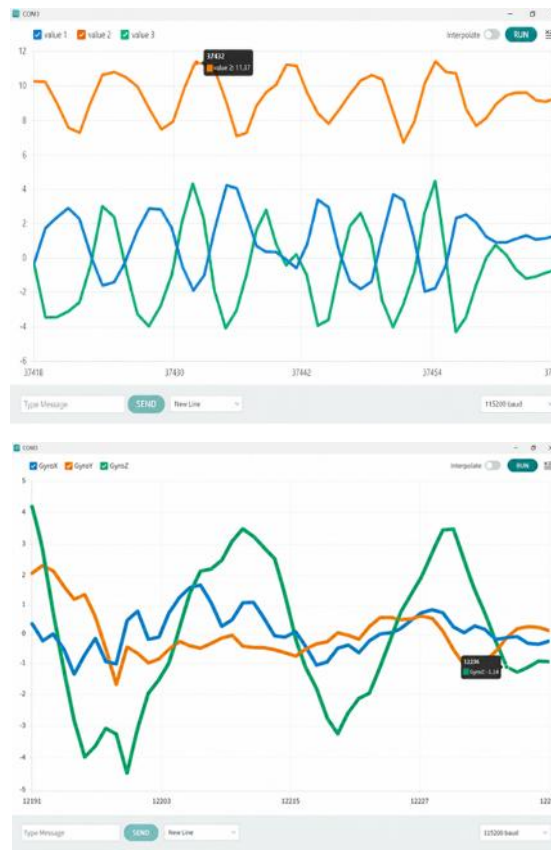


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sensor dan Pola Gerakan

Pada pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sensor MPU 6050 dapat menampilkan data getaran (*accelerometer*) dan arah pergerakan (*gyro*) melalui serial monitor. Melalui pengujian ini diharapkan untuk pergerakan aktivitas senam dapat dihasilkan data getaran dan arah Gerakan yang nantinya akan direkam kedalam memori mikrokontroler ESP32 D1 mini untuk dapat diolah lebih lanjut. Pada Gambar 4.1 berikut ini adalah contoh hasil pengujian sensor MPU 6050 secara realtime menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan memanfaatkan serial monitor.



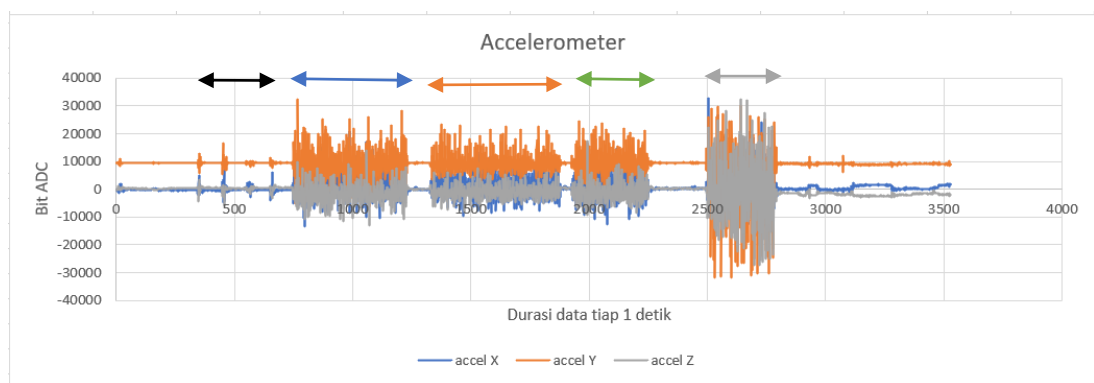
(a)

(b)

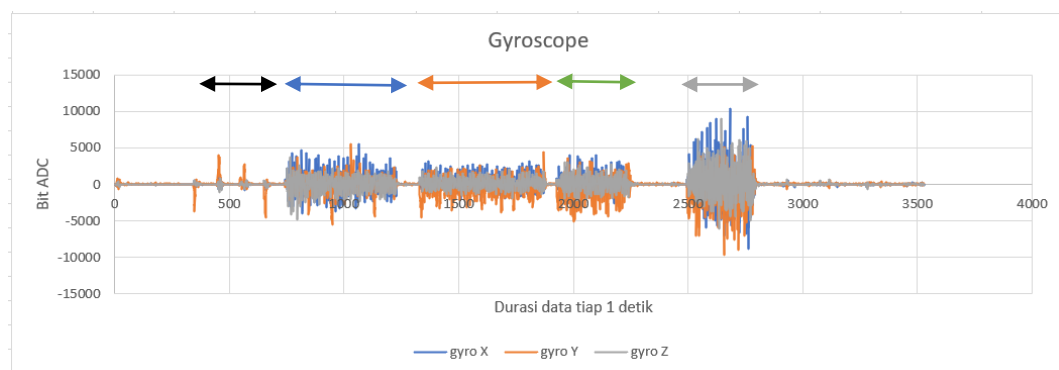
Gambar 4.1 (a) Pengujian data *accelerometer* sensor MPU 6050 secara realtime melalui serial monitor. (b) Pengujian data *gyroscope* sensor MPU 6050 secara realtime melalui serial monitor.

Pada pengujian tersebut sensor MPU 6050 digerakkan dan diputar secara manual menggunakan tangan sehingga menghasilkan pola getaran dan pergerakan arah dengan komponen pergerakan 3 sumbu XYZ.

Kemudian setelah dilakukan pengujian secara manual dilakukan pengujian pula setelah sensor dirakit ke dalam PCB *transmitter* untuk dilakukan pengujian terhadap pergerakan aktivitas yang menitik beratkan pergerakan kaki meliputi: hadap depan, hadap kanan, hadap kiri, dan hadap belakang, jalan ditempat hadap depan, jalan ditempat hadap kanan, jalan ditempat hadap kiri, jalan ditempat hadap belakang, jalan santai berkeliling, jalan cepat berkeliling dan berlari berkeliling. Setiap pergantian gerakan diberikan jeda dalam kondisi diam dan menghadap ke depan. Hasil pengujian aktivitas tersebut diperoleh grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Pengujian sensor MPU 6050 terhadap beberapa pola pergerakan sesuai dengan intensitas dan arah pergerakan Langkah kaki
(a) Hasil data *accelerometer* (b) Hasil data *gyroscope*

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 menunjukkan pembacaan *accelerometer*, dan *gyroscope* sesuai dengan contoh pola pengujian gerakan. Panah hitam menunjukkan gerakan perubahan arah hadap depan, kanan, kiri, dan belakang, sedangkan panah biru menunjukkan jalan di tempat hadap depan, kanan, kiri, dan belakang. Kemudian panah oranye menunjukkan jalan santai berkeliling, dan panah hijau menunjukkan jalan cepat berkeliling, serta panah abu-abu menunjukkan berlari berkeliling. Pada grafik pengujian pola gerakan masing-masing memiliki beberapa perbedaan, karena setiap pergerakan memiliki perbedaan intensitas gerakan dan arah terhadap pergerakan kaki. Untuk analisis hasil pergerakan pola dapat ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1 Hasil analisis pengujian pola Gerakan

Pola gerakan	Karakteristik hasil pembacaan
Hadap depan, kanan, kiri, dan belakang	<i>Accelerometer</i> berubah kecil, sedangkan <i>gyroscope</i> memberikan respons saat tubuh berputar
Jalan di tempat empat arah	Fluktuasi berulang akibat langkah dan gerakan panggul
Jalan santai berkeliling	Fluktuasi kontinu, relatif teratur, dan beramplitudo sedang
Jalan cepat berkeliling	Fluktuasi lebih rapat karena frekuensi langkah meningkat
Berlari berkeliling	Menghasilkan amplitudo dan kerapatan sinyal paling tinggi
Diam menghadap depan	<i>Accelerometer</i> lebih stabil dan <i>gyroscope</i> mendekati nol

Berdasarkan data hasil pengujian tabel 4.1 diatas, *accelerometer* lebih jelas menunjukkan perubahan intensitas, langkah, dan hentakan gerakan, sedangkan *gyroscope* lebih jelas menunjukkan perubahan rotasi dan orientasi sensor. Perbedaan antara jalan santai, jalan cepat, dan berlari dapat diamati dari amplitudo

serta kerapatan fluktuasinya. Semakin tinggi intensitas gerakan, semakin besar dan rapat perubahan nilai yang dihasilkan. Pada pengujian perubahan arah hadap depan, kiri, kanan dan belakang, untuk *gyroscope* memberikan respons ketika peserta melakukan putaran menuju arah depan, kanan, kiri, atau belakang. Setelah proses putaran selesai dan peserta kembali diam, nilai *gyroscope* cenderung mendekati nol. Hal tersebut menunjukkan bahwa *gyroscope* dapat mendeteksi adanya perubahan rotasi, tetapi tidak menunjukkan posisi arah hadap secara tetap ketika sensor sudah tidak mengalami putaran.

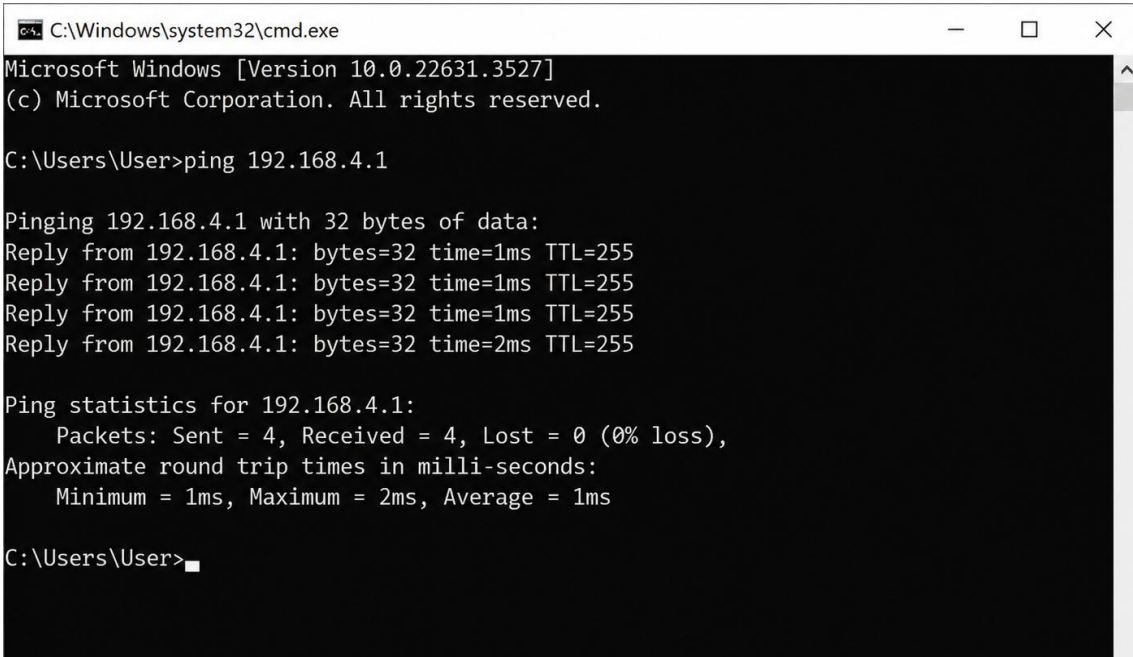
Secara keseluruhan, sensor MPU-6050 mampu merespons setiap pola gerakan yang diuji. Kondisi diam dan bergerak dapat dibedakan dari kestabilan sinyal, sedangkan perbedaan intensitas gerakan dapat diamati melalui amplitudo dan kerapatan perubahan pada *accelerometer* dan *gyroscope*.

