

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada bagian ini berisi landasan teori yang akan digunakan sebagai dasar dalam proses pembuatan proyek akhir. Pada bagian ini, yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

2.1.1 *Drum*

Drum, sebagai instrumen perkusi fundamental, menghasilkan suara melalui getaran membran atau tubuhnya, dengan sejarah panjang dari alat ritual kuno hingga *drum kit* modern yang populer sejak awal abad ke-20. Komponen/instrumen utamanya seperti *kick*, *snare*, *tom* *hi-hat*, dan *cymbal/crash* masing-masing memiliki peran ritmis dan suara khas yang dipengaruhi oleh getaran, (Scott & Andrew Morrison, 2022). Dimensi fisik yang besar menjadi karakteristik utama dari drum akustik konvensional, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (a) (Sincere Music, t.t). Fenomena serupa juga dijumpai pada mayoritas model drum elektronik di pasaran saat ini, di mana konstruksinya yang kurang ideal untuk dibawa kemana-mana. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b) (Yamaha, t.t). Sebagai alternatif, pemanfaatan aplikasi drum berbasis *software* sebenarnya mampu memberikan efisiensi ruang yang sangat optimal. Sayangnya, interaksi yang sebatas mengandalkan ketukan jari pada layar gawai atau papan ketik komputer cenderung menghilangkan kesan natural yang dicari oleh seorang penabuh drum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (c) (Virtual Drumming, 2026).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pemukul drum virtual berbasis udara (*air drumming*). Perangkat yang dirancang secara ringkas, responsif, serta portabel ini diharapkan dapat mengakomodasi kebutuhan musisi akan kepraktisan fisik tanpa mengurangi pengalaman bermain musik yang realistis. Melalui proyek ini, sistem drum virtual dirancang untuk mereplikasi instrumen fisik tersebut ke dalam ranah digital. Sistem ini memanfaatkan protokol MIDI sebagai bahasa komunikasi guna menerjemahkan

data pukulan sensor menjadi *output* audio pada perangkat *Digital Audio Workstation* (DAW) seperti FL Studio.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.1 (a) Drum Akustik, (b) Drum Elektronik, (c) Drum Berbasis *Software*

2.1.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu jenis mikroprosesor yang telah dilengkapi dengan memori serta fitur *input* dan *output* (I/O) dalam satu chip terpadu. Perangkat ini digunakan pada sistem tertanam (*embedded system*) dan saat ini menjadi komponen yang sangat umum dalam berbagai aplikasi teknologi, salah satunya adalah ESP32. ESP32 adalah *System on Chip* (SoC) yang mengintegrasikan mikrokontroler, Wi-Fi, dan Bluetooth. ESP32 dikenal karena kemampuan konektivitas nirkabelnya yang kuat, daya komputasi yang memadai, dan ukuran yang ringkas, sehingga sangat cocok untuk aplikasi *embedded system* dan *Internet of Things* (IoT) yang membutuhkan komunikasi *real-time* (Espressif Systems, 2025). Dalam proyek ini, empat unit ESP32 akan digunakan: tiga sebagai pengirim data dari stik dan pedal (*transmitter*), dan satu lagi sebagai penerima data (*receiver*)

yang terhubung ke komputer. Bentuk fisik ESP32 dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Az-Delivery, t.t).



Gambar 2.2 ESP32

2.1.3 Sensor Akselerometer

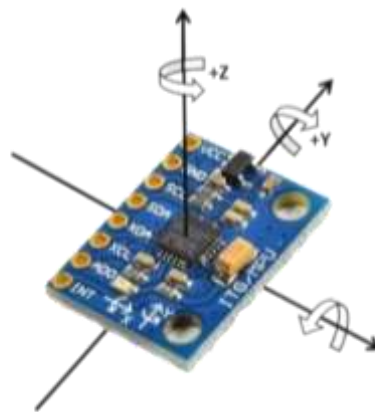
Sensor akselerometer adalah sensor yang mendeteksi dan mengukur gaya percepatan linear per satuan waktu yang dialami oleh suatu objek sepanjang sumbu koordinat kartesius (X, Y, dan Z). Data akselerometer dapat digunakan untuk mendeteksi kemiringan (*tilt*) relatif terhadap gravitasi dan juga untuk mengidentifikasi perubahan kecepatan (hentakan) atau *impact* (benturan). Secara teknis, percepatan yang terjadi sepanjang sumbu sensor akan menyebabkan defleksi pada massa yang dapat bergerak (*movable mass*) di dalam struktur sensor tersebut. Pergeseran pelat atau massa bergerak ini mengakibatkan ketidakseimbangan pada kapasitor diferensial, yang kemudian menghasilkan *output* sensor berupa sinyal elektrik dengan amplitudo yang sebanding dengan tingkat percepatan yang diterima. Untuk menghasilkan data digital yang akurat, sensor ini dilengkapi dengan ADC 16-bit internal yang bertugas melakukan digitalisasi *output* melalui Persamaan 2-1.

$$\text{Akselerasi} = \frac{\text{Data Raw Akselerometer}}{\text{Sensitivitas Akselerometer}} \quad 2-1$$

Dengan Akselerasi (g) adalah nilai percepatan fisik, Data Raw adalah nilai digital mentah dari register sensor, dan Sensitivitas adalah nilai pembagi berdasarkan rentang skala (misalnya 16384 LSB/g untuk skala $\pm 2g$). Sebagai referensi operasional, ketika perangkat diletakkan pada permukaan datar, sensor akan mengukur 0g pada sumbu X dan Y, serta +1g pada sumbu Z. Deteksi pukulan dalam proyek ini dilakukan dengan menganalisis vektor magnitudo dari ketiga sumbu percepatan menggunakan Persamaan 2-2.

