

## Implementasi Sistem Layar Sentuh Pada Televisi Untuk menampilkan Denah Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Pramudya Saputra<sup>1,\*</sup>, Nurwijayanti K N<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 12 Februari 2026  
Direvisi: 11 Maret 2026  
Diterima: 30 Maret 2026

#### Kata kunci:

Denah  
Media Informasi Interaktif  
Touchscreen Overlay Infrared  
Unsurya  
Waktu Respon

#### Keywords:

Floor plan  
Interactive information media  
Touchscreen overlay infrared  
Unsurya  
Respons time

#### Penulis Korespondensi:

Pramudya Saputra  
Email:  
[Pramudyasaputra8@gmail.com](mailto:Pramudyasaputra8@gmail.com)

### ABSTRAK

Perkembangan teknologi informasi mendorong kebutuhan media informasi interaktif yang mudah diakses, terutama di lingkungan kampus dengan tata letak gedung yang kompleks. Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma (Unsurya) masih mengandalkan media informasi konvensional yang kurang fleksibel dan sulit diperbarui. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem layar sentuh pada televisi LED menggunakan infrared touchscreen overlay sebagai media penampil denah interaktif kampus. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pendekatan kuantitatif melalui pengujian karakteristik area sentuh jari, waktu respons layar pada arah horizontal, vertikal, dan diagonal, serta kemampuan multi-touch. Hasil penelitian menunjukkan bahwa area sentuh ujung jari dapat dimodelkan sebagai elips dengan luas rata-rata 640,56 mm<sup>2</sup> dan waktu respons elips sebesar 0,54 detik. Rata-rata waktu respons layar tercatat sebesar 0,0494 detik/cm pada arah horizontal, 0,0684 detik/cm pada arah vertikal, dan 0,0459 detik/cm pada arah diagonal. Sistem juga mampu mendeteksi hingga sepuluh titik sentuh secara simultan. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dan layak diterapkan sebagai media informasi interaktif untuk mendukung layanan navigasi digital dalam konsep Smart Campus secara cepat, intuitif, dan real-time.

*The advancement of information technology has increased the need for interactive and easily accessible information media, particularly in campus environments with complex building layouts. Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma (Unsurya) still relies on conventional information media, which have limited flexibility and are difficult to update. This study aims to design, implement, and evaluate a touchscreen system on an LED television using an infrared touchscreen overlay as an interactive campus map display. An experimental method with a quantitative approach was employed by testing fingertip touch-area characteristics, screen response time in horizontal, vertical, and diagonal directions, and multi-touch capability. The results show that the fingertip touch area can be modeled as an ellipse with an average area of 640.56 mm<sup>2</sup> and an ellipse response time of 0.54 s. The average screen response times were 0.0494 s/cm in the horizontal direction, 0.0684 s/cm in the vertical direction, and 0.0459 s/cm in the diagonal direction. In addition, the system was able to detect up to ten simultaneous touch points. These findings indicate that the developed system demonstrates good performance and is feasible for use as an interactive information medium to support digital navigation services within the Smart Campus concept in a fast, intuitive, and real-time manner.*

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi pada era Revolusi Industri 4.0 mendorong transformasi layanan pendidikan tinggi melalui penerapan konsep Smart Campus. Integrasi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) memungkinkan terciptanya sistem informasi yang interaktif, real-time, dan mudah diakses guna meningkatkan efisiensi operasional, keamanan, serta kenyamanan civitas akademika. Dalam konteks ini, media informasi digital yang adaptif dan interaktif menjadi komponen penting dalam mendukung interaksi pengguna dengan lingkungan fisik kampus secara efektif, terutama dalam penyampaian informasi lokasi dan fasilitas kampus secara mandiri (self-service information system)[1].

Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma (Unsurya) mengalami peningkatan signifikan dalam jumlah mahasiswa serta pengembangan infrastruktur kampus yang berdampak pada kompleksitas tata letak gedung dan fasilitas. Kondisi tersebut menimbulkan permasalahan navigasi bagi mahasiswa baru maupun pengunjung yang belum familiar dengan lingkungan kampus. Penyampaian informasi lokasi yang masih mengandalkan papan petunjuk statis dan komunikasi verbal memiliki beberapa keterbatasan, antara lain sulit diperbarui secara dinamis, berpotensi menimbulkan kesalahan informasi, serta kurang efektif ketika terjadi kepadatan aktivitas pada jam perkuliahan[2].

