

Rancang Bangun AirMouse Menggunakan Sarung Tangan Bersensor Berbasis ESP32

Sholahuddin M. Irsyad, Achmad Basuki, dan Bima Sena Bayu Dewantara
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111
e-mail: smirsyad@pasca.student.pens.ac.id

Abstrak—Interaksi digital yang saat ini masih umum digunakan berupa media tidak langsung seperti *mouse* dan *keyboard* untuk memberi masukan berupa data dua dimensi. Oleh karena itu, untuk memberikan intuisi dalam interaksi virtual, dapat ditambahkan media yang dapat menggambar langsung di udara atau permukaan datar yang akan melacak gerakan tangan dan posisi jari secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, kami mencoba melacak pergerakan tangan secara real time dengan menangkap posisi tangan dan lengkung jari menggunakan *wearable sensor* yang dilengkapi dengan sensor *Inertial Measurement Unit (IMU)* dan sensor *flex* yang dipasang oleh pengguna. Selanjutnya sistem akan mengidentifikasi posisi tekukan jari yang dilakukan pengguna dan lokasi yang ditunjukkan oleh sensor yang dipasang untuk melakukan gerakan kursor pada layar dan mensimulasikan gerakan tangan klik kiri dan klik kanan selanjutnya menggunakan *mouse* tradisional. Dengan menggunakan sistem ini pengguna dapat berinteraksi dengan komputer dengan lebih alami dan mendapatkan akurasi pergerakan gerakan kursor dengan akurasi penerjemahan gerakan jari tangan mencapai lebih dari 85% dan penerjemahan gerakan tangan ke gerakan kursor *mouse* ada pada rata-rata 73% untuk bentuk yang menggunakan garis lurus dan 23,4% pada garis melengkung seperti lingkaran dan bentuk lainnya.

Kata kunci: *pengenalan gerakan tangan, gambar garis, unit pengukuran inersia, interaksi manusia-komputer*

Abstract—Digital interaction are still commonly using indirect media such as mouse and keyboard to provide user input in the form of two-dimensional data. Therefore, to provide intuition in virtual interactions, it is possible to add media that can draw directly in the air or a flat surface that will track hand movements and overall finger position. In this research, we try to track hand movements in real time by capturing the position of the hand and finger curvature using a wearable sensor equipped with an Inertial Measurement Unit (IMU) sensor and a flex sensor installed by the user. Then the system will identify the position of the user's finger bending, and the location indicated by the sensors installed to move the cursor on the screen and simulate left-click and right-click hand movements as with a traditional mouse. By using this system, users can interact with the computer more naturally and get the accuracy of cursor movement with the accuracy of finger movement translation reaching more than 85% and the translation of hand movements to mouse cursor movements is on average 73% for shapes that use straight lines. and 23.4% on curved lines such as circles and other shapes.

Keywords: *hand movement recognition, line drawing, inertial measurement unit, human-computer interaction*

I. PENDAHULUAN

Cara manusia berkomunikasi sudah mulai berubah dari secara fisik dan kemudian sekarang dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja tanpa perlu bertemu secara langsung. Lebih jauh lagi, adanya pandemi menimbulkan dampak yang signifikan bagi kehidupan kita seperti ekonomi, sosial, pendidikan dan pariwisata. Tempat-tempat umum yang menjadi tempat berkumpulnya sekelompok orang dalam satu ruangan harus tertutup namun tetap harus terhubung satu sama lain untuk saling bertukar informasi sebagai makhluk sosial. Untuk memfasilitasi itu, orang sekarang menggunakan lebih banyak media tidak langsung seperti suara, video, atau bahkan konferensi video waktu nyata. Di masa pandemi, penggunaan konferensi video melonjak karena pembatasan interaksi fisik untuk mengurangi

penyebaran virus [1]. Hal tersebut secara tidak langsung menyebabkan kebutuhan akan media interaksi yang lebih kuat untuk interaksi sosial melalui *video conference* lebih tinggi dibandingkan era sebelum pandemi.

Namun, intuitif pertemuan tatap muka bagi manusia tidak dapat sepenuhnya diimplementasikan dengan pertemuan *screen-on-screen*, terutama yang melibatkan gerakan tangan dan apa yang ditunjukkan tangan saat menggambarkan hal-hal yang tidak dapat dilihat langsung di layar. Misalnya, saat menyampaikan informasi dalam bentuk gambar, mereka akan menggunakan perangkat keras yang tersedia saat ini seperti untuk interaksi dalam elemen layar seperti *mouse*, tablet gambar, atau produk serupa.

Interaksi media saat ini menggunakan alat tersebut sangat bagus untuk berinteraksi dengan elemen antarmuka

pengguna atau menggambar. Penelitian ini mengusulkan cara lain untuk berinteraksi dengan layar khususnya menggerakkan kursor *mouse* pada layar komputer dengan perangkat yang dapat melacak gerakan tangan dan menerjemahkannya ke gerakan kursor. Dengan perangkat ini kami perlu mengukur posisi tangan dalam 3 sumbu dan tekukan jari secara akurat, untuk itu kami menggunakan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang berisi akselerometer dan giroskop untuk mengukur posisi tangan dalam pengembalian nilai percepatan dan rotasi tangan. Selain itu, pada penelitian ini digunakan sensor *flex* yang berfungsi sebagai sensor pengukuran tekukan karena tekukan pada jari juga menyebabkan sensor bengkok dan menghasilkan fungsi resistansi elektrik seperti potensiometer. Semakin besar derajat tekukannya, resistansi sensor akan meningkat. Dengan demikian, kita dapat mengukur derajat lentur. Kedua sensor bekerja pada saat yang sama untuk membuat sensor nirkabel yang dapat dikenakan biaya rendah dalam bentuk sarung tangan yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan antarmuka pengguna secara lebih alami dibandingkan dengan menggunakan perangkat tradisional seperti *mouse* dan tablet gambar.