4.2 Pengujian Komunikasi *Client Server*

Pada pengujian komunikasi *client server* ini dilakukan untuk mengetahui kelancaran komunikasi data dan cakupan area terhadap perangkat yang digunakan dalam system penilaian senam SKJ 2021 secara otomatis ini. Perangkat yang digunakan terdiri dari 3 macam yaitu *transmitter*, *server* dan aplikasi android. Pada *transmitter* terdiri dari sensor MPU 6050, mikrokontroler ESP32 D1 mini dan baterai litium yang bertindak sebagai *client*. *Transmitter* ini bertugas mencatat dan merekam semua pergerakan senam SKJ 2021 ke dalam 6 komponen meliputi data *accelerometer* dan *gyroscope* masing-masing sumbu XYZ. Perangkat berikutnya yaitu aplikasi android yang berfungsi untuk melakukan tugas komputasi data untuk algoritma *downsampling* dengan metode *average pooling*, *moving average*, normalisasi Min-Max, serta RMSE untuk data sensor serta sebagai antarmuka ke pengguna saat melakukan aktivitas senam SKJ 2021 yang diiringi oleh lagu. Perangkat terakhir yaitu *Server* yang terdiri dari mikrokontroler ESP32, panel *display* led matrix P10, dan *power supply* SMPS 5V. Perangkat *server* ini berfungsi sebagai penyedia jaringan WiFi *access point* yang menyediakan SSID jaringan sekaligus berfungsi sebagai jembatan komunikasi data antara aplikasi android dan *transmitter* serta menampilkan informasi dalam panel *display* led matrix P10.

Untuk mengetahui semua perangkat tersebut dapat berfungsi dengan baik perlu dilakukan pengujian komunikasi data sehingga dapat memastikan data dapat

dikirimkan tanpa mengalami penurunan kualitas dan kuantitas. Pengujian pertama yang dilakukan yaitu melakukan ping terhadap perangkat mikrokontroler ESP32 D1 mini yang berfungsi sebagai *server*. Pada pengujian diperlukan perangkat komputer untuk mengetahui kualitas dan kuantitas data yang dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 D1 mini. Pengujian dilakukan melalui perintah ping ke alamat IP ESP32 D1 mini tersebut dengan yaitu 192.168.4.1 sehingga dapat memberikan respon yang dapat dilihat secara langsung pada komputer melalui jaringan WiFi. Hasil pengujian proses ping dapat ditunjukkan pada gambar 4.3. berikut



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.22631.3527]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\User>ping 192.168.4.1

Pinging 192.168.4.1 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=2ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.4.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 2ms, Average = 1ms