$$A_{total} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad 2-2$$

Dengan A_{total} adalah nilai magnitudo percepatan total, sementara ax , ay , dan az mewakili komponen percepatan pada masing-masing sumbu linear. Saat stik drum dipukul ke udara, akselerometer akan mendeteksi lonjakan percepatan yang dapat diinterpretasikan sebagai sebuah ketukan. MPU6050 adalah *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang menggabungkan giroskop 3-sumbu dan akselerometer 3-sumbu pada satu keping silikon. Akselerometer 3-sumbu mampu mendeteksi perubahan percepatan dan giroskop 3-sumbu pula mampu mengukur dan mempertahankan orientasi berdasarkan prinsip momentum sudut pada sumbu X, Y, dan Z, (Albaghdadi & Ali, 2019). Ketiga sumbu sensor akselerometer dan giroskop MPU6050 diilustrasikan pada Gambar 2.3 (Github, t.t).



Gambar 2.3 MPU6050

2.1.4 Sensor Giroskop

Sensor giroskop MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*) adalah sensor mikroelektronik yang dirancang untuk mendeteksi dan mengukur laju perubahan sudut atau kecepatan sudut (ω) sepanjang satu atau beberapa sumbu putar (sumbu pitch, roll, dan yaw). Berbeda dengan giroskop mekanis konvensional yang menggunakan roda berputar, giroskop MEMS mengandalkan efek fisik Gaya Coriolis (*Coriolis Force*) yang bekerja pada struktur massa bergetar internal (*vibrating proof mass*).

Ketika sensor mengalami perputaran sudut terhadap sumbu sensitifnya, gaya Coriolis akan timbul pada massa yang sedang digetarkan secara linear ($\vec{v}$) di dalam sensor. Gaya Coriolis ini dirumuskan pada Persamaan 2-3 berikut:

$$\vec{F}_C = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v}) \quad 2-3$$

Keterangan:

$\vec{F}_C$ = Gaya Coriolis

m = Nilai massa bergetar internal (*proof mass*).

$\vec{v}$ = Vektor kecepatan osilasi mekanis linear massa.

$\vec{\omega}$ = Vektor kecepatan sudut eksternal yang dialami sensor.

Gaya Coriolis ini mengakibatkan terjadinya perpindahan arah getaran massa secara tegak lurus, yang kemudian dideteksi oleh sirkuit internal sensor sebagai fluktuasi kapasitansi diferensial mikro. Fluktuasi kapasitansi tersebut dikonversi oleh konverter kapasitansi-ke-tegangan internal menjadi data biner kecepatan sudut dalam satuan derajat per detik (°/s atau dps).

Secara matematis, untuk menentukan koordinat posisi sudut orientasi dari data kecepatan sudut yang dikeluarkan sensor, program mikrokontroler harus melakukan proses integrasi numerik domain waktu pada Persamaan 2-4 berikut:

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_0^t \omega(t) dt \quad 2-4$$

Keterangan:

$\theta(t)$ = Posisi sudut orientasi komputasi akhir pada saat waktu berjalan (dalam derajat atau radian).

θ_0 = Posisi sudut orientasi awal atau kondisi mula-mula sistem pada waktu acuan $t = 0$.

$\omega(t)$ = Nilai kecepatan sudut transien dari giroskop sebagai fungsi waktu (dalam °/s atau rad/s).

dt = Diferensial waktu atau interval periode sampling kalkulasi pemrograman (dalam detik s).

Proses integrasi matematika ini memiliki kelemahan fatal yang disebut pergeseran sudut (*gyroscope drift error*). Karena nilai kecepatan sudut yang dibaca

sensor selalu mengandung nilai offset bias konstan dan derau acak (*random noise*), pembacaan sudut aktual melenceng menjadi seperti pada Persamaan 2-5.

$$\theta_{\text{measured}}(t) = \theta_{\text{actual}}(t) + \omega_{\text{bias}} \cdot t + \int_0^t w_n(t) dt \quad 2-5$$

Keterangan:

$\theta_{\text{measured}}(t)$ = Posisi sudut hasil kalkulasi pengukuran sensor yang dibaca sistem terhadap waktu.

$\theta_{\text{actual}}(t)$ = Posisi sudut orientasi fisik yang sebenarnya terjadi di dunia nyata (*true angle*) pada waktu.

ω_{bias} = Nilai penyimpangan offset bias konstan bawaan pabrik dari komponen giroskop.

t = Durasi waktu berjalan (*elapsed time*) terhitung sejak sensor mulai dinyalakan (dalam detik).

$w_n(t)$ = Derau acak (*random noise* atau *angle random walk*) yang melekat pada sensor sebagai fungsi waktu.

Suku $\omega_{\text{bias}} \cdot t$ menyebabkan galat sudut bertambah secara linear seiring bertambahnya waktu, sehingga posisi sudut orientasi stik drum virtual akan melintir menjauh dari posisi hadap fisik aslinya. Akumulasi galat inilah yang menyebabkan penentuan zona instrumen drum virtual menjadi tidak akurat setelah digunakan beberapa saat jika hanya mengandalkan sensor giroskop.