Penelitian ini mencoba untuk membuat suatu alat yang dapat bekerja selayaknya alat kontrol interaksi untuk PC pada umumnya yakni *mouse*, namun dengan alat metode lain untuk mengenali posisi tangan pengguna. Pengenalan gerakan jari juga ditambahkan dalam penelitian ini untuk menggantikan tombol *mouse* dalam melakukan berbagai tugas. Untuk membuat pengguna berinteraksi dengan komputer lebih alami dengan menggunakan perangkat *wearable* berupa sarung tangan dibandingkan berinteraksi menggunakan *mouse* konvensional.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [2], dimana sistem sarung tangan didesain menggunakan 16 sensor IMU yang ditempatkan pada setiap sendi jari tangan untuk mengukur posisi tiap jarinya, pada penelitian ini hanya menggunakan 1 sensor IMU dan 5 sensor *flex* untuk membaca posisi tangan dan kondisi jari pemakai alat. Desain penelitian ini juga menyertakan pengenalan keadaan jari saat pengalaman menggambar yang lebih alami dengan menggunakan sensor *flex* untuk mendeteksi keadaan jari baik dalam posisi tekuk atau rileks. Semua fungsi ini akan dikemas dalam sarung tangan ringkas yang dapat dikenakan dengan biaya pembuatan yang rendah dan terjangkau yang terhubung secara nirkabel ke komputer pengguna. Antarmuka pengguna grafis juga disediakan untuk memeriksa status perangkat dan kontrol sarung tangan dan dapat digunakan untuk memeriksa apakah ada kesalahan pada operasional sarung tangan saat dipakai.

II. STUDI PUSTAKA

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian terkait topik tersebut. Desain sarung tangan yang dapat dikenakan sebagai pengontrol 3D di lingkungan *virtual reality* menggunakan sensor *flex* dan

data akselerometer telah diusulkan pada penelitian [3]. Penelitian ini menggunakan sensor *flex non-komersial* dan dikalibrasi untuk digunakan dengan sistem biner jari baik pada posisi fleksi maupun posisi rileks. Wang *et al.* [4] menggunakan pena yang dilengkapi sensor IMU dengan algoritma rekonstruksi lintasan untuk aplikasi pengenalan tulisan tangan.

Sadek *et al.* [5] telah merancang sistem pengenalan bahasa isyarat arab menggunakan sarung tangan untuk kedua tangan yang menggunakan sensor *flex* dan MPU-6050 untuk pengukuran posisi tangan dan jari. Desain *smart wearable glove* yang terdiri dari *flex* sensor dan MPU-6050 juga telah diusulkan yang berfungsi untuk menerjemahkan standar *American Sign Language* dan menampilkan hasilnya di *smartphone android* [6]. Lee *et al.* [7] juga telah mengembangkan sensor sarung tangan yang dilengkapi dengan MPU-6050 dan sensor *flex* untuk digunakan untuk pengontrol *Virtual Reality* (VR) *games* dan membandingkan kinerjanya dengan pengontrol High Tech Computer (HTC) Vive VR yang tersedia secara komersial.

Kao *et al.* [8] juga telah mendesain sebuah sarung tangan pintar baru untuk skenario pengontrol VR yang dapat menyimulasikan sensasi mencengkeram dengan memvariasikan ketegangan sensor *flex* mekanis dengan motor *servo*. Elektroda juga disertakan di setiap jari untuk memberikan umpan balik taktis dengan sengatan listrik yang dihasilkan oleh elektroda. Pendeteksian gerakan tangan dilakukan oleh MPU-6050.

III. METODE

A. Gambaran Umum

Metode pengambilan data *motion tracking* pada sensor *glove* dilakukan dengan mengambil data dari sensor IMU berupa data akselerometer dan giroskop yang difilter terlebih dahulu untuk meredam *noise* sinyal baik melalui filter *Kalman* maupun filter komplementer. Kemudian data tersebut diolah kembali menggunakan perhitungan integrasi ganda dari data percepatan ke kecepatan ke posisi dari waktu ke waktu yang menghasilkan data posisi dari sarung tangan yang dibaca oleh sensor IMU [9]. Pada penelitian ini sensor yang digunakan adalah MPU-9250. Sensor ini digunakan karena pembacaan dari sensor memiliki *noise* yang rendah dengan harga yang terjangkau.

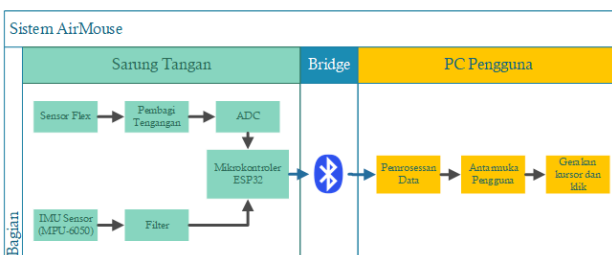
Pembacaan tekukan jari kemudian diukur oleh sensor *flex* yang bekerja dengan mengubah tekukan jari menjadi nilai resistansi yang mirip dengan cara kerja potensiometer di mana nilai resistansi menjadi lebih besar ketika derajat *bending* juga semakin besar. Dari penelitian sebelumnya [5], sensor *flex* yang dipilih menggunakan sensor dari *SpectraSymbol* dengan 2 ukuran yang berbeda, yaitu 2,2 inci yang diletakkan di ibu jari dan 4,5 inci di empat jari lainnya. Sebelum masuk ke *microcontroller*, sensor *flex* dihubungkan ke rangkaian pembagi tegangan terlebih dahulu agar dapat dihasilkan tegangan yang dapat dibaca oleh *input analog* dari *microcontroller*. Dari kedua sensor

tersebut, data dikumpulkan menjadi *string* data yang dikirim secara nirkabel ke PC pengguna menggunakan *Bluetooth*. Data yang diterima oleh PC diproses ulang untuk mengubah data yang diterima menjadi gerakan kursor untuk menggambar sesuai dengan posisi tangan dan kondisi jari pengguna secara *realtime*. Secara *default*, posisi jari atau isyarat jari yang dapat dideteksi adalah isyarat “klik kiri” dengan menekuk jari telunjuk ke dalam dan isyarat “klik kanan” dengan menekuk jari tengah ke dalam telapak tangan. Lebih banyak gerakan akan ditambahkan sesuai kebutuhan misalnya untuk meniru fungsi tombol mundur dan maju mouse. Pada penelitian sebelumnya, sistem serupa yang menggunakan sensor *flex* yang sama digunakan untuk mengenali bahasa isyarat satu tangan dalam berbagai bahasa [5], [6], [10], [11].