C:\Users\User>

```

Gambar 4.3 Pengujian komunikasi WiFi ESP32 D1 mini melalui perintah ping

Pada gambar 4.3 tersebut menunjukkan bahwa data dapat dikirimkan dengan lancar tanpa mengalami kendala karena nilai loss menunjukkan 0% dengan waktu kurang dari 2 ms. Sehingga dengan pengujian ini perangkat tersebut dapat digunakan untuk pengiriman paket data dari 6 komponen sensor MPU6050.

Pengujian komunikasi berikutnya yaitu dilakukan dengan melihat nilai RSSI (Received Signal Strength Indicator) antara kedua ESP32 D1 mini. Pada pengujian ini dilakukan dari jarak terdekat sampai jarak 6,5 meter untuk mengetahui batas komunikasi data yang dapat dilakukan antara kedua perangkat tersebut. Hasil pengujian komunikasi data ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Pengujian nilai RSSI terhadap kedua perangkat ESP32 D1 mini

No.	Jarak (cm)	Kekuatan signal (dBm)	Keterangan
1	0	-1	Koneksi lancar
2	10	-18	Koneksi lancar
3	20	-24	Koneksi lancar
4	30	-30	Koneksi lancar
5	40	-46	Koneksi lancar
6	50	-55	Koneksi lancar
7	100	-58	Koneksi lancar
8	150	-61	Koneksi lancar
9	200	-63	Koneksi lancar
10	250	-69	Koneksi lancar
11	300	-70	Koneksi lancar
12	350	-71	Koneksi lancar
13	400	-73	Koneksi lancar
14	450	-74	Koneksi lancar
15	500	-76	Koneksi lancar
16	550	-85	Data terjadi <i>delay</i>
17	600	-85	Data sering putus dan menyambung kembali
18	650	Data tidak terkirim	Data terputus total

Pada tabel 4.2 tersebut menunjukkan bahwa komunikasi data yang baik hanya dapat dilakukan antar perangkat dengan jarak maksimum 5 meter supaya perangkat dapat berkomunikasi dengan lancar tanpa ada gangguan komunikasi. Sehingga nilai tersebut dapat digunakan sebagai batas maksimum jangkauan perangkat yang dapat digunakan saat melakukan aktivitas penilaian senam secara otomatis.

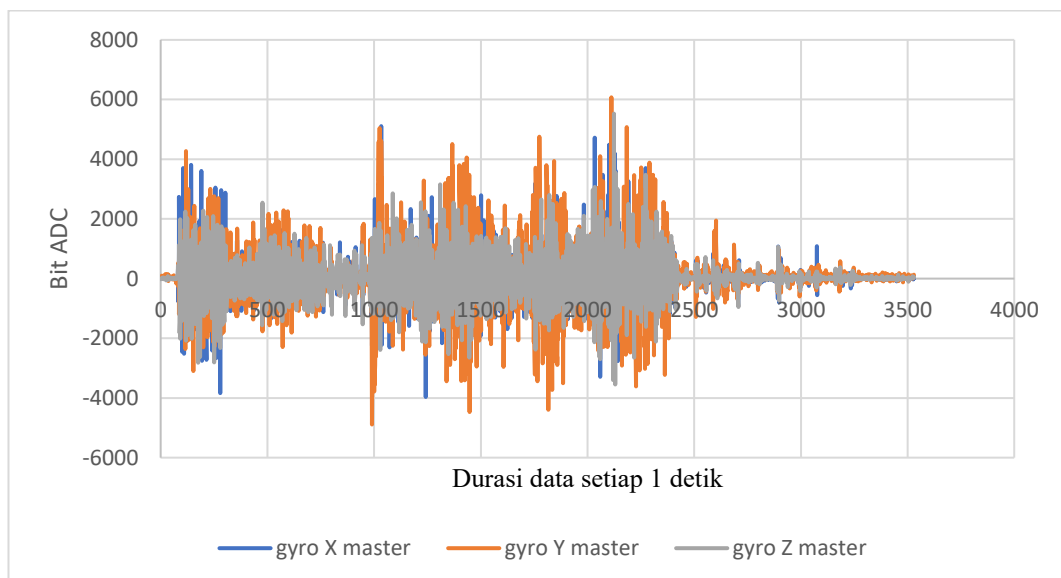
4.3 Pengujian Algoritma Pengolahan Data

Pada pengujian ini dilakukan pengujian terhadap semua algoritma pengolahan data yang digunakan meliputi *Downsampling* dengan metode *Average pooling*, *Moving average*, Normalisasi data dan perhitungan RMSE. Untuk

referensi data dapat menggunakan data master hasil uji senam irama SKJ 2021 sebagai acuan yaitu data *accelerometer* dan data *gyroscope* dari masing-masing komponen XYZ sensor MPU 6050 pada saat melakukan aktivitas senam irama SKJ 2021 yang diperoleh dari satu subjek yang melakukan rangkaian gerakan SKJ 2021 dan digunakan sebagai data referensi dalam sistem. Subjek yang sama juga digunakan dalam pengambilan data peserta uji. Data master tersebut belum melalui proses kalibrasi atau validasi terhadap standar penilaian instruktur maupun juri senam. Oleh karena itu, data master dalam penelitian ini digunakan sebagai referensi internal untuk menguji kemampuan sistem dalam membandingkan pola data, bukan sebagai standar baku kualitas gerakan senam. Data master hasil gerakan SKJ 2021 terdiri atas enam komponen data, yaitu *accelerometer* sumbu X, Y, dan Z serta *gyroscope* sumbu X, Y, dan Z. Pengambilan data mentah dilakukan selama kurang lebih 6 menit dan menghasilkan sekitar 3530 sampel pada masing-masing komponen sensor. Data mentah tersebut disimpan sebagai data referensi, kemudian melalui tahapan pengolahan berupa *downsampling* menggunakan metode *average pooling*, *moving average*, dan normalisasi Min-Max. Pada proses *downsampling* dengan faktor 10, setiap 10 data mentah dirata-ratakan menjadi satu data baru sehingga jumlah data berkurang dari sekitar 3530 sampel menjadi 353 data. Proses *moving average* dan normalisasi Min-Max selanjutnya dilakukan terhadap 353 data tersebut tanpa mengurangi jumlah datanya. Data hasil pengolahan kemudian digunakan sebagai data master pada aplikasi untuk dibandingkan dengan data peserta uji. Data master disimpan dalam format berkas teks (.txt) agar dapat dimuat dan digunakan oleh aplikasi dalam proses perhitungan RMSE. Hasil pengambilan data sensor MPU 6050 pada aktivitas senam SKJ 2021 sebagai data master untuk *accelerometer* dan *gyro* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan 4.5 berikut ini