2.1.5 Sensor Magnetometer

Prinsip kerja utama sensor magnetometer didasarkan pada keberadaan medan magnet bumi yang mengarah ke utara magnetik. Salah satu contoh sensor magnetometer adalah HMC5883L, sensor ini menggunakan material magnetoresistif yang disusun dalam sebuah sirkuit jembatan (*bridge circuit*) yang terbuat dari lapisan tipis magnetik nikel-besi (*Nickel-Iron/Ni-Fe magnetic film*) (ElectronicsWings, 2026). Ketika sensor bergerak dalam ruang, film nikel-besi tersebut mengalami paparan medan magnet bumi yang mengubah resistansi material, menghasilkan perubahan tegangan resultan di seluruh jembatan. Komponen medan magnet bumi yang sejajar dengan permukaan bumi, yaitu

komponen sumbu X (H_x) dan sumbu Y (H_y), digunakan untuk menentukan arah kompas secara akurat melalui rumus azimuth seperti pada Persamaan 2-6 dibawah ini.

$$\theta = \text{atan2}(H_y, H_x) \quad 2-6$$

Keterangan:

θ = Sudut arah dalam satuan radian.

H_y dan H_x = Data intensitas medan magnet pada sumbu Y dan X.

Secara historis-matematis, konsep penentuan sudut arah horizontal ini sebenarnya berakar dari pemikiran ilmuwan Muslim klasik, Al-Biruni (973–1048 M). Dalam karyanya yang terkenal, Kitab *Tahdid Nihayat al-Amakin li Tashih Masafat al-Masakin*, ia merumuskan metode trigonometri bola (*spherical trigonometry*) untuk menghitung arah hadap absolut yang kini kita sebut sebagai Azimuth (berasal dari kata bahasa Arab klasik, *Al-Samt*). Rumus matematika ini dirancang oleh Al-Biruni untuk menentukan arah kiblat secara akurat tanpa harus bergantung pada kompas fisik yang pada masa itu kinerjanya belum stabil. Pada proyek drum virtual ini, pemetaan sudut putar stik ($0^\circ - 360^\circ$) menggunakan prinsip dasar azimuth (*Al-Samt*) tersebut. Bedanya, kita memanfaatkan kecanggihan sensor HMC5883L yang membaca medan magnet bumi untuk memproyeksikan sumbu arah secara absolut di udara, menggantikan peran alat navigasi kuno seperti astrolab. Untuk mendapatkan nilai arah yang dapat digunakan dalam pembagian zona instrumen, dilakukan konversi ke derajat dan penambahan koreksi lingkungan melalui Persamaan 2-7.

$$\text{Heading} = \left(\theta \times \frac{180}{\pi} \right) + \text{Sudut deklinasi} \quad 2-7$$

Keterangan:

Heading = Sudut akhir dalam derajat ($0^\circ - 360^\circ$).

θ = Sudut arah dalam satuan radian.

$180/\pi$ = Konstanta untuk mengubah radian ke derajat.

Sudut deklinasi = Sudut koreksi magnetik lokal wilayah pemakaian.

Hal ini memungkinkan pemilihan jenis instrumen drum tetap stabil dan absolut terhadap magnet bumi, tanpa terpengaruh oleh akumulasi kesalahan sudut seperti pada sensor giroskop. Astrolab yang digunakan dalam navigasi kuno dapat dilihat pada Gambar 2.4 (a) (Howstuffworks. 2024), sedangkan HMC5883L yang digunakan untuk proyek ini dapat dilihat pada Gambar 2.4 (b) (ElectronicWings, 2026).



(a)



(b)

Gambar 2.4 (a) Astrolab (b) HMC5883L

2.1.6 Piezoelektrik

Sensor piezoelektrik memanfaatkan efek piezoelektrik, yaitu fenomena di mana material tertentu (seperti kristal kuarsa, keramik, atau polimer tertentu) menghasilkan muatan listrik sebagai respons terhadap tekanan mekanis yang diterima, atau sebaliknya. Dalam konteks aplikasi sensor, material piezoelektrik dapat digunakan sebagai sensor getaran atau tekanan. Ketika sebuah pukulan atau tekanan diterima oleh sensor piezoelektrik, ia akan menghasilkan sinyal tegangan yang sebanding dengan kekuatan tekanan tersebut (Maulana dkk., 2023).

Persamaan 2-8 menunjukkan tegangan keluaran dari sensor ketika mendapat tekanan mekanis.

$$V = \frac{d \cdot F}{C} \quad 2-8$$

Keterangan:

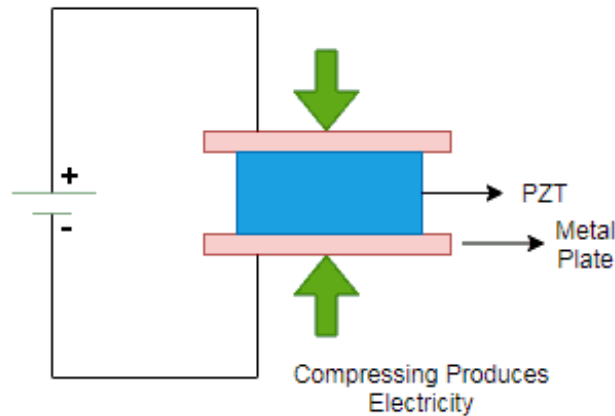
V = Tegangan keluaran (Volt).

d = Koefisien muatan piezoelektrik material (Coulomb/Newton).

F = Gaya tekan atau beban mekanis yang diberikan (Newton).

C = Kapasitansi elemen piezoelektrik (Farad).