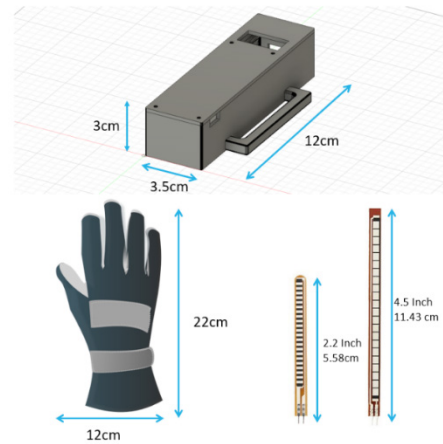
Sensor MPU-9250/MPU-6050 bertindak sebagai sensor gerak yang membaca posisi tangan yang selanjutnya diterjemahkan ke gerakan *mouse* kursor pada PC pengguna setelah melalui proses *filtering*. Dalam penelitian ini sistem secara keseluruhan dibagi dua kelompok, yang pertama adalah sisi perangkat keras dan yang kedua adalah sisi perangkat lunak atau PC. Dua kelompok berkomunikasi secara nirkabel dengan koneksi *Bluetooth* di kedua sisi yang bekerja secara bersamaan dengan mengirimkan data yang terbaca dari semua sensor yang terpasang pada sarung tangan dan mengirimkan data yang sudah diproses ke PC pengguna. Sistem secara keseluruhan dapat digambarkan seperti Gambar 1. Sistem dibagi oleh dua blok besar bernama perangkat yang dapat dikenakan dan PC pengguna. Perangkat menggunakan koneksi nirkabel untuk menghilangkan penggunaan koneksi kabel serial fisik yang dapat membatasi jangkauan penggunaan perangkat. Perangkat ini dapat digunakan baik untuk menggambar di udara atau di permukaan yang datar.

B. Wearable Sensor Glove

Perangkat ini disebut *wearable sensor* karena untuk mengoperasikan perangkat pengguna harus memakai perangkat itu sendiri, dalam hal ini perangkat berupa sarung tangan yang dapat berinteraksi dengan pengguna. Sarung tangan pada sistem ini dilengkapi dengan dua jenis sensor yang sama-sama berfungsi untuk mengukur posisi dan keadaan tangan pengguna. Sensor tekukan dan sensor IMU digunakan dalam perangkat ini, di mana sensor tekukan yang digunakan adalah sensor *flex* dari *Spectra Symbol*.



Gambar 1. Arsitektur sistem



Gambar 2. Dimensi flex sensor yang digunakan, wadah untuk komponen elektronik dan sarung tangan

Pada Gambar 2, terdapat total 5 sensor *flex* yang digunakan dalam sarung tangan ini, satu dengan panjang 2,2 inci digunakan untuk ibu jari dan empat lainnya adalah sensor panjang 4,5 inci untuk penunjuk, tengah, cincin, dan jari kelingking masing-masing. Pengoperasian sensor *flex* mirip dengan potensiometer di mana semakin besar derajat tekukan maka nilai resistansinya akan semakin tinggi. Untuk penggunaan pada *microcontroller*, sensor *flex* memerlukan proses pengkondisian sinyal untuk memastikan bahwa tegangan yang dihasilkan dari hambatan berada pada rentang yang terukur dari *microcontroller analog-to-digital converter voltage*. Dalam hal ini pembagi tegangan perlu ditambahkan. Diagram rangkaian dasar dapat dilihat pada Gambar 3.

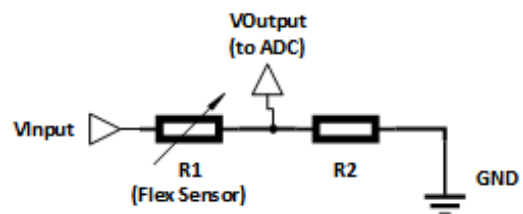
Untuk menghitung nilai resistor yang digunakan pada R2, kita perlu menghitung nilainya menggunakan persamaan pembagi tegangan.

$$V_{Output} = \frac{R2}{R1 + R2} * V_{Input} \tag{1}$$

dimana V_{Output} adalah tegangan keluaran *flex sensor* dalam satuan volt, R1 adalah nilai resistansi maksimal *flex sensor* dalam satuan Ohm, R2 adalah nilai resistansi pembagi resistor pembagi dalam satuan Ohm, V_{Input} adalah tegangan suplai ke *flex sensor* dalam satuan volt.

Untuk nilai resistansi sensor *flex* yang digunakan untuk perhitungan dalam persamaan, perhitungan posisi rileks dan posisi tekukan maksimum. Resistansi untuk kedua jenis sensor *flex* dapat dilihat pada Tabel 1.

Penting untuk dicatat bahwa setiap sensor dapat menghasilkan nilai yang berbeda dari lembar data pabrikan yang ditunjukkan pada Tabel 1 karena cacat dan



Gambar 3. Rangkaian pembagi tegangan

Tabel 1. Spesifikasi kelistrikan sensor

Panjang Sensor	Tebal (mm)	Panjang Aktif (mm)	Panjang Penuh (mm)	Lurus (Ohm)	Tekuk (Ohm)
2.2 Inch (5.5 cm)	0.43	55.37	73.66	25k	>2x25k
4.5 Inch (11.43 cm)	0.43	95.25	112.24	10k	60k-110k

atau keausan. Setelah perhitungan kami dapat membuat nilai yang dikalibrasi untuk pengukuran yang lebih akurat dan tepat.