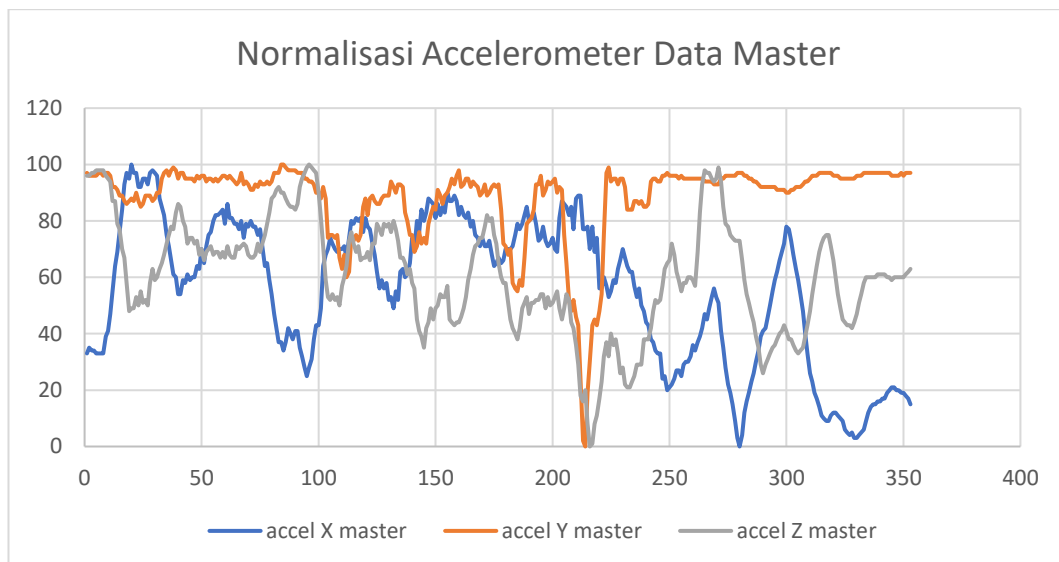
Gambar 4.4 Grafik *accelerometer* MPU 6050 yang digunakan sebagai data master SKJ 2021



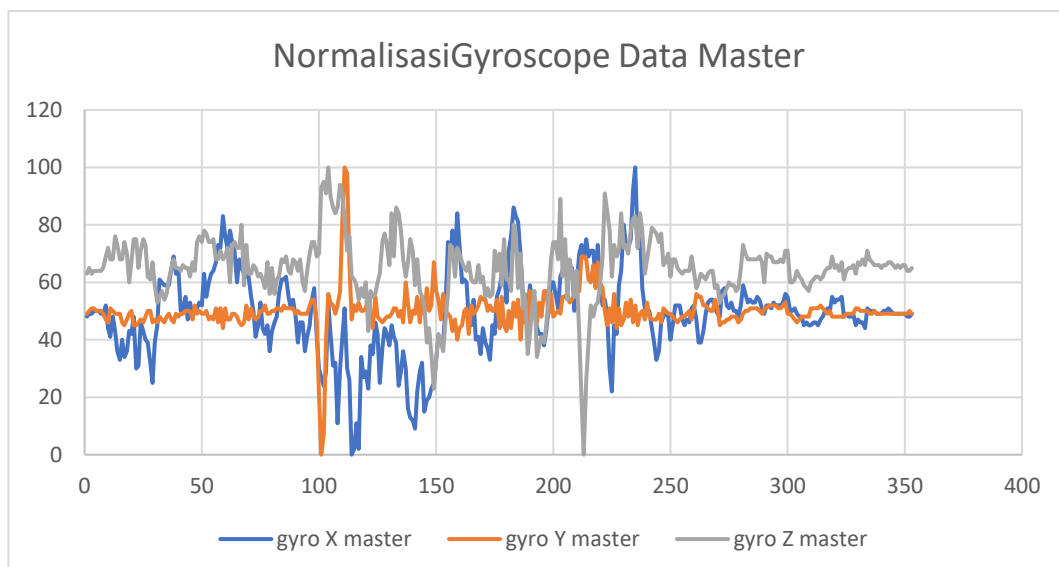
Gambar 4.5 Grafik gyro MPU 6050 yang digunakan sebagai data master SKJ 2021

Pada gambar 4.4 dan Gambar 4.5 tersebut menunjukkan nilai asli sensor MPU 6050 yang meliputi 3 komponen masing-masing untuk *accelerometer* dan gyro tanpa melalui tahapan proses algoritma pengolahan data. Adapun data yang diperoleh selama proses perekaman data untuk senam irama SKJ 2021 yang dilakukan dengan durasi 6 menit diperoleh jumlah sekitar 3530 data yang disimpan dalam memori sementara mikrokontroler ESP32 D1 mini yang kemudian diambil

melalui komputer menggunakan jaringan WiFi. Untuk mempermudah proses pengolahan dan penyimpanan data pada aplikasi, data pada sensor tersebut selanjutnya diolah melalui algoritma *downsampling* dengan metode average poling, *moving average* dan normalisasi sehingga menghasilkan grafik setiap 1 detik dengan *range* nilai 0 sampai 100 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan 4.7 berikut ini



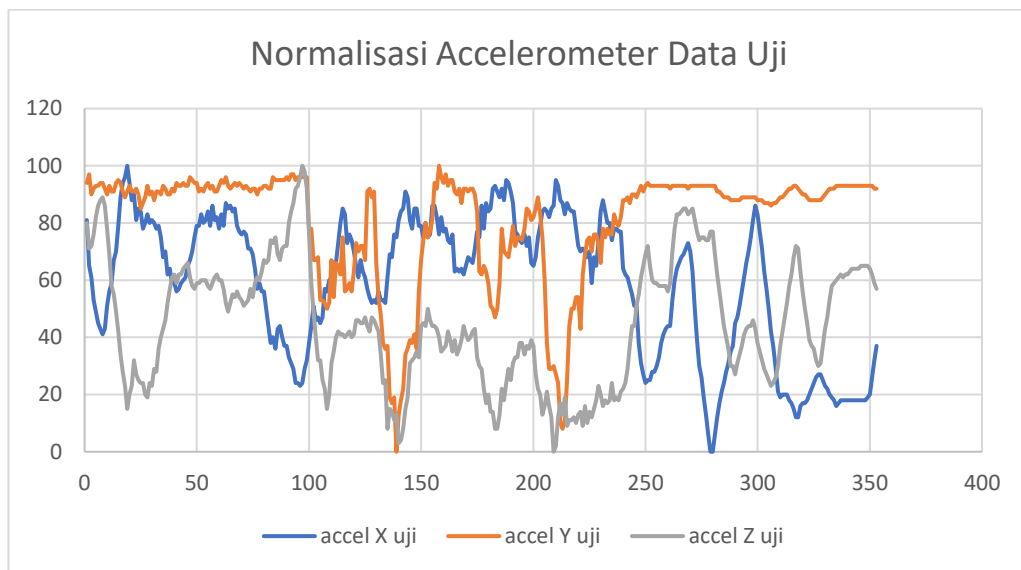
Gambar 4.6 Grafik normalisasi *accelerometer* MPU 6050 data master SKJ 2021



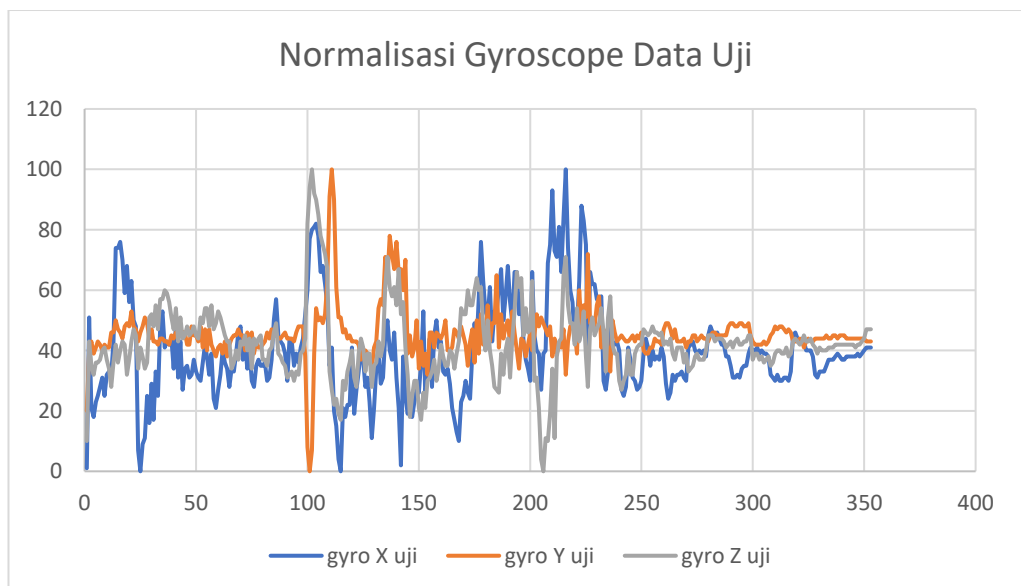
Gambar 4.7 Grafik normalisasi gyro MPU 6050 data master SKJ 2021

Pada Gambar 4.6 dan 4.7 tersebut menunjukkan data normalisasi *accelerometer* dan gyro terhadap masing-masing sumbu XYZ yang digunakan

referensi atau acuan penilaian terhadap data peserta uji yang selanjutnya akan dilakukan proses perhitungan nilai melalui RMSE untuk menghitung *score* nilai akhir. Sebagai perhitungan nilai RMSE pada gambar 4.8 dan 4.9 berikut ini adalah contoh data uji sampel yang telah dilakukan pengujian aktivitas senam SKJ 2021 sesuai irama dan pergerakan yang telah melalui proses *downsampling* dengan metode *average pooling*, *moving average* dan normalisasi seperti data master SKJ 2021.



Gambar 4.8 Grafik normalisasi *accelerometer* MPU 6050 data peserta uji SKJ 2021

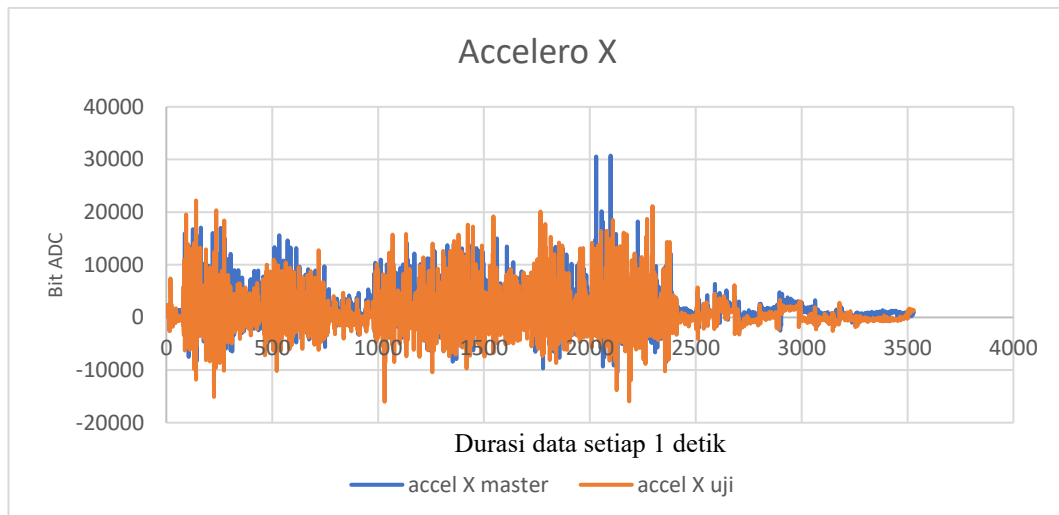


Gambar 4.9 Grafik normalisasi gyro MPU 6050 data peserta uji SKJ 2021

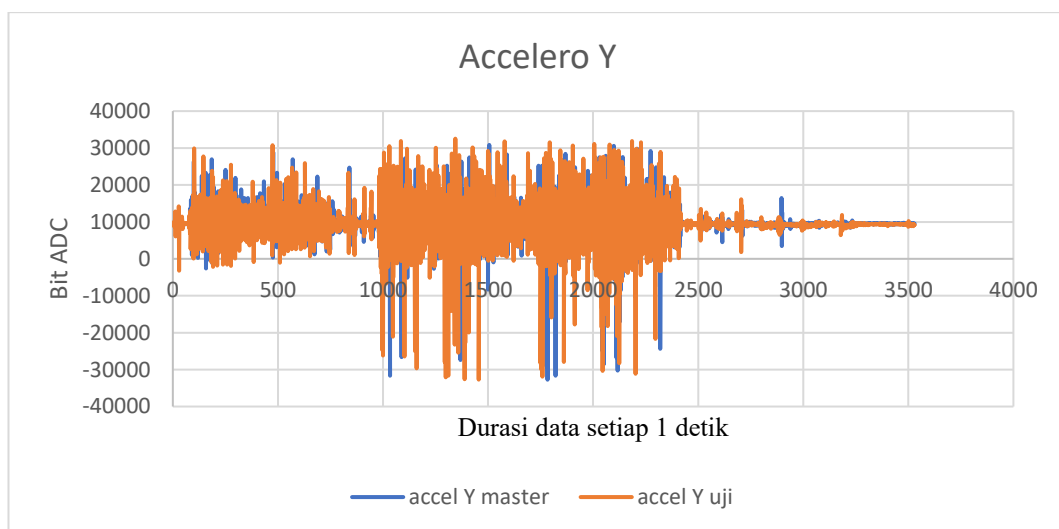
Pada grafik peserta uji gambar 4.8 dan 4.9 tersebut dapat dilihat bahwa antara peserta uji dan data master memang memiliki beberapa perbedaan, namun tetap memiliki pola pergerakan yang sama antara grafik pada data master dan grafik peserta uji. Perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor seperti ketepatan pergerakan saat irama senam, perbedaan gerakan atau adanya sedikit ketidaksesuaian saat melakukan aktivitas seperti langkah kaki atau intensitas pergerakan kaki mengingat senam irama SKJ 2021 banyak pergerakan yang menitik beratkan pada langkah kaki dan perputaran tubuh peserta yang menyebabkan sudut berbeda. Namun hasil pengujian yang telah dilakukan melalui perhitungan RMSE tetap memperoleh hasil yang sesuai harapan yaitu mendapatkan nilai RMSE rata-rata sebesar 17,1 sehingga jika dikalkulasikan kedalam point *score* menghasilkan nilai sebesar 82,9 nuntuk uji peserta senam irama SKJ 2021.

1.3.1 Perbandingan Data Mentah Master dan Data Peserta Uji

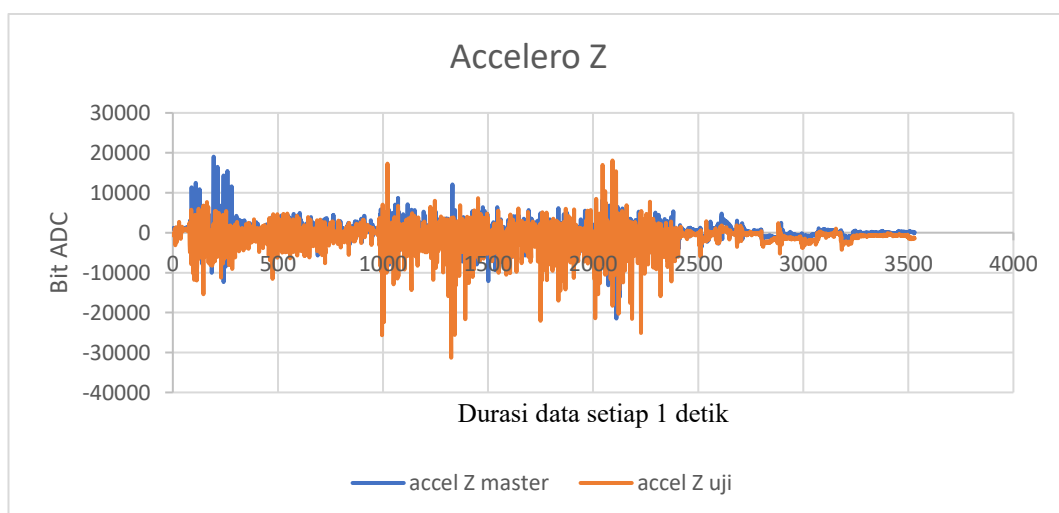