Sensor piezoelektrik sering digunakan dalam drum elektronik untuk mendeteksi pukulan pada pad drum, mengubah getaran mekanis menjadi sinyal listrik yang kemudian dapat diubah menjadi sinyal MIDI. Meskipun proyek ini berfokus pada MPU6050 untuk gerakan, sensor piezoelektrik dapat menjadi alternatif atau pelengkap untuk deteksi injakan pada pedal. Efek piezoelektrik diilustrasikan pada Gambar 2.5 (Electricaltechnology, 2020).



Gambar 2.5 Efek Piezoelektrik

2.1.7 Protokol ESP-NOW

ESP-NOW adalah protokol komunikasi nirkabel yang dikembangkan oleh Espressif Systems untuk perangkat ESP. Berbeda dengan Wi-Fi standar, ESP-NOW memungkinkan transmisi data langsung antar perangkat (*peer-to-peer*) tanpa memerlukan *Access Point* (AP) atau *router* (Espressif Systems, 2021). Beberapa karakteristik utama yang menjadi keunggulan ESP-NOW adalah:

- 1) **Latensi Rendah:** ESP-NOW menawarkan komunikasi dengan latensi rendah, menjadikannya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan respons cepat.
- 2) **Konsumsi Daya Rendah:** Protokol ini dirancang untuk menggunakan daya yang minimal, sehingga ideal untuk perangkat yang ditenagai oleh baterai.
- 3) **Komunikasi Multicast:** ESP-NOW mendukung pengiriman pesan ke beberapa perangkat sekaligus, meningkatkan efisiensi dalam distribusi informasi.

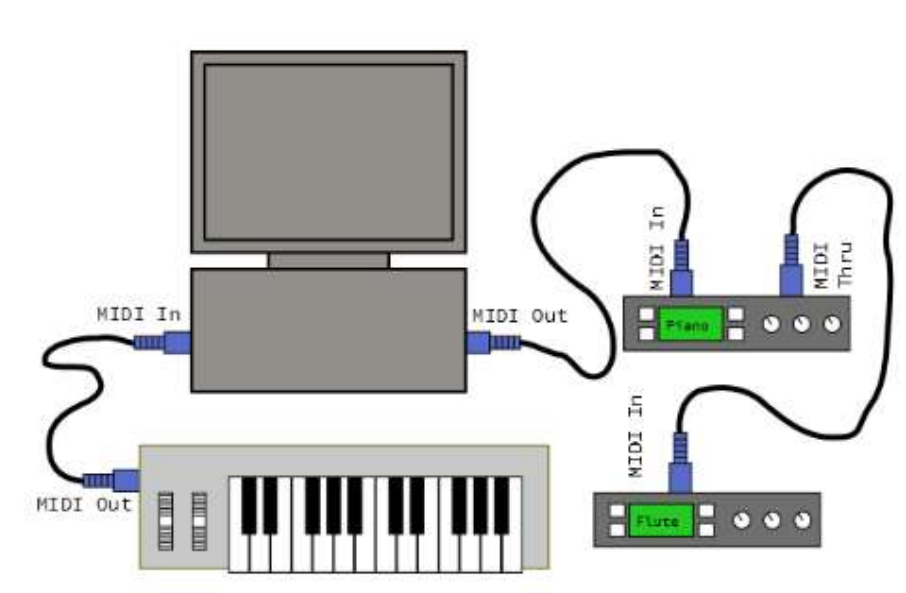
Dilihat dari segi keunggulannya tersebut, sebab itulah dalam proyek ini ESP-NOW dipilih sebagai protokol komunikasi nirkabelnya. Skema ESP-NOW terlihat seperti pada Gambar 2.6 (Espressif Systems, 2021).



Gambar 2.6 Skema ESP-NOW

2.1.8 Protokol MIDI

MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) adalah standar protokol komunikasi digital yang memungkinkan perangkat musik elektronik berinteraksi. MIDI tidak mengirimkan suara, melainkan serangkaian pesan digital yang menginstruksikan perangkat lain bagaimana menghasilkan atau memodifikasi suara (Jhonatan, 2019). Dalam konteks drum virtual pesan digital yang dikirim di sini berupa nomor *note* MIDI dari instrumen drum, volume suara (*velocity*) dan *control change* yang dapat digunakan untuk memicu fitur penggantian *drum kit*. Gambar 2.7 (Jhonathan, R, 2019) menunjukkan skema protokol MIDI pada umumnya.



Gambar 2.7 Protokol MIDI

Tabel 2.1 menunjukkan pesan MIDI berupa nomor *note* MIDI yang umum digunakan untuk masing-masing instrumen drum.

Tabel 2.1 Nomor *Note* MIDI dari Masing-Masing Instrumen Drum

No	Nomor <i>Note</i> MIDI	Instrumen Drum
1	36	<i>Kick</i>
2	38	<i>Snare</i>
3	47	<i>Tom 1</i>
4	45	<i>Tom 2</i>
5	41	<i>Floor</i>
6	46	<i>Open Hi-Hat</i>
7	42	<i>Close Hi-Hat</i>
8	57	<i>Crash 2</i>
9	49	<i>Crash 1</i>
10	51	<i>Ride</i>
11	21	<i>Splash</i>

2.1.9 Digital Audio Workstation

Digital Audio Workstation (DAW) adalah *software* yang digunakan untuk merekam, mengedit, dan memproduksi berkas audio. FL Studio merupakan salah satu DAW populer yang menyediakan lingkungan lengkap untuk komposisi dan produksi musik (Image-Line, t.t.). Dalam proyek ini, FL Studio akan berfungsi sebagai *host* untuk *Virtual Studio Technology Instrument* (VSTi) alat musik drum. Modul *receiver* akan mengirimkan pesan MIDI ke komputer, yang kemudian akan diinterpretasikan oleh FL Studio untuk memicu suara drum yang sesuai dari VSTi dan mengelola penggantian *drum kit*. Tampilan FL Studio dapat dilihat pada Gambar 2.8 (Image-Line, t.t.).