C. Sensor Inertial Measurement Unit (IMU)

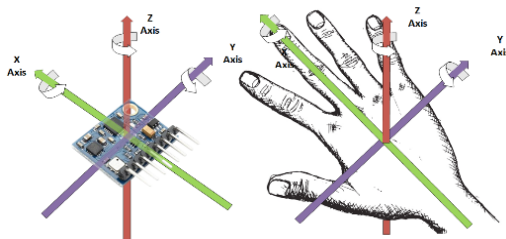
Sensor IMU adalah perangkat elektronik untuk mengukur kecepatan sudut objek atau orientasi objek yang terdiri dari akselerometer, giroskop dan magnetometer. Dalam penelitian ini digunakan MPU-9250 yang dilengkapi sensor MEMS 10-sumbu. Sensor juga dilengkapi TDK *InvenSense* MPU-6050 yang berisi akselerometer 3-sumbu dan giroskop 3-sumbu dan QST QMC5883L 3-axis *magnetometer* dan BMP-180 tekanan barometrik dan sensor suhu. Paket sensor keseluruhan MPU-9250 memiliki ukuran yang kecil yang cocok untuk aplikasi yang dapat dikenakan seperti dalam penelitian ini. Penelitian ini hanya fokus pada sensor akselerometer dan giroskop dengan total 6 sumbu gerak.

Penempatan sensor merupakan langkah yang sangat penting untuk memastikan bahwa sensor memiliki pembacaan nilai yang optimal. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4. Sensor memiliki 3 sumbu gerak utama x, y dan z atau dengan sumbu utama *roll*, *pitch* dan *yaw* dengan nilai negatif dan positif tergantung pada rotasi sumbunya. Pada perangkat ini, sensor IMU ditempatkan di dekat bagian tengah tangan belakang karena bentuknya yang datar, bagus untuk penempatan sensor.

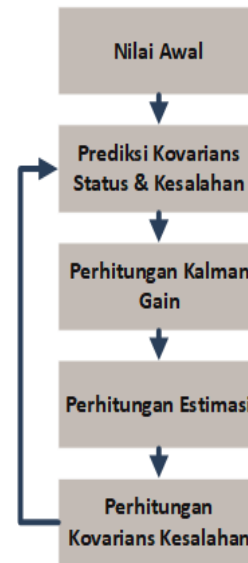
Gaya yang diukur oleh sensor diukur secara *realtime* oleh karena itu gaya kecil yang diterapkan pada sensor menciptakan gangguan dalam pengukuran. Jadi, untuk hasil pengukuran yang andal, diperlukan filter untuk mengurangi *noise*. Filter yang umumnya digunakan untuk sensor gerak adalah filter komplementer dan filter *Kalman*.

Filter komplementer bekerja dengan mengambil data dari akselerometer dan data dari giroskop dan menggabungkannya. Diagram blok filter komplementer dapat dilihat pada Gambar 5.

Dua tipe filter yaitu *low pass filter* maupun *high pass filter* untuk filter pelengkap. *Low pass filter* yang digunakan



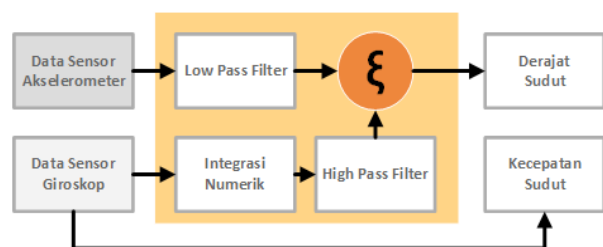
Gambar 4. Sumbu sensor diproyeksikan ke tangan



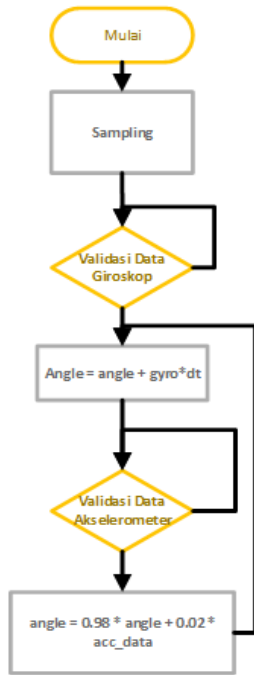
Gambar 5. Diagram blok filter komplementer

untuk sinyal frekuensi tinggi seperti data akselerometer dan *high pass filter* yang digunakan filter sinyal frekuensi rendah berasal dari giroskop untuk menyaring *gyro drift*. Perhitungan filter komplementer dilakukan secara berurutan. Gambar 6 menunjukkan diagram langkah-langkah *flowchart* untuk filter komplementer.

Selain filter komplementer, filter yang digunakan untuk pengolahan data sensor inersia adalah filter *Kalman*. Filter *Kalman* adalah model matematika pengulangan diskrit untuk mendapatkan estimasi keadaan sistem. Mengabaikan adanya kesalahan yang signifikan dalam pengukuran *realtime*. Filter *Kalman* terdiri dari dua tahap. Yang pertama adalah tahap yang perhitungan menggunakan model matematika untuk memprediksi keadaan sistem. Kedua adalah perbandingan keadaan yang terprediksi dibandingkan dengan keadaan yang diukur saat ini. Perbedaan antara dua keadaan yang diprediksi dan keadaan yang diukur diatur berdasarkan perkiraan *noise* dan *error*. Kemudian estimasi digunakan bersamaan dengan model matematis untuk memprediksi keadaan selanjutnya selama proses pembaruan dan pengulangan siklus. Keuntungan menggunakan filter *Kalman* adalah penggunaan memori yang sangat rendah karena tidak menyimpan data dari keadaan sebelumnya. *Flowchart* dasar dapat diilustrasikan pada Gambar 7. Kedua jenis filter tersebut selanjutnya akan diuji pada bagian pengujian dan analisis penelitian ini.