Sebelum dilakukan proses pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan perbandingan antara data mentah yang diperoleh dari master dengan data mentah peserta uji. Perbandingan dilakukan pada enam komponen sensor MPU-6050, yaitu *accelerometer* sumbu X, Y, dan Z serta *gyroscope* sumbu X, Y, dan Z. Data master dan data peserta uji pada masing-masing sumbu ditampilkan dalam satu grafik sehingga perubahan nilai dan pola gerakan keduanya dapat diamati secara langsung. Data yang dibandingkan pada tahap ini masih berupa hasil pembacaan asli sensor dengan jumlah sekitar 3530 sampel dan belum melalui proses *downsampling*, *moving average*, maupun normalisasi. Penyajian grafik data mentah ini digunakan untuk memberikan gambaran awal mengenai perbedaan maupun kemiripan pola gerakan peserta terhadap gerakan yang digunakan sebagai data master.

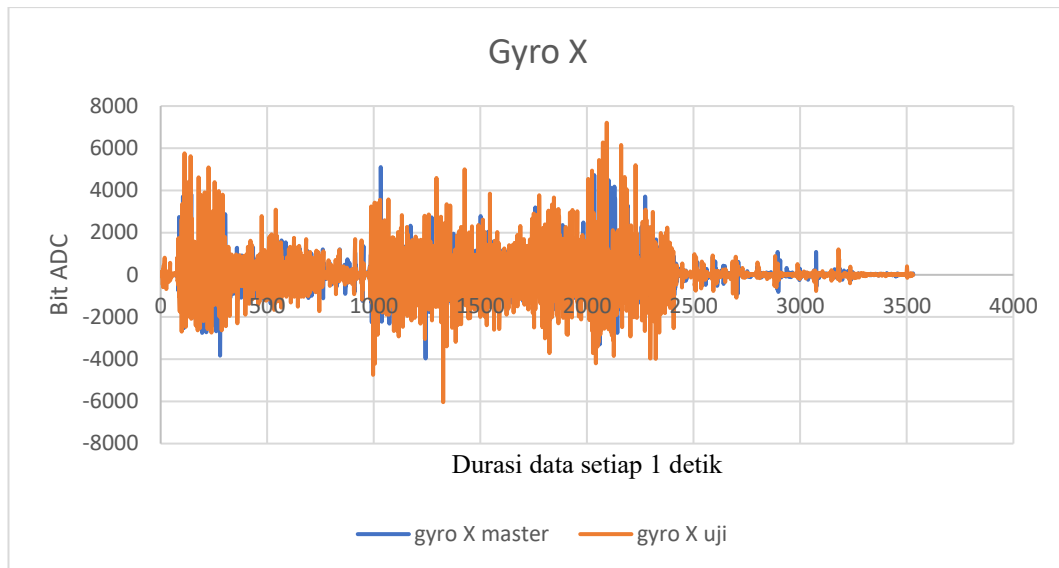
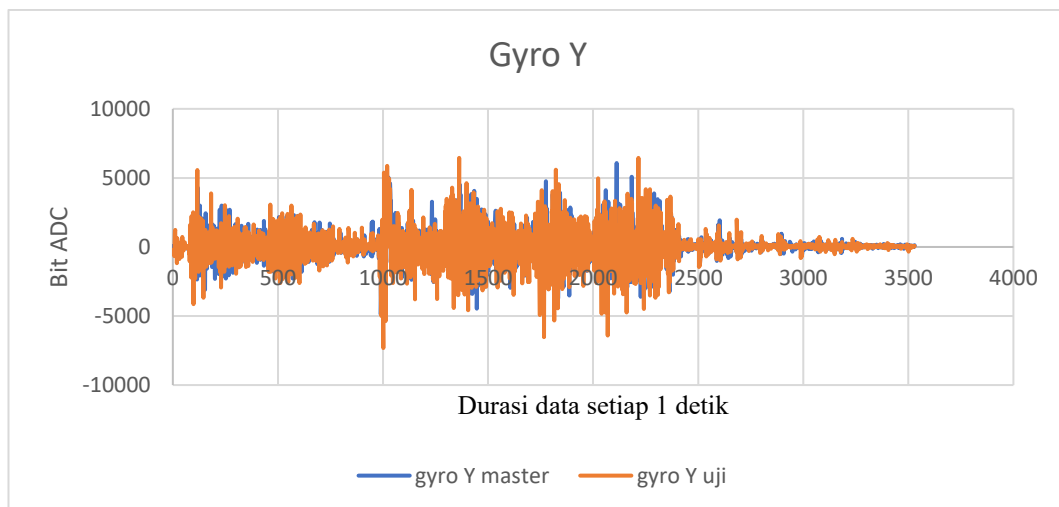


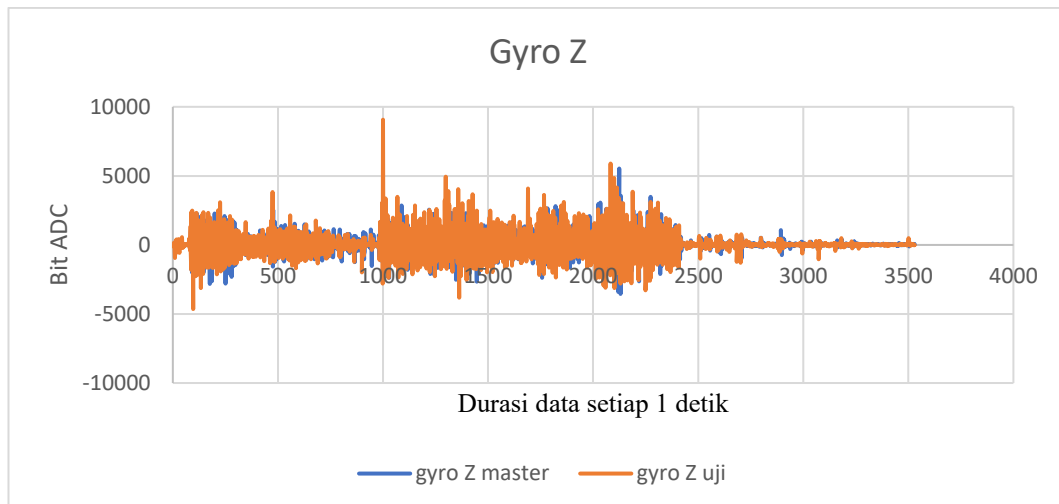
Gambar 4.10 Grafik perbandingan data mentah *Accelerometer* sumbu X



Gambar 4.11 Grafik perbandingan data mentah *Accelerometer* sumbu Y



Gambar 4.12 Grafik perbandingan data mentah *Accelerometer* sumbu Z**Gambar 4.13** Grafik perbandingan data mentah *Gyroscope* sumbu X**Gambar 4.14** Grafik perbandingan data mentah *Gyroscope* sumbu Y



Gambar 4.15 Grafik perbandingan data mentah *Gyroscope* sumbu Z

Berdasarkan grafik perbandingan data mentah antara data master dan data peserta uji pada masing-masing sumbu, secara umum terlihat bahwa pola perubahan data peserta masih mengikuti kecenderungan data master, meskipun terdapat perbedaan pada beberapa bagian berupa perubahan amplitudo dan munculnya beberapa puncak (*spike*). Pada data *accelerometer*, perubahan paling besar terlihat pada sumbu Y. Sumbu ini memiliki rentang perubahan yang lebih lebar dibandingkan sumbu X dan Z, terutama pada bagian tengah pengambilan data sekitar indeks 1000 sampai 2400. Pada bagian tersebut terlihat beberapa perubahan tajam baik ke arah positif maupun negatif. Kondisi ini menunjukkan bahwa gerakan yang direpresentasikan pada sumbu Y memberikan pengaruh cukup besar terhadap pembacaan percepatan selama aktivitas senam. Sementara itu, *accelerometer* sumbu X juga mengalami perubahan yang cukup besar, namun pola master dan peserta uji masih terlihat saling mengikuti pada sebagian besar bagian. Pada sumbu Z, perbedaan yang cukup jelas terutama terlihat pada beberapa penurunan nilai peserta uji yang lebih besar dibandingkan data master, khususnya pada bagian pertengahan gerakan.

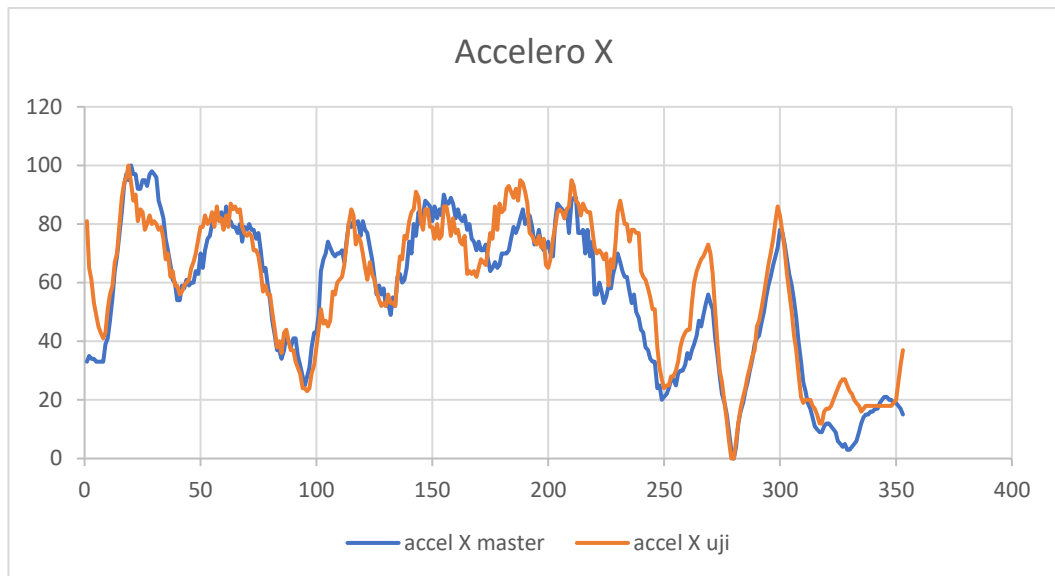
Pada data *gyroscope*, perubahan menunjukkan karakteristik rotasi atau kecepatan sudut selama peserta melakukan gerakan. Dari ketiga sumbu *gyroscope*, sumbu Y menunjukkan perubahan yang cukup besar dan berlangsung pada rentang data yang lebih panjang, terutama pada bagian sekitar indeks 1000 hingga 2400. Pada bagian ini terdapat perubahan positif dan negatif yang relatif besar, yang menunjukkan adanya aktivitas rotasi atau perubahan orientasi yang cukup dominan.

Gyroscope sumbu X juga menunjukkan beberapa puncak perubahan yang besar, terutama pada bagian sekitar indeks 2000, sedangkan sumbu Z memiliki salah satu puncak positif paling tinggi, yaitu pada sekitar indeks 1000, tetapi perubahan tersebut lebih bersifat sesaat dibandingkan sumbu Y yang mengalami fluktuasi lebih luas.

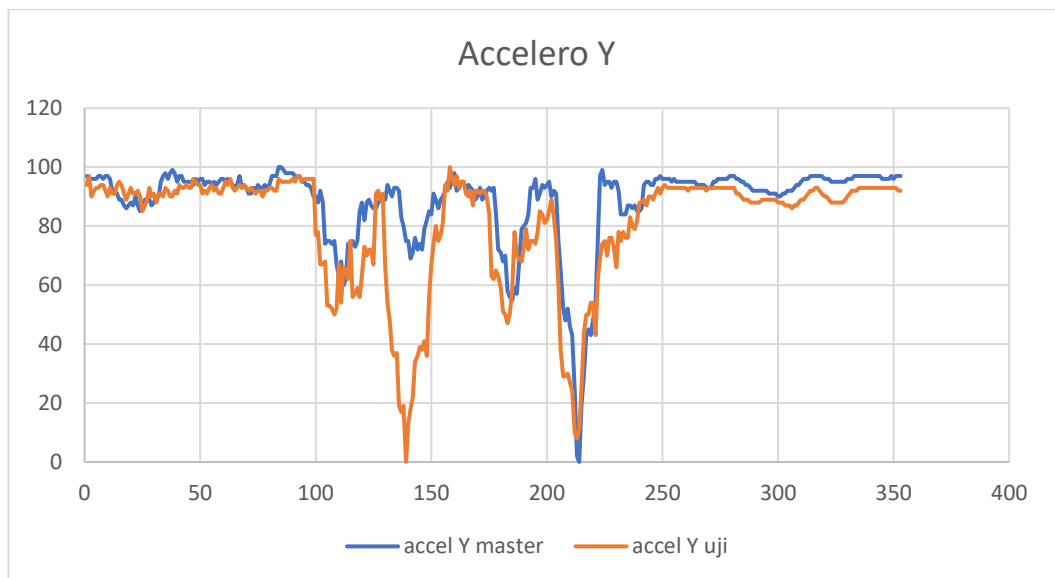