Gambar 2.8 Tampilan FL Studio

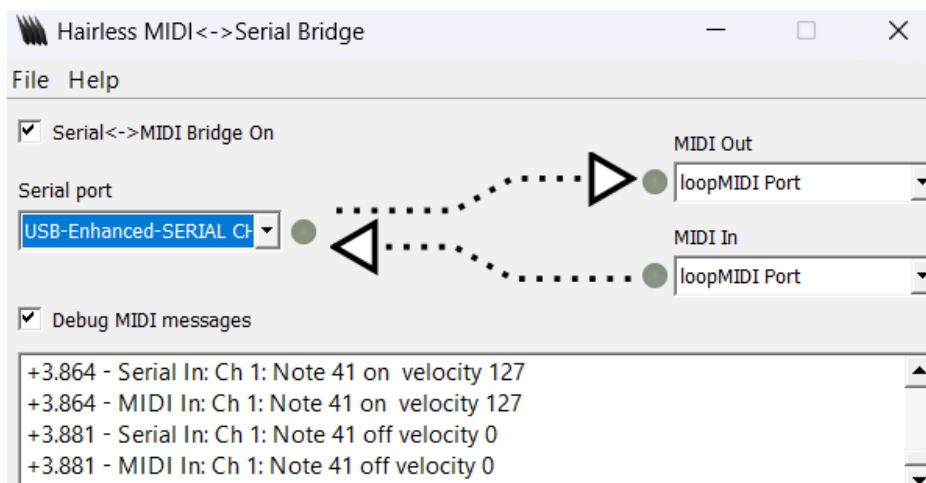
2.1.10 Software Penerjemah Protokol Serial Ke MIDI

Software penerjemah ini digunakan untuk memfasilitasi komunikasi antara aliran data serial dari mikrokontroler dengan protokol MIDI standar di komputer.

Hairless MIDI adalah salah satu *software* yang dapat digunakan penerjemahan ini. Secara teknis, data yang dikirimkan oleh mikrokontroler melalui *port* USB-to-Serial hanyalah berupa deretan *byte* mentah dengan kecepatan *baud rate* tertentu (biasanya 115200 bps). Hairless MIDI bertugas untuk memantau (*monitoring*) *port* serial tersebut, mengambil paket data yang masuk, dan menerjemahkannya kembali ke dalam format pesan MIDI standar seperti pada Persamaan 2-9.

$$\text{Pesan MIDI} = [\text{Status Byte}, \text{Data Byte 1}, \text{Data Byte 2}] \quad 2-9$$

Dimana Status Byte mendefinisikan jenis perintah (misal: 0x90 untuk *note on*), Data Byte 1 merepresentasikan nomor *note* MIDI atau jenis drum (*pitch*), dan Data Byte 2 volume suara (*velocity*). Proses ini memungkinkan data dari sensor nirkabel diubah menjadi instruksi musik digital secara *real-time*. Pesan MIDI yang telah diterjemahkan dapat dilihat melalui jendela Hairless MIDI seperti pada Gambar 2.9.

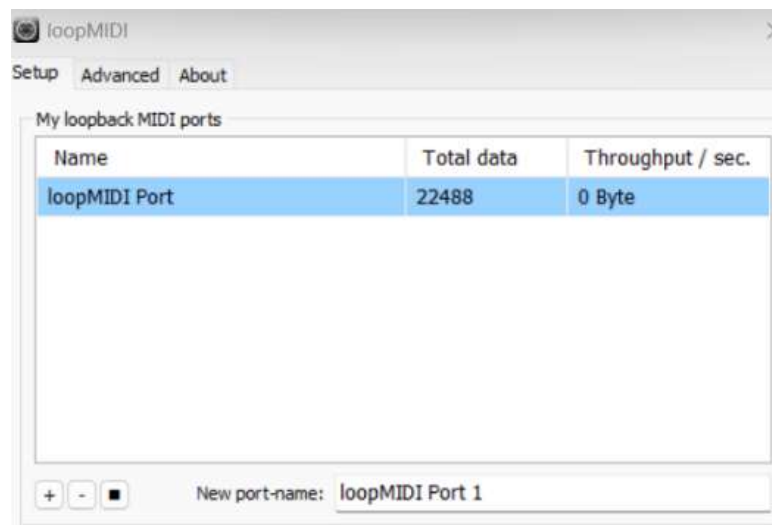


Gambar 2.9 Jendela Hairless MIDI

2.1.11 Driver Port MIDI Virtual

Driver port MIDI virtual berfungsi untuk menciptakan antarmuka MIDI virtual yang dikenali oleh sistem operasi sebagai perangkat keras MIDI fisik. Hal ini sangat penting karena secara *default*, Windows tidak mengizinkan satu *software* (seperti Hairless MIDI) untuk mengirimkan data MIDI langsung ke aplikasi lain (seperti FL Studio) tanpa adanya *driver* perangkat. LoopMIDI adalah *software driver port* MIDI virtual yang dikembangkan oleh Tobias Erichsen untuk sistem operasi Windows. LoopMIDI bertindak sebagai "kabel virtual" yang

menghubungkan *output* dari Hairless MIDI menuju *input* pada Digital Audio Workstation (Tobias Erichsen, 2022). Dengan membuat satu *port* virtual di LoopMIDI, pengguna dapat mengatur Hairless MIDI untuk mengirimkan data ke *port* tersebut, sementara FL Studio dikonfigurasi untuk menerima data dari *port* yang sama. Mekanisme ini memastikan transmisi data musik berjalan secara internal di dalam sistem memori komputer dengan latensi mendekati nol. *Port* MIDI virtual dapat dilihat melalui jendela LoopMIDI seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Jendela LoopMIDI