Gambar 6. Flowchart filter komplementer



Gambar 7. Flowchart filter Kalman

D. Microcontroller

Desain pada penelitian ini bersifat *wearable*, maka diperlukan *microcontroller* yang dapat membaca sensor bersamaan dan memastikan penggunaan daya yang efisien dan membuat alat bekerja tanpa proses *charging* lebih lama. *Microcontroller* yang digunakan adalah ESP-32 WROOM beroperasi pada tegangan suplai 3,0 V hingga 3,6 V yang dilengkapi dengan dudukan baterai li-ion 18650, pengontrol pengisian USB, dan layar OLED 0,96 inci untuk keperluan *debugging*. ESP-32 mempunyai dua inti pemrosesan dan frekuensi operasi yang dapat disesuaikan mulai dari 80 MHz hingga 240 MHz. Untuk pin *output* dan *input* digital dan *input* ADC 15 pin dengan resolusi 12-bit untuk menghubungkan sensor *flex*. *Microcontroller* juga dilengkapi dengan opsi komunikasi nirkabel untuk berkomunikasi dengan perangkat lain di Wi-Fi 2,4 GHz atau *Bluetooth* 4.2. Pada paper yang membahas tentang kinerja *Bluetooth* pada *microcontroller* ESP32 untuk komunikasi *wireless* jarak yang antara alat uji dan *transmitter Bluetooth* bisa mencapai 25 meter untuk paket data 100 Bytes pada *interval sampling* 10 ms [12]. Pengujian jarak untuk penelitian ini selanjutnya dibahas pada bagian hasil dan pembahasan. Ilustrasi *microcontroller* ESP-32 yang digunakan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 8.

E. Antarmuka Pengguna

Grafis prinsip desain antarmuka pengguna grafis sesuai dengan pola perangkat lunak *model-view-controller*, yang memisahkan representasi internal informasi dari cara informasi disajikan kepada pengguna, menghasilkan platform di mana pengguna diperlihatkan fungsi mana



Gambar 8. Microcontroller ESP-32

yang mungkin daripada membutuhkan *input* kode perintah. Pengguna berinteraksi dengan informasi dengan memanipulasi *widget* visual, yang dirancang untuk merespons sesuai dengan jenis data yang mereka pegang dan mendukung tindakan yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas pengguna [13].

Processing Integrated Development Environment (IDE) adalah lingkungan pemrograman sederhana yang dibuat untuk memudahkan pengembangan aplikasi berorientasi visual dengan penekanan pada animasi dan memberikan umpan balik instan kepada pengguna melalui interaksi. Pengembang menginginkan sarana untuk "membuat sketsa" ide dalam kode [14]. Dalam penelitian digunakan *processing* IDE karena kemudahan penggunaan. Pengguna dapat berinteraksi dengan antarmuka pengguna untuk melihat semua status sensor yang terhubung ke perangkat sarung tangan dan juga mengaktifkan fungsi kontrol PC untuk fungsi *AirMouse*.

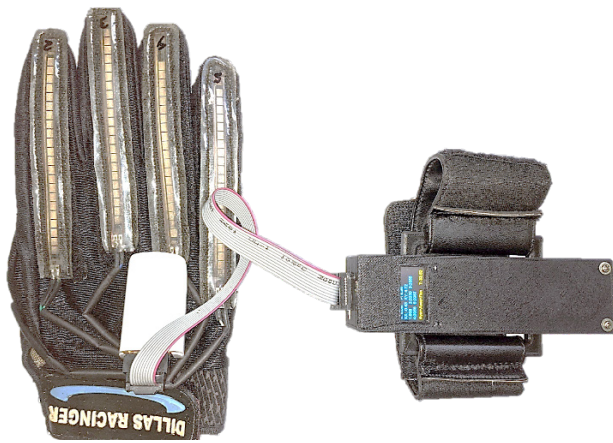
Grafis antarmuka pengguna yang dirancang dalam *Processing* IDE dapat dilihat pada Gambar 9 yang berisi status untuk IMU dan derajat kelenturan sensor *flex* yang diterima dari sensor sarung tangan secara nirkabel melalui *Bluetooth* yang juga berfungsi sebagai pengurai data.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian penelitian ini, kinerja filter untuk sensor IMU diuji untuk memastikan bahwa data yang diukur dapat diandalkan dan stabil sebelum pemrosesan data lainnya diterapkan. Gerakan kursor juga perlu diuji untuk fungsi kontrol gambar PC. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat sarung tangan yang



Gambar 9. Antarmuka pengguna grafis berbasis processing IDE



Gambar 10. Alat sarung tangan

dikenakan oleh pengguna dan akan mencoba membuat berbagai gerakan untuk menghasilkan gerakan yang dapat ditampilkan dalam serial monitor di PC untuk logging dan grafik plotting.

Pengujian difokuskan pada kemampuan alat untuk mendeteksi gerakan pada tangan dan tekukan pada ibu jari, telunjuk, dan jari tengah untuk menyimulasikan klik kiri dan klik kanan pada mouse konvensional. Pengaturan perangkat keras untuk tujuan pengujian yang ditampilkan sebagai Gambar 10.

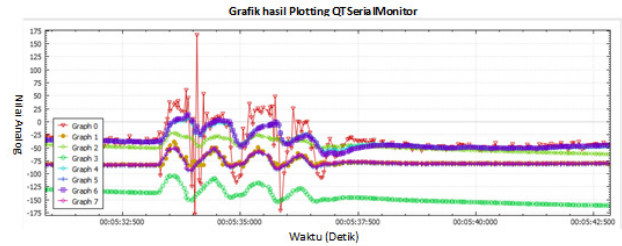
Desain sarung tangan terdiri dari dua perangkat keras yang dihubungkan dengan kabel. Sarung tangan dengan sensor dan papan anak di tengah yang menghubungkan semua sensor dan sensor IMU. Dan kotak elektronika dengan gelang yang berisi *microcontroller* dan baterai. Contoh pemakaian sarung tangan oleh pengguna dapat ditunjukkan pada Gambar 11.

A. Pengujian Inertial Measurement Unit

Pengujian kinerja filter sensor IMU adalah berupa data *output* yang diterima dari mikrokontroler ke QtSerialMonitor di PC pengguna. *Microcontroller* diatur untuk mengeluarkan 13 data dalam satu string setiap 10 ms. Senar terdiri dari: *raw roll*, *raw pitch*, *raw gyroscope data x axis*, *raw gyroscope data Y*, *roll* (filter komplementer), *pitch* (filter komplementer), *roll* (filter Kalman), *pitch* (filter Kalman) ibu jari, telunjuk, tengah, cincin, kelingking. Pada Gambar 12 berikut grafik yang



Gambar 11. Sarung tangan yang dipakai pengguna



Gambar 12. Output sensor unit pengukuran inersia terhadap waktu

ditampilkan adalah data mentah dan data yang difilter tanpa nilai ADC yang diukur oleh sensor *flex*.