Jika dibandingkan secara keseluruhan, *accelerometer* sumbu Y dapat dikatakan sebagai sumbu percepatan yang paling banyak mengalami perubahan, sedangkan pada *gyroscope*, sumbu Y menunjukkan fluktuasi rotasi yang paling dominan secara keseluruhan, walaupun *gyroscope* Z memiliki puncak sesaat yang lebih tinggi pada salah satu bagian data. Perbedaan antara data master dan peserta uji dapat terjadi karena gerakan peserta tidak mungkin dilakukan secara identik dengan master, baik dari sisi intensitas langkah, hentakan, kecepatan perubahan gerak, maupun perubahan orientasi tubuh. Namun, karena pola umum kedua data masih menunjukkan kecenderungan yang serupa, data tersebut selanjutnya perlu melalui proses *downsampling* dengan metode *average pooling*, *moving average*, dan normalisasi Min-Max sebelum dilakukan perbandingan menggunakan RMSE.

1.3.2 Perbandingan Hasil Pengolahan Data

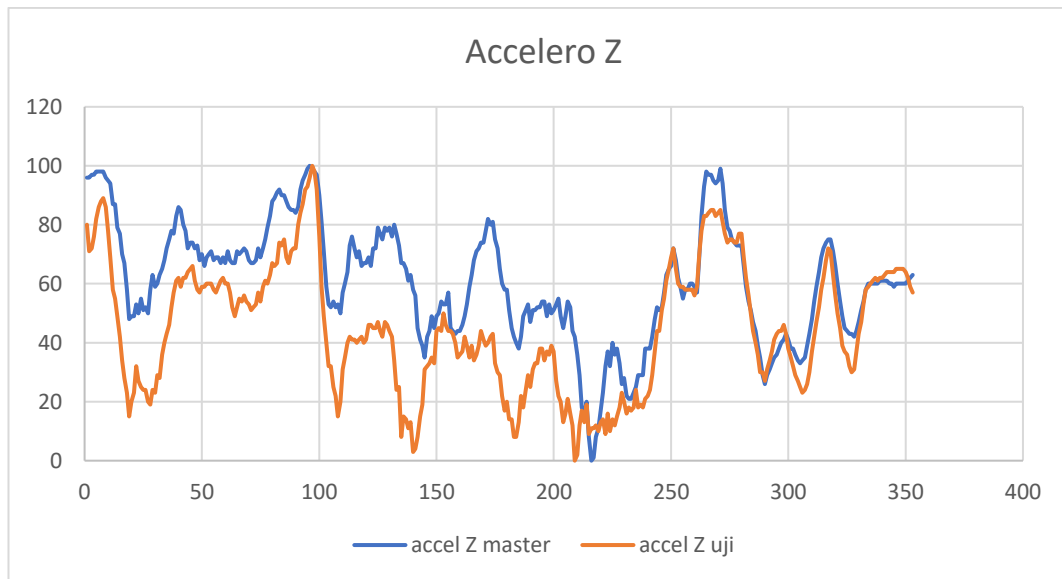
Setelah dilakukan perbandingan pada data mentah, data master dan data peserta uji selanjutnya melalui tahapan algoritma pengolahan data sebelum digunakan dalam proses perhitungan nilai. Tahapan pengolahan dimulai dengan *downsampling* menggunakan metode *average pooling* untuk mengurangi jumlah data, kemudian dilanjutkan dengan *moving average* untuk menghaluskan perubahan data, serta normalisasi Min-Max untuk menyamakan rentang nilai masing-masing komponen sensor. Proses tersebut diterapkan pada *accelerometer* sumbu X, Y, dan Z serta *gyroscope* sumbu X, Y, dan Z baik pada data master maupun data peserta uji. Setelah melalui tahapan pengolahan, data berada pada rentang nilai 0 sampai 100 sehingga dapat digunakan pada tahap perbandingan selanjutnya dan perhitungan RMSE terhadap data master.



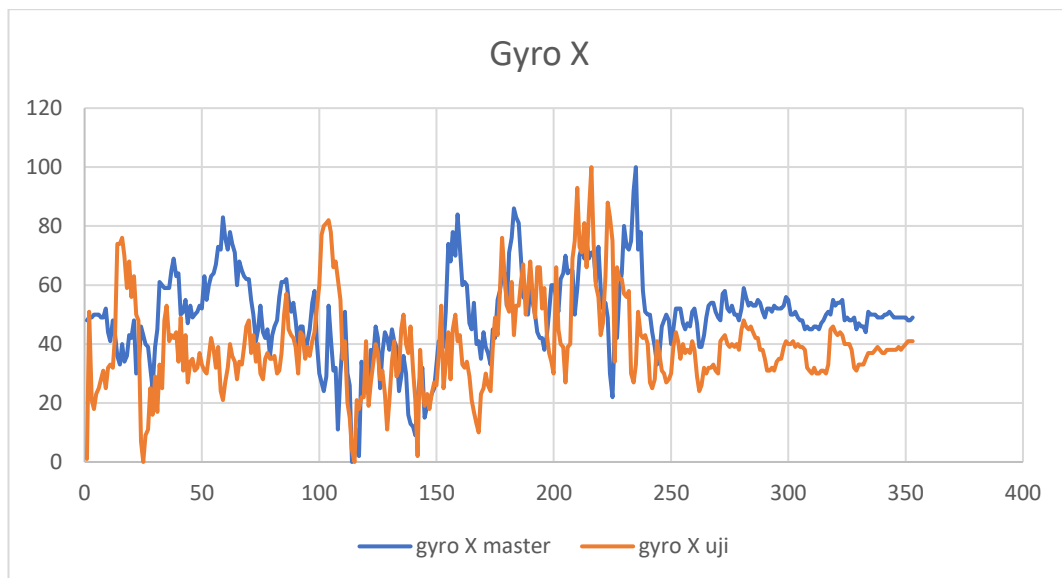
Gambar 4.16 Grafik perbandingan data hasil normalisasi *Accelerometer* sumbu X



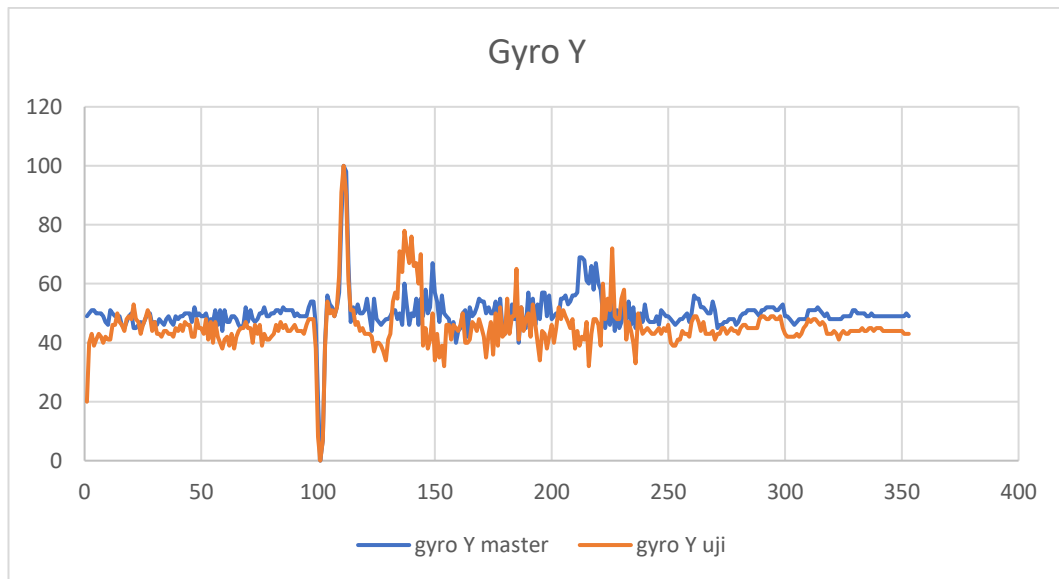
Gambar 4.17 Grafik perbandingan data hasil normalisasi *Accelerometer* sumbu Y



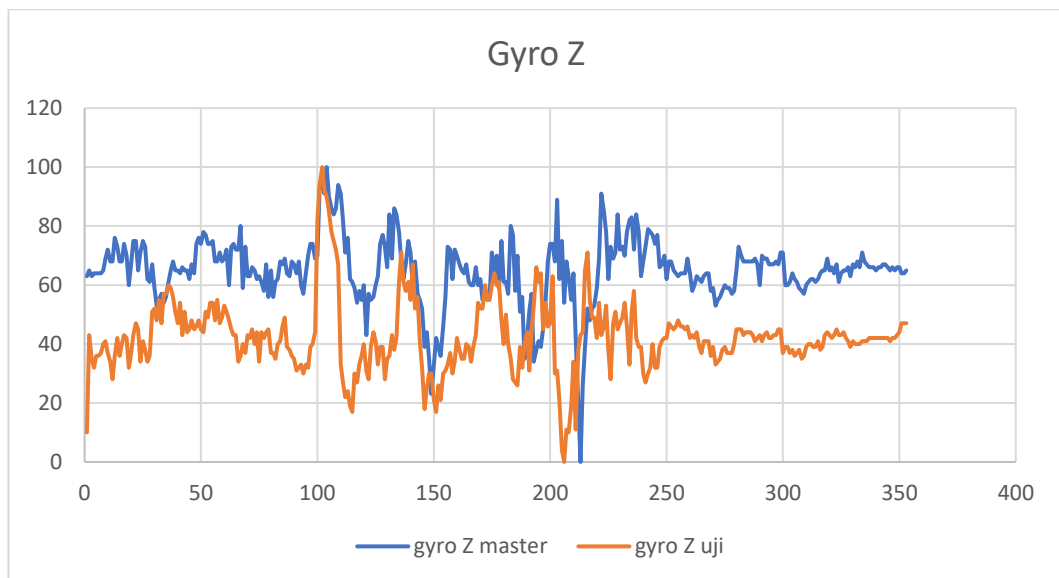
Gambar 4.18 Grafik perbandingan data hasil normalisasi *Accelerometer* sumbu Z



Gambar 4.19 Grafik perbandingan data hasil normalisasi *Gyroscope* sumbu X



Gambar 4.20 Grafik perbandingan data hasil normalisasi *Gyroscope* sumbu Y



Gambar 4.21 Grafik perbandingan data hasil normalisasi *Gyroscope* sumbu Z

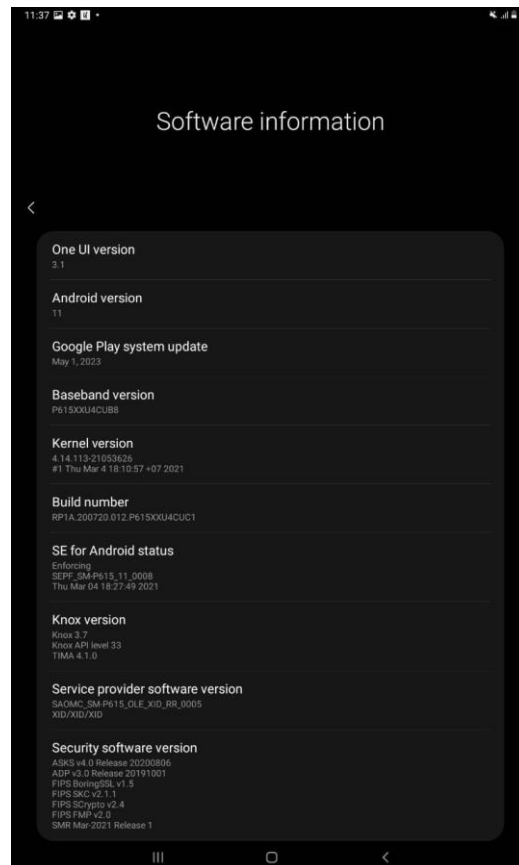
Berdasarkan grafik perbandingan data master dan peserta uji setelah melalui proses pengolahan, pola pada masing-masing sumbu terlihat lebih halus dan berada pada rentang yang sama sehingga perbedaan antara kedua data dapat diamati dengan lebih jelas. Pada *accelerometer* sumbu X, pola data peserta secara umum masih mengikuti data master dengan beberapa perbedaan nilai pada bagian tertentu. Pada sumbu Y, sebagian besar pola juga berdekatan, namun terdapat perbedaan yang cukup besar pada beberapa titik, terutama sekitar indeks 130–150 dan 200–220 ketika nilai peserta mengalami penurunan lebih dalam dibandingkan data

master. Sementara itu, *accelerometer* sumbu Z menunjukkan perbedaan yang relatif lebih besar dan berlangsung pada rentang yang lebih panjang, khususnya sekitar indeks 110–240, ketika nilai peserta cenderung lebih rendah dibandingkan data master.

Pada data *gyroscope*, sumbu X masih menunjukkan kecenderungan pola yang serupa meskipun terdapat beberapa perbedaan amplitudo, terutama pada bagian tengah dan akhir data. *Gyroscope* sumbu Y memiliki pola yang paling berdekatan secara umum, tetapi terdapat perubahan sesaat yang cukup besar di sekitar indeks 100. Adapun *gyroscope* sumbu Z menunjukkan perbedaan yang cukup konsisten, dengan nilai peserta yang pada sebagian besar bagian berada lebih rendah dibandingkan data master. Dengan demikian, setelah proses pengolahan, kemiripan pola antara data master dan peserta masih dapat terlihat, tetapi besarnya perbedaan pada setiap sumbu tidak sama. Pada *accelerometer*, perbedaan yang cukup menonjol terlihat pada sumbu Z, sedangkan pada *gyroscope* terlihat pada sumbu Z. Perbedaan tersebut selanjutnya dihitung secara numerik menggunakan RMSE untuk mengetahui besar penyimpangan antara data peserta dan data master