2.1.12 Metode Analisis Gelombang Audio Untuk Pengukuran Latensi

Latensi pada drum virtual didefinisikan sebagai jeda waktu antara waktu eksekusi pukulan fisik pada modul stik drum hingga suara drum berhasil diproduksi oleh *Digital Audio Workstation* (DAW). Metode ini menggunakan mikrofon perekam eksternal untuk menangkap dua gelombang suara yang berbeda karakter frekuensinya secara bersamaan. Alur deteksi latensi ini terbagi menjadi dua titik referensi waktu utama, yaitu:

- 1) Titik Waktu Masukan (T_1): Merupakan waktu terjadinya benturan fisik mekanis. Pada stik drum virtual, titik ini diwakili oleh gelombang suara bernada tinggi (*high-pitch*) yang dihasilkan saat *casing* stik membentur permukaan suatu benda.
- 2) Titik Waktu Keluaran (T_2): Merupakan waktu keluaran audio dari sistem. Titik ini diwakili oleh gelombang suara hasil sintesis instrumen drum digital

yang diproduksi oleh DAW setelah menerima data nirkabel MIDI, lalu dikeluarkan melalui pengeras suara (*speaker*).

Besaran nilai latensi total sistem selanjutnya dihitung menggunakan Persamaan matematis 2-10 berikut:

$$\Delta t = T_2 - T_1 \quad 2-10$$

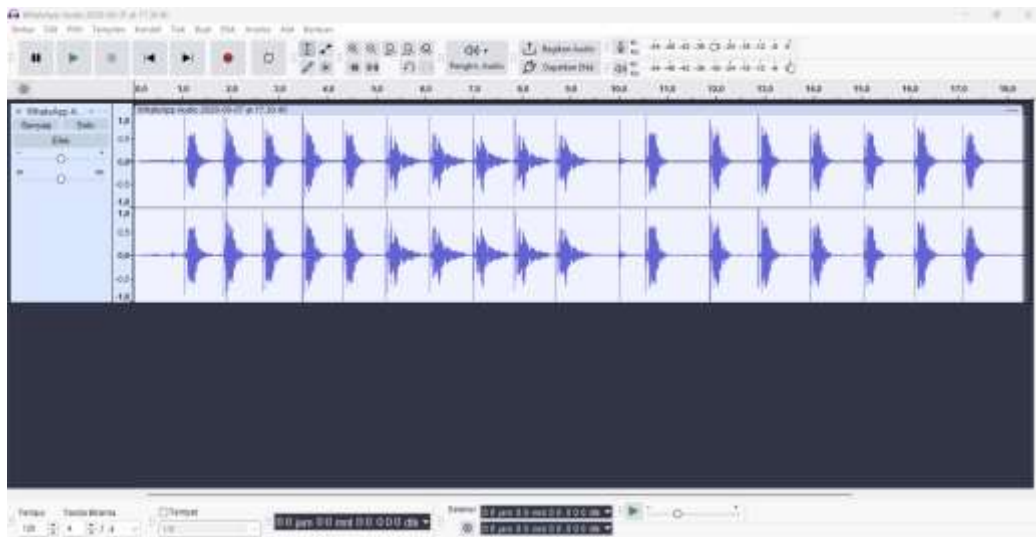
Keterangan:

Δt = Nilai latensi sistem (ms)

T_1 = Titik waktu gelombang benturan fisik stik drum (ms)

T_2 = Titik waktu gelombang keluaran audio dari *software* (ms)

Dalam metode ini *software* Audacity dapat berfungsi untuk mengukur besaran waktu tunda atau latensi. Audacity merupakan sebuah *software* editor audio digital dan perekam suara berbasis sumber terbuka (*open-source*) yang bersifat multiplatform. Audacity umumnya diimplementasikan untuk melakukan manipulasi sinyal audio seperti memotong (*trimming*), menggabungkan, menduplikasi, serta memberikan efek pada berkas gelombang suara. Melalui grafik gelombang suara di Audacity, selisih waktu dapat dihitung secara objektif untuk menguji kecepatan respon (*real-time*) dari instrumen virtual. Gambaran umum mengenai bentuk gelombang suara pada Audacity ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Gelombang Suara pada Audacity

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian awal yang dipaparkan oleh Yuniar & Nurcahyo Prastowo (2013) dengan judul “Optimasi Purwarupa Kendali Virtual Instrumen Musik Drum Berbasis Sensor Akselerometer dan LDR”. Sistem ini mengandalkan Arduino Mega 1280 sebagai mikrokontroler, dengan sensor akselerometer analog ADXL 335 untuk mendeteksi percepatan dan sensor LDR untuk mengubah jenis suara drum.. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada *velocity* suara yang dihasilkan tanpa meghimbau kesulitan jika selalu harus memicu sensor LDR hanya untuk mengganti instrumen drum saja. Studi ini menguatkan gagasan integrasi penggunaan sensor akselerometer untuk mendeteksi percepatan gerakan memukul dan juga penggunaan sensor magnetometer untuk menghasilkan suara instrumen yang berbeda. Drum virtual ini dapat dilihat pada Gambar 2.12 (Yuniar & Nurcahyo Prastowo, 2013).