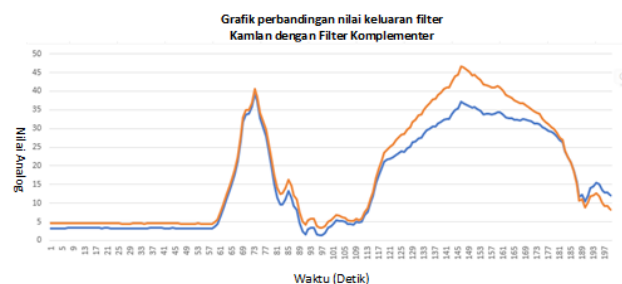
Pada Gambar 12, *Graph* yang mewakili 4 pasang data, lalu *Graph* 0 dan 1 adalah *roll* dan *pitch* mentah, *Graph* 2 dan 3 adalah giroskop *X* dan *y*, dan *Graph* 4 dan 5 adalah data *roll* dan *pitch* terfilter yang saling melengkapi, *Graph* 6 dan 7 adalah data *roll* dan *pitch* yang menggunakan filter Kalman. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa grafik 2 dan 3 adalah data *gyro* yang mengalami *gyro drift* yang disebabkan oleh hasil integrasi *noise* dari data mentah yang didapatkan dari waktu ke waktu menyebabkan nilai pembacaan sensor giroskop turun secara bertahap bahkan ketika sarung tangan diletakkan diam pada permukaan yang datar.

Grafik 0 dan 1 merupakan data *pitch* dan *roll* yang tidak terfilter. Kebisingan cukup tinggi dan tidak dapat digunakan untuk penggunaan dalam penelitian ini. Data filter komplementer ditampilkan pada grafik 4 dan 5. Dan filter Kalman pada grafik 6 dan 7. Dari grafik perbedaannya sulit dibedakan tetapi dari data yang diperbesar yang diplot di *excel* pada grafik ini pada Gambar 13.

Data filter komplementer diplot pada garis biru dan Kalman pada garis jingga. Ada sedikit penyimpangan dalam data terukur antara dua filter. Pada beberapa titik filter komplementer menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan filter Kalman. Selain itu, juga dapat diamati bahwa data yang difilter tidak datang secara bersamaan akan tetapi terdapat sedikit penundaan yang disebabkan oleh *microcontroller* menghitung data yang disaring.

B. Pengujian Flex Sensor

Untuk sensor *flex* fokus utamanya adalah membaca nilai sensor saat pengguna membuat isyarat untuk klik kiri dan klik kanan. Isyarat ini didasarkan pada isyarat ASL



Gambar 13. Perbandingan grafik data filter kalman dengan filter komplementer



Gambar 14. Gesture mengenggam dan tangan terbuka

“Angka 9” untuk klik kiri, dan “angka 8” untuk klik kanan [15].

Sebelum melakukan pengukuran nilai pada tiap isyarat. Data dasar didapatkan dengan melakukan isyarat angka 5 yang membuat semua sensor menjadi lurus dan isyarat mengenggam yang membuat semua jari tertekuk. dapat dilihat pada Gambar 14.

Nilai ADC dari kedua isyarat tersebut direkam sebanyak 20 data dan dirata-rata, nilai rerata tersebut ditampilkan pada Tabel 2. Pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa isyarat klik kiri dilakukan dengan cara menekuk jari telunjuk ke dalam telapak tangan dan dengan ditahan dengan ibu jari yang menekuk ke dalam.

Lalu untuk isyarat klik kiri dilakukan dengan cara menekuk jari tengah ke dalam telapak tangan dan dengan ditahan dengan ibu jari yang menekuk ke dalam seperti yang diilustrasikan pada Gambar 16. Dari gerakan tersebut, sensor akan membaca tekukan jari dan akan memberikan nilai ADC rata-rata dari 20 kali sampel data yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari nilai pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa perbedaan nilai ADC untuk ibu jari dan jari telunjuk dan jari tengah untuk isyarat klik kiri dan klik kanan dapat diperlihatkan

Tabel 2. Pengujian sensor gerakan dasar

No	Sensor	Nilai ADC (Terbuka)	Nilai ADC (Tertekuk)
1	Ibu jari	820-880	450-520
2	Telunjuk	2770-2820	2310-2460
3	Tengah	2740-2850	2330-2410
4	Manis	2840-2940	2490-2530
5	Kelingking	2850-2910	2450-2520



Gambar 15. Tampak depan dan belakang gestur klik kiri



Gambar 16. Tampak depan dan belakang gestur klik kanan

dengan baik dengan indikasi antara jari lurus dan tertekuk yang mempunyai selisih nilai ADC hingga 500 poin.

C. Pengujian Interaksi Software pada PC

Dari data pengukuran sensor IMU yang telah disaring, baik dengan filter Kalman maupun filter komplementer, nilai tersebut dapat diubah menjadi gerakan kursor yang dapat digunakan untuk menggambar. Gerakan tangan dapat dibandingkan terhadap gerakan kursor dan berapa banyak gerakan tangan yang diperlukan untuk data gerakan kursor yang direkam melalui GUI dan disimpan ke file csv dan kemudian diplot di grafik pada *Microsoft excel*. Perbandingan kinerja antara pergerakan kursor dan keluaran nilai sensor gerak pada kedua sumbu X dan Y berturut-turut dapat diilustrasikan dengan grafik pada Gambar 17 dan Gambar 18.