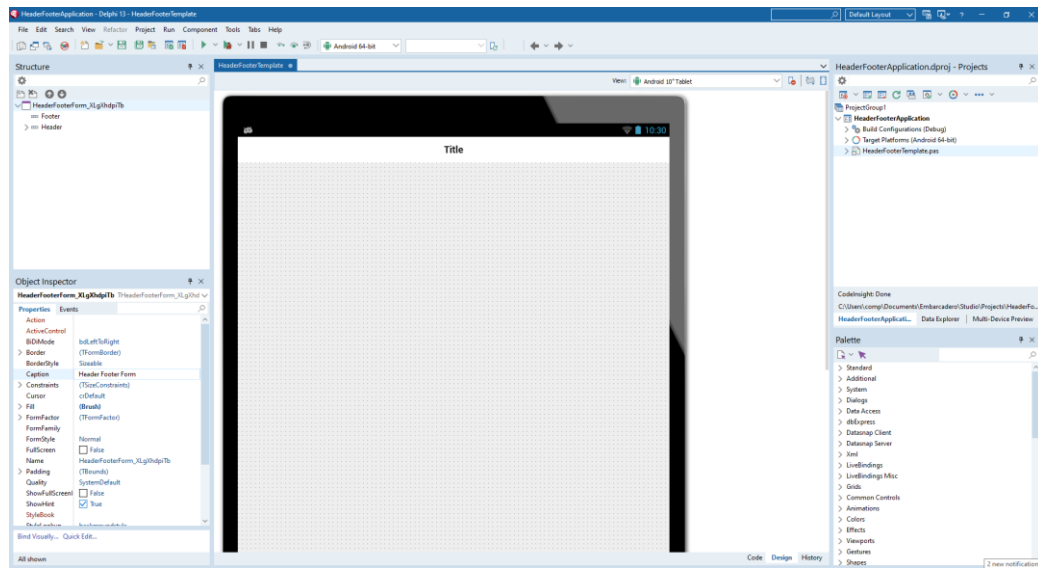
4.4 Pengujian Aplikasi Android dan Pengolahan Score

Pada penilaian senam secara otomatis ini memanfaatkan salah satu perangkat *mobile* berbasis sistem operasi android sehingga untuk antarmuka dibuat dengan menggunakan aplikasi Firemonkey Embarcadero Delphi 12 yang mendukung untuk sistem operasi perangkat *mobile* Android versi 10 hingga 12. Firemonkey Delphi sendiri merupakan salah satu perangkat lunak pengembang aplikasi multi platform yang mendukung system operasi android sehingga dapat install dan dijalankan di semua merek perangkat *mobile* dengan versi sistem operasi android yang sesuai. Untuk antarmuka sistem penilaian senam ini menggunakan tablet android Samsung galaxy Tab S6 dengan sistem operasi Android versi 11 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.22 berikut.



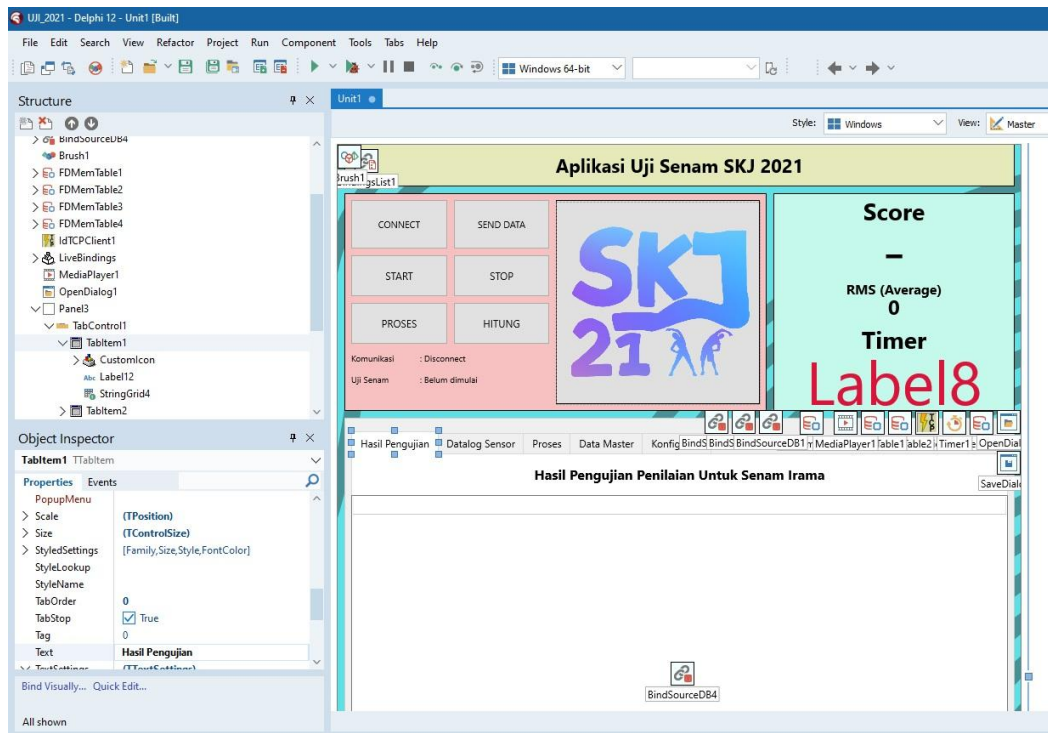
Gambar 4.22 Informasi untuk perangkat tablet Samsung Galaxy S6 yang digunakan

Pembuatan aplikasi antarmuka dilakukan dengan melakukan penyesuaian ukuran tablet Samsung Galaxy Tab S6 dengan layer 10 inchi karena pada tampilan layer akan disediakan beberapa fitur pengaturan, tombol, tabel dan grafik. Untuk desain layar aplikasi juga dibuat *multitab* yaitu dapat menampilkan halaman yang berbeda untuk mengantisipasi menu dan tampilan yang tidak mencukup area layer tablet tersebut. Pada desain aplikasi dibuat ke dalam bentuk *portrait* dan tidak mendukung fitur auto-rotasi supaya bentuk tampilan dan tombol tidak mengalami perubahan atau pergeseran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.23.



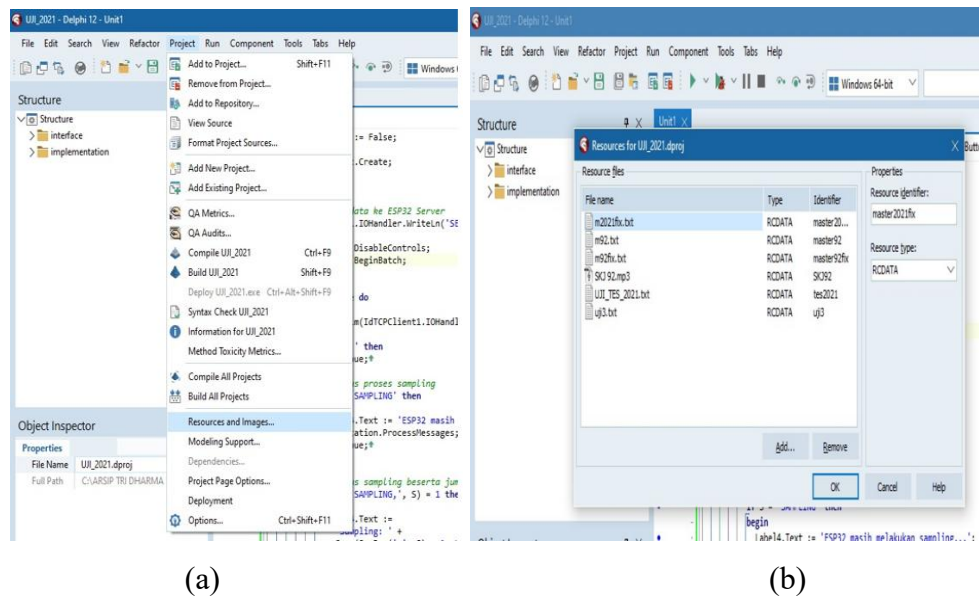
Gambar 4.23 Tampilan aplikasi Firemonkey Embarcadero Delphi

Untuk komunikasi data pada aplikasi antarmuka memanfaatkan metode *Client Server* WiFi melalui protokol TCP (*Transmission Control Protocol*) sehingga pada pembuatan desain aplikasi salah satu komponen pada aplikasi yang berperan penting dalam pengiriman data adalah *IdTCPClient*. Melalui protocol komunikasi data WiFi TCP/IP memungkinkan data dapat dikirimkan secara maksimal dengan *error* atau kesalahan kecil, namun protokol tersebut memiliki kekurangan yaitu proses pengiriman data sedikit lebih lambat daripada menggunakan protokol UDP (*User Datagram Protocol*) sehingga sedikit memerlukan waktu untuk proses pengiriman data. Oleh sebab itu pengiriman data dilakukan setelah aktivitas senam selesai dilakukan sehingga data akan disimpan terlebih dahulu ke dalam memori internal mikrokontroler ESP32 D1 mini saat proses aktivitas senam berlangsung untuk mengantisipasi data yang hilang atau *delay* yang muncul yang dapat menyebabkan waktu perekaman data tidak sinkron antara data master dan data peserta uji peserta. Untuk hasil desain aplikasi antarmuka sistem penilaian senam dapat ditunjukkan pada Gambar 4.24 berikut ini.



Gambar 4.24 Tampilan desain sistem penilaian senam SKJ 2021 secara otomatis

Pada aplikasi ini akan dilakukan algoritma pengolahan data setelah aktivitas senam selesai dilakukan yaitu setelah aktivitas senam selesai maka data sensor *accelerometer* dan gyro yang tersimpan pada transmiter akan dikirimkan melalui *server* dan diteruskan ke aplikasi untuk ditampung dan kemudian diolah. Aplikasi antarmuka yang dibuat sebelumnya telah dimasukkan data master senam SKJ2021 dalam format notepad (.txt) dan musik pengiring lagu senam irama SKJ2021 dalam format mp3 dengan memanfaatkan fitur *Resource* dalam Aplikasi Firemonkey Embarcadero Delphi, sehingga pada saat penggunaan aplikasi tidak perlu lagi mencari atau memasukkan file tambahan untuk data master skj 2021 dan lagu senam irama 2021 secara manual. Pada Gambar 4.25 berikut ini menunjukkan salah satu fitur aplikasi Firemonkey Embarcadero Delphi untuk memasukkan file tambahan ke dalam aplikasi.