Gambar 2.12 Drum Berbasis Sensor Akselerometer dan LDR

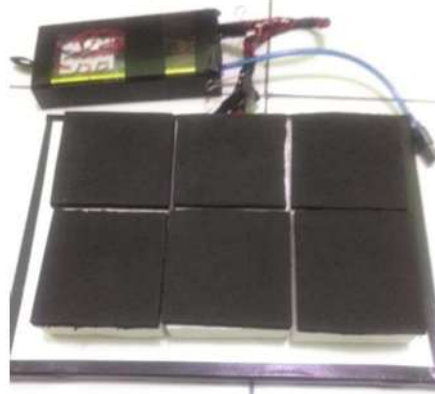
Phon-Amnuaisuk dkk. (2017) mengeksplorasi teknik *image processing* dan mengembangkan aplikasi interaktif yang memanfaatkan pelacakan objek. Kamera digunakan untuk merekam gerakan pengguna misalnya, memukul udara dengan stik drum. Berdasarkan kecepatan stik drum dan posisi drum virtual yang dilacak, suara instrumen drum standar seperti *hi-hat*, *tom*, *snare*, atau *simbal* dihasilkan. Aplikasi ini terbukti dapat berjalan secara *real-time* hingga kecepatan drum 180-200 ketukan per menit. Namun, ditemukan bahwa semakin cepat gerakan stik drum, semakin sedikit piksel yang terdeteksi. Penelitian ini menguatkan gagasan bahwa penggunaan *image processing* cukup mumpuni untuk digunakan dalam proyek ini, namun tentu saja kamera yang dipakai harus mempunyai spesifikasi yang cukup

tinggi dan harganya relatif lebih mahal. Drum virtual dengan *image processing* dapat dilihat pada Gambar 2.12 (Phon-Amnuaisuk dkk., 2017).



Gambar 2.13 Drum Virtual dengan *Image Processing*

Ompusunggu dkk. (2020) berfokus pada pengembangan sebuah kontroler drum MIDI dengan memanfaatkan sensor piezoelektrik. Tujuan utamanya adalah menciptakan perangkat yang dapat digunakan oleh pemula untuk belajar drum atau membuat musik digital. Hasilnya adalah sebuah *drum pad* berbasis Arduino yang menghasilkan *output* MIDI, hasil dari penelitian ini dinilai baik karena respons *real time* dan kemampuannya mendeteksi kekuatan pukulan (*velocity*). Kendala utama yang dihadapi adalah kesulitan dalam menemukan bahan yang menyerupai *feel* drum asli. Dengan menggunakan transmisi nirkabel ESP-NOW dan mikrokontroler ESP32 yang ringkas, proyek yang akan dibuat menawarkan solusi yang lebih portabel dan minim kabel. *Drum pad* yang dibuat dengan sensor piezoelektrik dapat dilihat pada Gambar 2.14 (Ompusunggu dkk., 2020).



Gambar 2.14 *Drum Pad* dengan Sensor Piezoelektrik

Farhad Hossain dkk. (2020) menyelidiki drum virtual menggunakan data *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS) 3D yang dikombinasikan dengan *machine learning*. Mereka berhasil merancang delapan instrumen drum virtual untuk dua sensor dengan akurasi deteksi yang tinggi (91,42% di simulasi dan

88,20% secara *real-time*). Hasilnya, drum virtual dapat dimainkan dengan sukses menyerupai drum akustik. Meskipun akurasi deteksi sistem memuaskan, namun penelitian ini masih menunjukkan adanya latensi yang tinggi dan kesulitan melakukan pukulan stik karena hanya bergantung pada putaran pergelangan tangan untuk mengganti suara instrumen drum. Drum virtual dengan MEMS 3D dan *machine learning* dapat dilihat pada Gambar 2.15 (Farhad Hossain dkk., 2020).



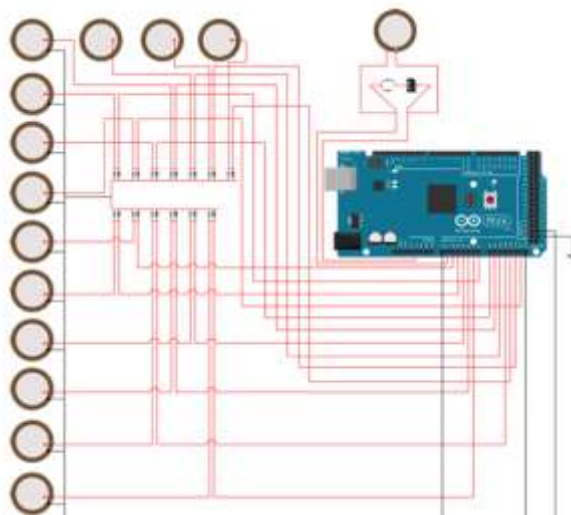
Gambar 2.15 Drum Virtual dengan MEMS 3D dan *Machine Learning*

Pada artikel “Virtual Drum Berbasis Sistem Pengolah Citra Digital” oleh Fiolana dkk. (2021), memaparkan pengembangan drum virtual yang memanfaatkan pengolahan citra digital untuk mendeteksi gerakan stik drum. Sistem ini menggunakan konversi warna RGB (*Red, Green, Blue*) ke HSV (*Hue, Saturation, Value*) dan metode *Hough Circle* untuk mengenali ujung stik drum berbentuk lingkaran dengan warna spesifik (hijau dan biru). Kelemahan yang diidentifikasi adalah sangat terpengaruh oleh intensitas cahaya dan juga keterbatasan dalam menghasilkan suara instrumen drum yang berbeda karena mengharuskan untuk mengganti dengan stik yang berbeda pula. Gambar 2.16 (Fiolana dkk., 2021) menunjukkan drum virtual berbasis pengolahan citra digital.