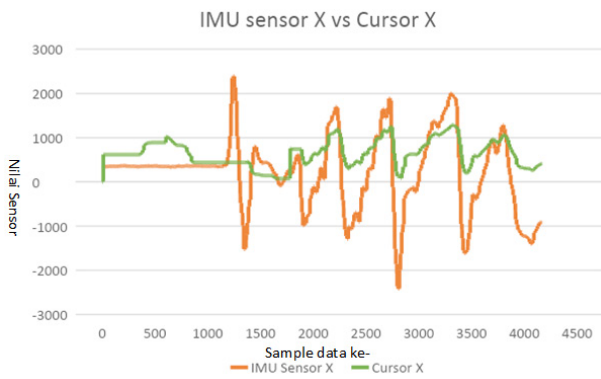
Berdasarkan data pada Gambar 17 dan 18 ditunjukkan bahwa pergerakan kursor yang disediakan oleh sensor IMU bersifat dinamis dan responsif. Nilai pada keluaran sensor gerak pada sumbu x dan sumbu y memiliki rentang nilai 1500 hingga -2500. Sedangkan untuk pergerakan *mouse* nilai keluarannya menyesuaikan dengan resolusi layar, pada pengujian ini resolusi layar yang dipakai adalah 1366 x 768. Maka rentang nilai pergerakan kursor sumbu X adalah 0 hingga 1366 dan pada sumbu y adalah 0 hingga 768.

D. Pengujian Jarak Penggunaan Optimal

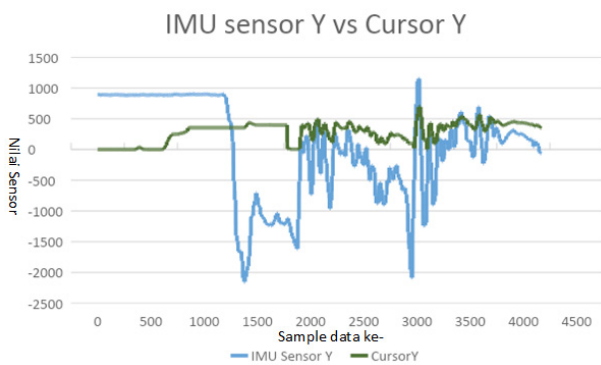
Pengujian jarak bertujuan untuk menguji seberapa jauh jarak optimal penggunaan purwarupa alat dengan PC pengguna dengan menggunakan koneksi *Bluetooth 4.2*

Tabel 3. Pengujian sensor gerakan klik kiri dan klik kanan

No	Sensor	Nilai ADC (Klik Kiri)	Nilai ADC (Klik Kanan)
1	Ibu jari	420-530	510-570
2	Telunjuk	2310-2410	2720-2850
3	Tengah	2870-2920	2200-2320
4	Manis	2820-2920	2450-2560
5	Kelingking	2850-2910	2410-2530



Gambar 17. Grafik perbandingan keluaran sensor gerak pada sumbu X terhadap gerakan kursor pada layar pada sumbu X



Gambar 18. Grafik perbandingan keluaran sensor gerak pada sumbu Y terhadap gerakan kursor pada layar pada sumbu Y

yang tersedia pada *microcontroller*. Frekuensi sampling dari *microcontroller* adalah tiap 10 ms pada *baudrate* 115200 bit per detik. Panjang karakter *serial string* yang akan diuji pada pengujian ini adalah 50, 75, dan 100 karakter karena data penuh dari satu kali pengiriman data berkisar antara 60 hingga 85 karakter termasuk separator koma dan nilai desimal dan tanda negatif tiap variabelnya. Data akan diambil sebanyak 100 baris. Jarak pengujian hingga 21 meter dengan kelipatan 3 meter. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa jarak optimal dengan nilai kesuksesan transmisi pada 100% dapat dicapai pada jarak 6 meter. Pada jarak 9 meter hingga 21 meter, data yang diterima sudah tidak utuh. 18 Meter untuk pengujian dengan panjang data 100 karakter sudah tidak dapat diterima oleh PC pengguna dan pada jarak 21 meter PC dan alat yang diuji sudah tidak terhubung. Perlu diingat bahwa tidak ada halangan berupa tembok maupun benda lain di antara PC dan alat yang diuji atau biasa disebut *line of sight*.

E. Pengujian Akurasi Fungsi Kursor

Pada bagian ini pengujian akurasi dilakukan untuk menguji seberapa akurat gerakan tangan yang terbaca yang diterjemahkan ke gerakan mouse kursor pada PC. Pengujian akan dilakukan dengan membuat garis lurus yang akan dibantu oleh penggaris sejauh 10 cm secara vertikal dan horizontal dan akan dilakukan pengujian

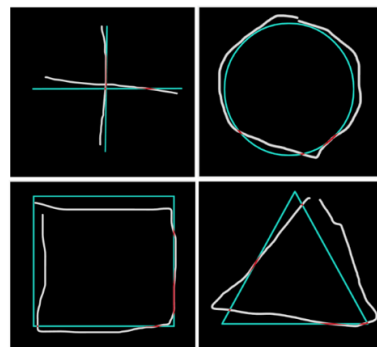
Tabel 4. Hasil pengujian jarak penggunaan optimal

Jarak (meter)	Panjang Data (Karakter)	Data Diterima (%)
3	50	100
	75	100
	100	100
6	50	100
	75	100
	100	100
9	50	100
	75	98
	100	95
11	50	100
	75	92
	100	88
15	50	80
	75	72
	100	60
18	50	67
	75	43
	100	20
21	50	0
	75	0
	100	0

menggambar bentuk dasar yaitu lingkaran, persegi dan segitiga yang dibandingkan dengan bentuk aslinya.

Pada Gambar 19 menunjukkan perbedaan garis bentuk dasar yang berwarna biru dengan garis yang dihasilkan oleh alat sarung tangan yang dikenakan oleh pengguna digambarkan dengan garis putih. Garis merah merupakan perpotongan antara kedua garis. Proses di atas dilakukan sebanyak lima kali tiap bentuknya. Gambar hasil pengujian selanjutnya dibandingkan menggunakan *image comparator* berbasis *pixel* yang bersinggungan, dimana hasil perhitungan perbandingan ditunjukkan pada Tabel 5.

