. Selain itu, terdapat *message box* berwarna hitam dalam Arduino IDE yang berfungsi untuk menampilkan pesan atau status tentang *error*, *upload* dan kompilasi program. Arduino IDE menggunakan konsep *sketchbook* yang menjadi penyimpanan *file* program dan menjadi standar peletakan [24].