Gambar 2.16 Drum Virtual Berbasis Pengolahan Citra Digital

Melangkah lebih jauh, Maulana dkk. (2023) dengan penelitian yang berjudul “*Design of MIDI Drum Controller Using Piezoelectric and Arduino-Based TCRT5000 Sensor to Facilitate Sound Engineer Performance in the Music Industry*” juga mengembangkan kontroler drum MIDI, mereka menggunakan Arduino Mega karena ketersediaan pin analognya yang melimpah, sehingga ideal untuk *drum pad* yang lebih lengkap. Sensor piezoelektrik kembali digunakan untuk mendeteksi getaran pukulan, sementara sensor TCRT5000 ditambahkan untuk mengontrol *hi-hat* agar dapat menghasilkan suara terbuka dan tertutup. Meskipun piezoelektrik berhasil mendeteksi dinamika pukulan dan mengirimkan data ke aplikasi drum virtual, namun terdapat sedikit masalah pada data heksadesimal yang dikirimkan ke *VSTi Addictive Drum*, di mana *byte* ketiga memiliki selisih nilai. Dengan protokol ESP-NOW, proyek yang akan dibuat menawarkan solusi yang lebih portabel dan minim kabel. Masalah data heksadesimal yang mereka temui juga menjadi pengingat untuk memastikan konsistensi format data MIDI yang dikirim. Rangkaian elektronika yang dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.17 (Maulana dkk., 2023).



Gambar 2.17 Rangkaian Elektronika *Drum Pad*

Sebagai acuan dalam menentukan keberhasilan penelitian, Tabel 2.2 memaparkan kelebihan dan kekurangan dari beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dari Virtual Drum

No.	Peneliti Terdahulu	Judul Penelitian	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
1.	(Yuniar & Nurcahyo Prastowo, 2013)	Optimasi Purwarupa Kendali Virtual Instrumen Musik Drum Berbasis Sensor Akselerometer dan LDR	Kontroler virtual instrumen drum menggunakan sensor akselerometer ADXL 335 dan LDR.	Variasi kekerasan bunyi beragam, penambahan jumlah instrumen drum.	Suara saling mengganggu dan kesulitan untuk mengganti suara instrumen drum.
2.	(Phon-Amnuaisuk dkk., 2017)	<i>Virtual Musical: Air Drum</i>	<i>Virtual Musical: Air Drum</i> menggunakan kamera video (pelacakan gambar).	<i>Real-time</i> , hingga 180-200 BPM, tanpa sensor fisik.	Akurasi deteksi piksel menurun pada gerakan cepat.
3.	(Ompusunggu dkk., 2020)	Implementasi Sensor Piezoelectric sebagai MIDI <i>Drum Controller</i> Berbasis Arduino Uno	MIDI <i>drum controller</i> dengan menggunakan sensor piezoelektrik.	Alat ini mampu Menghasilkan respons <i>real-time</i> , deteksi <i>velocity</i> .	Sulit mencari bahan dengan <i>feel</i> seperti drum asli.
4.	(Hossain dkk., 2020)	<i>Playing Virtual Musical Drums By Mems 3d Accelerometer Sensor Data And Machine Learning</i>	<i>Virtual drum motion-based</i> menggunakan sensor MEMS 3D Akselerometer.	Akurasi deteksi tinggi, kalibrasi intensitas, pemrosesan paralel.	Latensi tinggi, kesulitan untuk melakukan pukulan dan terbatas pada empat instrumen drum.

No.	Peneliti Terdahulu	Judul Penelitian	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
5.	(Fiolana dkk., 2021)	Virtual Drum Berbasis Sistem Pengolah Citra Digital	<i>Image Processing</i> menggunakan pengolahan citra digital (HSV, Hough Circle).	Tidak memerlukan sensor fisik.	Sangat terpengaruh oleh intensitas cahaya dan juga keterbatasan dalam menghasilkan suara instrumen drum.
6.	(Maulana dkk., 2023)	<i>Design of Midi Drum Controller Using Piezoelectric and Arduino-Based TCRT5000 Sensor to Facilitate Sound Engineer Performance in the Music Industry</i>	MIDI drum controller dengan menggunakan sensor piezoelektrik dan TCRT5000.	Adanya <i>velocity</i> suara dan kontrol hi-hat.	Selisih data heksadesimal pada byte ketiga.

Penelitian drum virtual sebelumnya, baik yang menggunakan sensor piezoelektrik, akselerometer sederhana, atau *image processing*, seringkali menghadapi tantangan dalam hal *feel* fisik, akurasi deteksi, keterbatasan instrumen drum, latensi, dan sensitivitas lingkungan. Proyek ini mengatasi celah tersebut dengan mengintegrasikan sensor akselerometer dan giroskop untuk deteksi gerakan pukulan stik yang presisi, memanfaatkan sensor piezoelektrik sebagai alternatif atau pelengkap untuk deteksi injakan pada pedal, memanfaatkan protokol ESP-NOW untuk komunikasi nirkabel berlatensi rendah, serta menambahkan fitur penggantian *preset* drum melalui penekanan tombol *preset*, sehingga menghasilkan solusi drum virtual yang lebih portabel, responsif, akurat dan fleksibel.