Seiring dengan perkembangan teknologi Human Machine Interface (HMI), berbagai penelitian telah mengembangkan sistem digital signage interaktif berbasis layar sentuh untuk membantu pengguna dalam mengakses informasi lokasi secara intuitif. Teknologi layar sentuh yang umum digunakan antara lain resistive touchscreen, capacitive touchscreen, surface acoustic wave (SAW), dan infrared touchscreen. Masing-masing teknologi memiliki karakteristik performa yang berbeda dalam aspek akurasi, respons waktu, dan fleksibilitas interaksi pengguna. Teknologi capacitive touchscreen memiliki tingkat akurasi tinggi dengan latensi respons kurang dari 10 ms, namun membutuhkan media sentuh yang bersifat konduktif seperti jari atau stylus khusus. Sementara itu, infrared touchscreen bekerja dengan memanfaatkan grid sinar inframerah pada tepi layar sehingga mampu mendeteksi objek sentuhan apa pun, termasuk jari, stylus, atau benda non-konduktif, dengan latensi sekitar 15–25 ms dan dukungan multi-touch yang cukup baik untuk aplikasi interaktif berskala besar[3].

Pada implementasi di lingkungan pendidikan, pemilihan teknologi layar sentuh tidak hanya mempertimbangkan aspek biaya perangkat, tetapi juga performa sistem seperti akurasi koordinat sentuhan, waktu respons terhadap input pengguna, serta kemampuan mendeteksi berbagai bentuk pola sentuhan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa latensi sistem layar sentuh yang tinggi dapat memengaruhi kenyamanan interaksi pengguna dan menurunkan performa navigasi pada aplikasi interaktif berbasis peta digital[4]. Selain itu, implementasi layar sentuh berukuran besar pada digital signage sering menghadapi kendala integrasi antara perangkat keras layar, touch controller, dan perangkat komputasi yang memproses koordinat sentuhan.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji implementasi touchscreen display pada sistem informasi interaktif, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan perangkat layar sentuh komersial yang telah terintegrasi secara pabrikan. Pendekatan tersebut memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas pengembangan sistem serta optimalisasi performa perangkat. Selain itu, penelitian yang secara khusus mengevaluasi kinerja touchscreen overlay infrared pada televisi LED sebagai media interaksi digital signage berbasis denah kampus interaktif masih relatif terbatas, terutama dalam analisis performa waktu respons dan kemampuan sistem dalam mendeteksi pola sentuhan pengguna.

Berdasarkan research gap tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem layar sentuh menggunakan infrared touchscreen overlay yang dipasang pada televisi LED 24 inci dan terintegrasi dengan personal computer untuk menampilkan denah digital interaktif di lingkungan Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Pendekatan ini tidak hanya menawarkan solusi yang lebih fleksibel dan ekonomis, tetapi juga memungkinkan analisis performa sistem secara lebih komprehensif, khususnya dalam aspek akurasi koordinat sentuhan, luas bidang sentuh jari, serta waktu respons sistem terhadap berbagai pola interaksi pengguna.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif untuk mengembangkan dan menguji sistem layar sentuh pada televisi yang diimplementasikan menggunakan

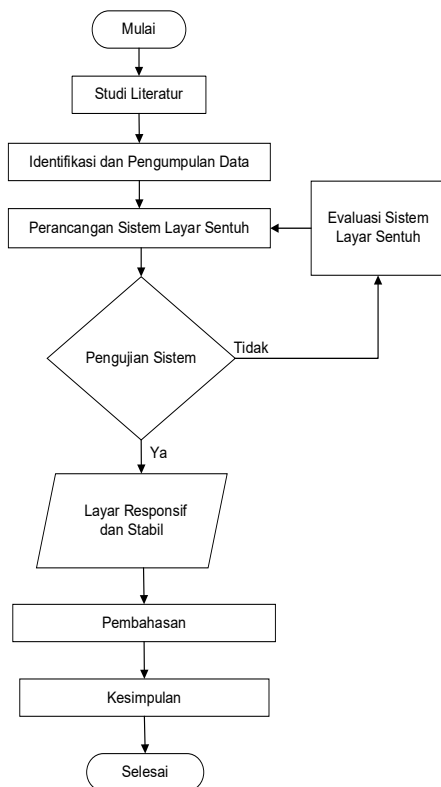
*infrared touchscreen overlay*. Metode eksperimental dipilih karena penelitian berfokus pada pengamatan langsung terhadap kinerja sistem berdasarkan perlakuan dan konfigurasi yang diterapkan pada perangkat interaksi manusia dan komputer berbasis sentuhan [5]. Pendekatan eksperimental umum digunakan dalam penelitian *Human Computer Interaction* (HCI) untuk mengevaluasi performa sistem interaktif melalui pengukuran waktu respon, akurasi interaksi, serta efisiensi penggunaan antarmuka [6]. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi karakteristik area sentuh jari, arah lintasan sentuhan, serta jumlah titik sentuh simultan, sedangkan variabel terikat berupa kinerja sistem layar sentuh yang diukur melalui waktu respon, luas area sentuh berbentuk elips, dan kemampuan deteksi *multi-touch*[7].