Dapat dilihat pada hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 5 pengujian dengan gambar berupa garis lurus yaitu bentuk persegi dan segitiga serta garis vertikal dan horizontal lebih baik dibandingkan dengan pengujian dengan gambar bentuk lingkaran. Hal ini dikarenakan garis



Gambar 19. Perbandingan bentuk dasar dengan garis hasil penggambaran menggunakan sarung tangan

Tabel 5. Hasil pengujian perbandingan gambar

Bentuk	Percobaan Ke-	Pixel Bersinggungan (%)	Rata-Rata (%)
Garis Vertikal dan Horizontal	1	75	71,4
	2	82	
	3	55	
	4	65	
	5	80	
Lingkaran	1	37	23,4
	2	25	
	3	22	
	4	15	
	5	18	
Persegi	1	66	74,4
	2	72	
	3	81	
	4	88	
	5	65	
Segitiga	1	80	75,8
	2	78	
	3	69	
	4	70	
	5	82	

hasil dari penggambaran sarung tangan cenderung kaku karena efek dari *latency* dan *refresh rate* dari kursor yang kurang baik.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah didesain alat berupa sarung tangan untuk pengenalan posisi tangan yaitu tekukan jari dan posisi telapak tangan yang mengenali klik kiri dan klik kanan yang dilakukan oleh pengguna selama 20 kali sampel data tiap posisi dan ditampilkan data yang berupa hasil rata-rata dari data tersebut didapatkan bahwa perbedaan antara jari tertekuk dan jari lurus atau dalam keadaan rileks menghasilkan nilai ADC yang mempunyai selisih sekitar 500 poin dengan akurasi pengujian mencapai lebih dari 90% dari 20 sampel data. Jarak optimal penggunaan alat purwarupa sarung tangan dengan PC adalah 6 meter. Lalu untuk pembacaan sensor gerak MPU-6050 untuk menggerakkan kursor pada layar dilakukan dengan menggerakkan tangan selama kurang lebih 15 detik dengan sampel data berjumlah 4000 data dengan sampling tiap 300 milisekon setelah dilakukan *filtering* menggunakan *complementary* dan *Kalman* filter didapatkan gerakan kursor dengan akurasi penerjemahan gerakan jari tangan mencapai lebih dari 85% dan penerjemahan gerakan tangan ke gerakan kursor mouse ada pada rata-rata 73% untuk bentuk yang menggunakan garis lurus dan 23,4% pada garis melengkung seperti lingkaran dan bentuk lainnya. Rencana masa depan pada penelitian ini diharapkan alat akan menggunakan sensor yang lebih terkalibrasi dan lebih akurat dengan sensor gerakan yang

dilengkapi dengan *motion processing* unit yang lebih baik seperti BNO055 dan *flex* sensor dengan kalibrasi yang lebih baik. Perangkat lunak juga perlu dikembangkan lebih jauh untuk memaksimalkan kompatibilitas penggunaan alat untuk lebih banyak pengguna, tidak hanya untuk pengguna PC dengan sistem operasi *windows* saja.

REFERENSI

- [1] S. Chan. (view Jan 2022). Usage of Mobile Video Conferencing Apps Including Zoom Grew 150% in the First Half of 2021nd. [Online]. Available: <https://sensortower.com/blog/video-conferencing-apps-mau-growth>.
- [2] H. T. Chang and J. Y. Chang. "Sensor glove based on novel inertial sensor fusion control algorithm for 3-D real-time hand gestures measurements," *IEEE Trans. Ind Electron*, vol.67, no. 1, pp. 658–66, Apr. 2019.
- [3] M. B. H. Flores, C. M. B. Siloy, C. Oppus, and L. Agustin. "User-oriented finger-gesture glove controller with hand movement virtualization using flex sensors and a digital accelerometer," in *Proc. IEEE Int. Conf. Humanoid Nanotechnol. Inf. Technol. Commun. Control Environ. Manag.*, 2014, p. 1–4.
- [4] J. S. Wang, Y. L. Hsu, and J. N. Liu. "An inertial-measurement-unit-based pen with a trajectory reconstruction algorithm and its applications," *IEEE Trans Ind Electron*, vol. 57. no. 10. 3508–3521, Dec. 2009.
- [5] M. I Sadek, M. N. Mikhael, and H. A. Mansour. "A new approach for designing a smart glove for Arabic Sign Language Recognition system based on the statistical analysis of the Sign Language," in *Proc. 34th IEEE Natl. Radio Sci. Conf.*, 2017, pp. 380–8.
- [6] S.B. Rizwan, M. S. Z Khan, and M. Imran. "American Sign Language Translation via Smart Wearable Glove Technology," in *Proc. IEEE Int. Symp. Recent Adv. Electr. Eng.*, 2019, p. 1–6.
- [7] S. Lee, K. Park, J. Lee, and K. Kim. "User Study of VR Basic Controller and Data Glove as Hand Gesture Inputs in VR Games," in *Proc. Int. Symp. Ubiquitous Virtual Real*, 2017, pp. 1–3.
- [8] C. H. Kao, C. C. Chen, W. Y. Jhu, Y. T. Tsai, S. H. Chen, C. M. Hsu, et al. "Novel digital glove design for virtual reality applications," *Microsyst Technol*, vol. 24, no. 10. pp. 4247–4266, Oct. 2018.
- [9] H. Yan, Q. Shan, and Y. Furukawa. "RIDI: Robust IMU Double Integration," in *Proc. of the European Conf. on Comp. Vis.*, 2018, pp. 621–636.
- [10] S. Sarker and M. M. Hoque. An intelligent system for conversion of bangla sign language into speech. in *Proc. IEEE Int. Conf. Innov. Sci. Eng. Technol.*, 2018, pp. 513–8.
- [11] A. Yudhana, J. Rahmawan, dan C. U. P. Negara. "Flex sensors and MPU6050 sensors responses on smart glove for sign language translation," in *Proc. IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, 2018; 403:012032.
- [12] M. Rizal, M. S. Hadis, R. Angriawan R, A. Arifin. "Evaluasi Kinerja Bluetooth Pada Modul Esp32 di Lingkungan Line of Sight," *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, vol. 1, no. 1, pp.42-47, 2020.
- [13] Omniscsi (view Jan. 2022). "What is a Graphical User Interface? Definition and FAQs OmniSc". [Online]. Available: <https://www.omniscsi.com/technical-glossary/graphical-user-interface>
- [14] Processing org. (view Jan 2022). Processing overview. [Online]. Available: <https://processing.org/tutorials/overview>.
- [15] C Valli. *Linguistics of American Sign Language: an introduction. 3rd ed.*, Washington, D.C: Gallaudet University Press; 2000.