Gambar 4.25 (a). Resource file firemonkey delphi (b). Memasukkan data master pergerakan dan lagu

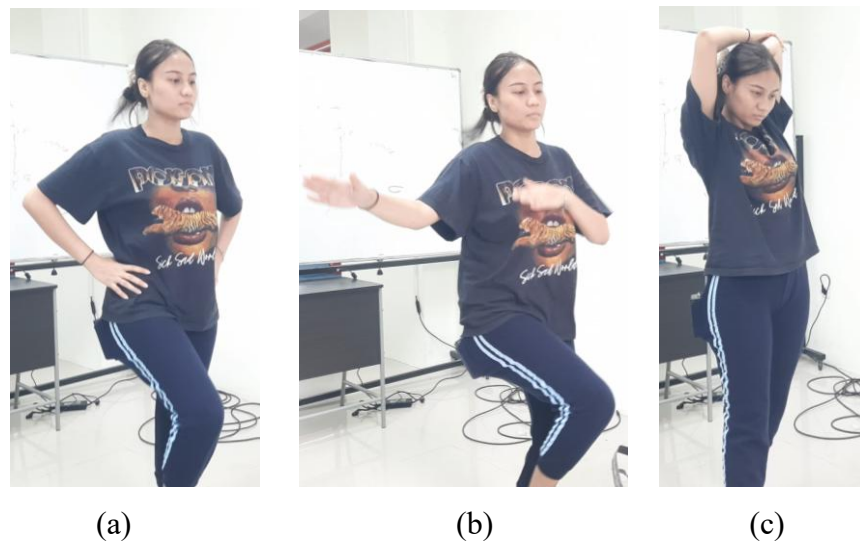
Setelah aplikasi antarmuka dibuat dilakukan pengujian untuk penilaian aktivitas senam SKJ 2021 dengan menggunakan data aktivitas secara langsung oleh peserta uji. Penilaian senam SKJ 2021 ini dilakukan dengan durasi 6 menit yang terdiri dari aktivitas senam pemanasan, inti dan pendinginan. Sehingga hasil pengujian penilaian senam irama SKJ 2021 melalui aplikasi android ditunjukkan pada Gambar 4.26 berikut ini.



Gambar 4.26 Hasil pengujian score nilai SKJ 2021

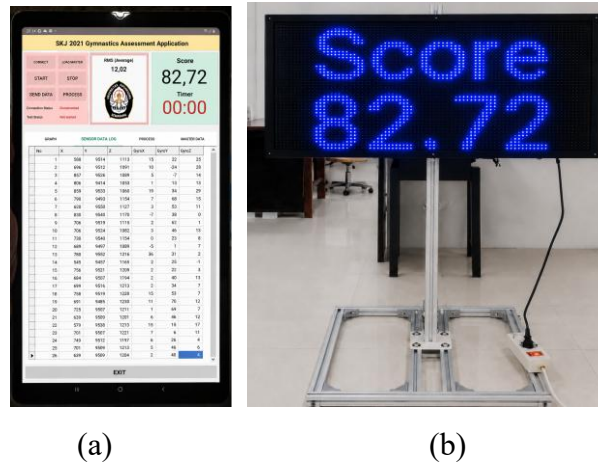
4.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Setelah sistem penilaian secara otomatis selesai dibuat dilakukan pengujian secara keseluruhan. Pengujian keseluruhan tersebut meliputi aktivitas senam SKJ 2021 yang dilakukan oleh peserta uji melalui aplikasi android yang dapat menampilkan hasil nilai dan ditampilkan juga pada *display* layar panel led matrix P10. Adapun pengujian yang dilakukan dengan menjalankan aktivitas senam irama sesuai dengan pola gerakan yang telah direkam data master. Untuk aktivitas senam SKJ 2021 dapat ditunjukkan pada Gambar 4.27 berikut ini



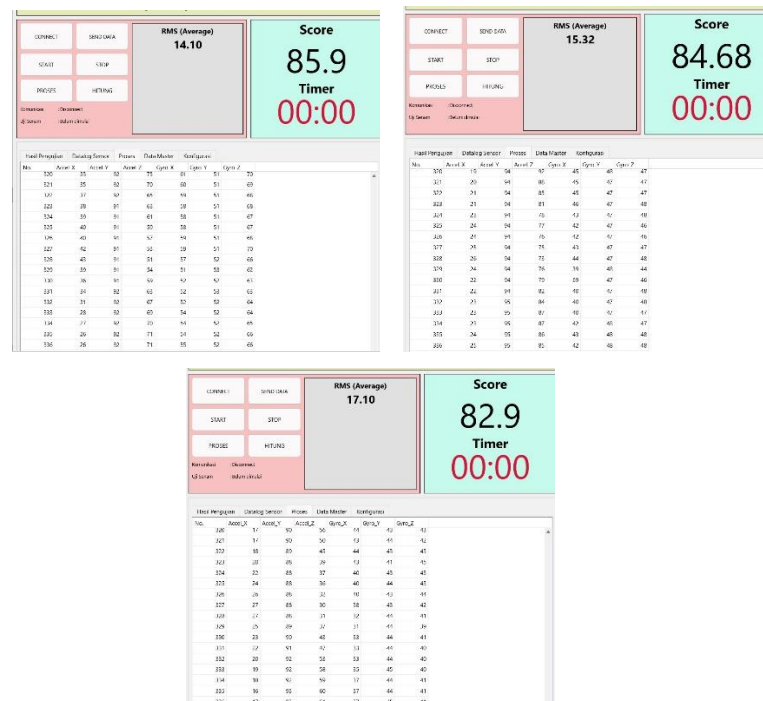
Gambar 4.27 (a) Gerakan pemanasan, (b) Gerakan inti dan (c) Gerakan pendinginan

Sehingga pada penilaian melalui aplikasi dan hasil yang ditampilkan pada *display* layar panel led matrix P10 menunjukkan nilai sebesar 82,72 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 berikut



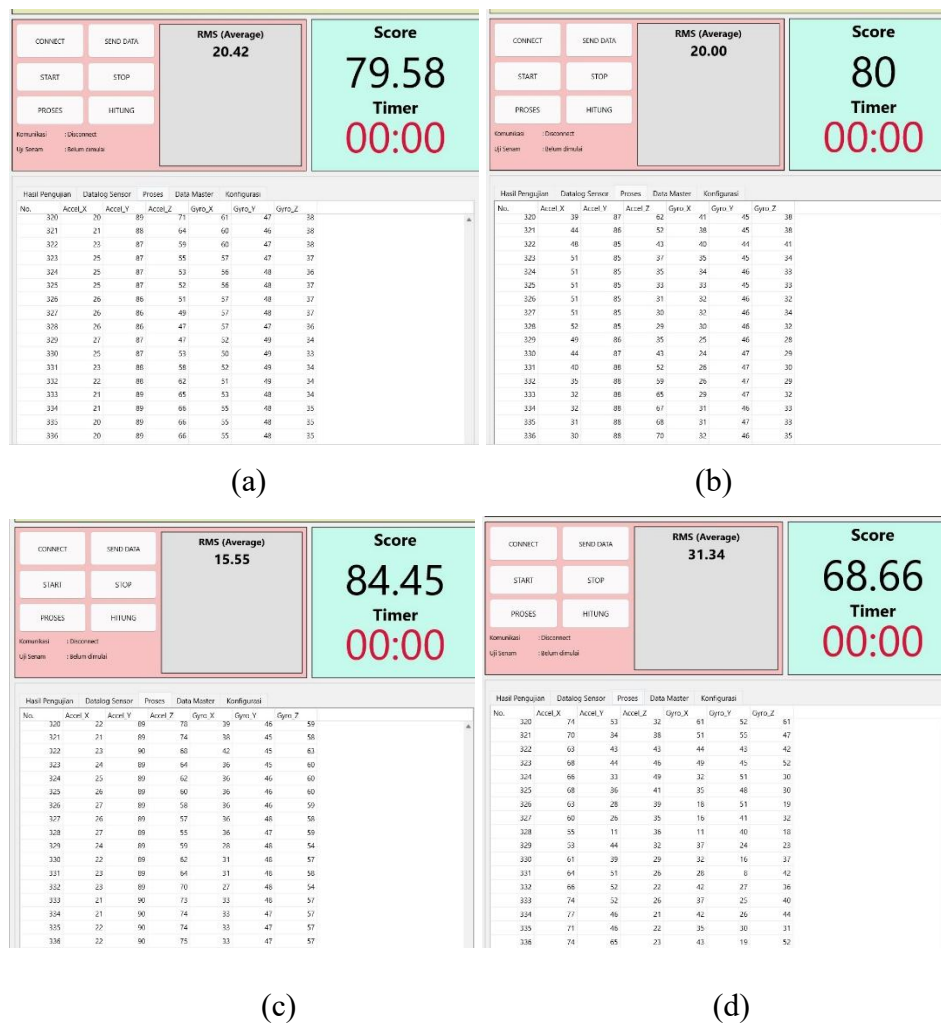
Gambar 4.28 (a) Hasil tampilan layar aplikasi pada tablet Samsung Galaxy Tab S6, (b) Tampilan pada panel Led matrix P10

Untuk memastikan data pengujian senam SKJ 2021 secara otomatis akurat untuk pergerakan yang sesuai maka dilakukan pengulangan pengujian aktivitas senam SKJ 2021 secara otomatis dilakukan ujian selama 3 kali untuk gerakan yang sama dengan arah yang sama. Sehingga hasil pengujian diperoleh nilai masing-masing sebesar 85.9 , 84.68 dan 82.9 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.29 berikut ini.



Gambar 4.29 Pengujian untuk tiga kali gerakan senam SKJ 2021 yang sesuai pola data master

Kemudian sebagai pembanding dilakukan pengujian pula terhadap aktivitas senam dengan arah yang berbeda yaitu arah kiri, kanan dan belakang serta satu buah uji dengan polagerakan senam irama poco-poco dan diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.30 berikut ini.



Gambar 4.30 Pengujian penilaian senam SKJ 2021 terhadap variasi arah (a). Kiri (b). Kanan (c). Belakang, dan (d). Pengujian senam dengan menggunakan pola Gerakan poco-poco

Pada Gambar 4.30 (a), (b) dan (c) menunjukkan bahwa pengujian sistem ini dengan arah pengujian tidak terlalu berpengaruh karena setelah diuji dengan variasi orientasi terhadap arah mulainya aktivitas senam tidak terlalu berpengaruh

sepanjang masih mengikuti pergerakan dan pola arah sesuai data master. Sedangkan data pada Gambar 4.30 (d) menunjukkan nilai yang kecil dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan karena tidak mengikuti ritme atau alur pola sesuai dengan data master karena menggunakan Gerakan senam poco-poco. Dari pengujian ini telah berhasil menunjukkan bahwa sistem penilaian senam menggunakan aplikasi perangkat *mobile* ini telah berhasil dilakukan dan dapat memberikan hasil yang cukup signifikan yaitu nilai *score* skitar 80 jika mengikuti pola irama data master yang dalam hal ini menggunakan pola ritme dan irama gerakan senam SKJ 2021.