Tahapan penelitian disusun secara sistematis yang meliputi studi literatur, identifikasi kebutuhan sistem, perancangan dan perakitan perangkat, pengujian awal, evaluasi sistem, serta pengujian kinerja layar sentuh. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori terkait teknologi layar sentuh dan sistem *Human Machine Interface* yang banyak digunakan pada perangkat interaktif modern. *Click or tap here to enter text*. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai dasar perancangan sistem layar sentuh berbasis *infrared overlay*. Sistem yang telah dirakit kemudian diuji secara bertahap untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik sebelum dilakukan pengujian kinerja sistem interaksi. Hasil pengujian kemudian dianalisis dan dibahas untuk menarik kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

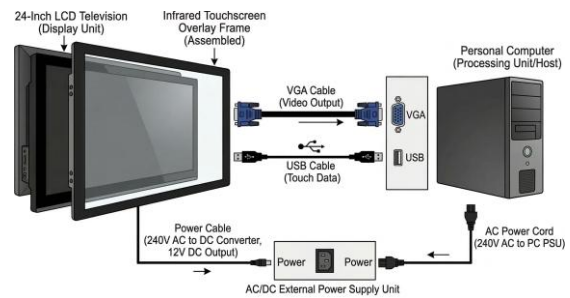
Setelah evaluasi sistem dilakukan, tahap berikutnya adalah perancangan alat penelitian. Perancangan alat penelitian meliputi integrasi televisi LED berukuran 24 inci sebagai media tampilan, *infrared touchscreen overlay* sebagai perangkat input sentuhan, serta *personal computer* (PC) sebagai unit pemrosesan utama. Teknologi *infrared touchscreen* bekerja dengan memanfaatkan jaringan sinar infra merah pada sisi bingkai layar untuk mendeteksi keberadaan objek yang menyentuh permukaan layar. Komunikasi data antara *touchscreen overlay* dan komputer dilakukan melalui antarmuka USB, sedangkan sinyal visual dari komputer ditransmisikan ke televisi menggunakan koneksi VGA.

Responden dalam penelitian ini berjumlah 10 orang yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling, yaitu memilih partisipan yang telah terbiasa menggunakan perangkat layar sentuh seperti smartphone atau tablet sehingga mampu melakukan interaksi sentuhan secara alami. Metode purposive sampling sering digunakan dalam penelitian interaksi manusia dan komputer untuk memperoleh partisipan yang relevan dengan konteks penggunaan sistem yang diuji.[8] Karakteristik responden meliputi usia antara 20–25 tahun, dengan komposisi laki-laki dan perempuan, serta mayoritas memiliki dominansi tangan kanan dalam melakukan interaksi sentuhan. Karakteristik pengguna seperti usia, jenis kelamin, dan dominansi tangan diketahui dapat mempengaruhi pola gerakan dan akurasi interaksi pada perangkat layar sentuh.[9]

Pengujian sistem mencakup pengujian karakteristik area sentuh berbentuk elips, waktu respon sentuhan pada lintasan horizontal, vertikal, dan diagonal, serta pengujian kemampuan *multi-touch* dengan input simultan hingga sepuluh titik sentuh. Pengujian *multi-touch* diperlukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengenali beberapa titik sentuh secara bersamaan pada permukaan layar interaktif. Respon layar dihitung menggunakan rasio antara waktu sentuhan dan panjang lintasan sentuh yang dilakukan oleh responden sehingga dapat menggambarkan kecepatan respon sistem terhadap interaksi pengguna. Untuk menjaga konsistensi hasil pengujian, variabel tekanan sentuhan dikontrol dengan meminta responden menggunakan ujung jari dengan tekanan sentuhan yang relatif konstan selama proses pengujian. Variasi tekanan sentuhan dapat mempengaruhi luas area kontak jari serta akurasi deteksi pada sistem layar sentuh berbasis sensor optik maupun kapasitif [10]. Setiap responden melakukan pengujian pada lintasan yang telah ditentukan untuk memastikan kondisi eksperimen yang seragam selama proses pengambilan data. Data hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif untuk menilai tingkat responsivitas, akurasi, dan kestabilan sistem layar sentuh yang dikembangkan., penelitian ini disusun secara sistematis pada Gambar 1 memperlihatkan alur tahapan penelitian



Gambar 1. Flowchart penelitian



Gambar 2. Rangkaian rancangan sistem layar sentuh

Pada Gambar 2 menunjukkan perancangan alat penelitian dilakukan dengan menyusun sistem perangkat keras untuk mendukung implementasi layar sentuh berbasis *touchscreen overlay infrared*. Sistem dirancang melalui integrasi televisi LED 24 inci sebagai media tampilan, *infrared touchscreen overlay* sebagai perangkat input sentuhan, dan *personal computer* (PC) sebagai unit pemrosesan utama. Komunikasi data antara *overlay* dan PC dilakukan melalui antarmuka USB, sedangkan transmisi tampilan visual menggunakan koneksi VGA. Seluruh perangkat memperoleh pasokan daya dari sumber listrik eksternal untuk memastikan sistem dapat beroperasi secara stabil dan terpadu.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Hasil Implementasi Sistem Layar Sentuh

Hasil implementasi sistem layar sentuh berbasis *infrared touchscreen overlay* yang berhasil diintegrasikan pada televisi LED berukuran 24 inci sehingga perangkat dapat berfungsi sebagai media interaksi berbasis sentuhan. Sistem ini digunakan untuk menampilkan denah navigasi Gedung A Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma (Unsurya) yang memungkinkan pengguna melakukan interaksi secara langsung melalui sentuhan pada permukaan layar. Integrasi perangkat keras dilakukan melalui koneksi USB antara *touchscreen overlay* dan komputer sebagai media transmisi data koordinat sentuhan, sedangkan sinyal tampilan visual dikirimkan dari komputer ke televisi menggunakan koneksi VGA sebagai media output grafis[11]

Hasil implementasi menunjukkan bahwa *touch frame* inframerah terpasang secara presisi pada bingkai televisi dan mampu mencakup seluruh area aktif layar. Sensor inframerah yang terletak pada sisi bingkai menghasilkan jaringan sinar inframerah horizontal dan vertikal yang berfungsi sebagai grid deteksi sentuhan. Ketika objek seperti ujung jari pengguna menyentuh permukaan layar, sebagian jalur sinar inframerah akan terhalang sehingga kontroler *touchscreen* dapat menentukan koordinat titik sentuhan berdasarkan posisi gangguan pada jalur sinar tersebut. Mekanisme ini memungkinkan sistem mendeteksi posisi sentuhan secara *real-time* tanpa memerlukan lapisan sensor tambahan pada permukaan layar. Perangkat *touchscreen overlay* secara otomatis dikenali oleh sistem operasi Windows sebagai perangkat *HID-compliant touch screen*. Dengan dukungan standar HID tersebut, sistem tidak

memerlukan instalasi driver tambahan sehingga proses integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dapat dilakukan secara langsung *plug-and-play*[12]. Hal ini menunjukkan bahwa kompatibilitas sistem input sentuhan dengan sistem operasi telah terpenuhi sehingga memungkinkan pengolahan data sentuhan dilakukan secara efisien oleh sistem komputer. Proses kalibrasi sistem menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik antara koordinat sentuhan fisik pada permukaan layar dengan koordinat tampilan digital pada sistem grafis. Proses ini melibatkan pemetaan koordinat (*touch mapping*) antara sistem deteksi sentuhan dengan resolusi tampilan layar sehingga setiap titik sentuhan dapat direpresentasikan secara akurat pada antarmuka grafis aplikasi. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa penyimpangan posisi sentuhan relatif kecil dan tidak mempengaruhi interaksi pengguna terhadap sistem navigasi digital.

Pada tahap pengujian fungsionalitas, seluruh fitur pada aplikasi denah digital dapat diakses melalui interaksi sentuhan secara langsung. Interaksi tersebut meliputi pemilihan gedung, navigasi menu, serta pembesaran tampilan peta untuk melihat informasi lokasi secara lebih detail. Respons sistem terhadap berbagai jenis interaksi menunjukkan bahwa proses komunikasi data antara perangkat input, sistem operasi, dan aplikasi berjalan secara stabil tanpa terjadi kegagalan deteksi sentuhan. Secara teknis, waktu respon pada sistem layar sentuh dipengaruhi oleh dua komponen utama, yaitu *latency hardware* dan *latency software*. *Latency hardware* berkaitan dengan proses deteksi sentuhan oleh sensor inframerah, konversi sinyal oleh kontroler *touchscreen*, serta proses transmisi data koordinat melalui antarmuka USB menuju komputer. Sementara itu, *latency software* berkaitan dengan proses pemrosesan data sentuhan oleh sistem operasi, interpretasi event sentuhan oleh *driver* HID, serta proses rendering grafis pada aplikasi denah digital[13].

Berdasarkan hasil pengujian respon sentuhan yang telah dilakukan, sistem menunjukkan waktu respon yang relatif cepat sehingga interaksi pengguna dapat dilakukan secara *real-time* tanpa jeda yang signifikan. Analisis performa menunjukkan bahwa komponen latency terbesar cenderung berasal dari proses pemrosesan perangkat lunak, khususnya pada tahap rendering grafis aplikasi. Hal ini disebabkan oleh proses pembaruan tampilan serta pengolahan elemen antarmuka grafis yang membutuhkan sumber daya komputasi dari unit pemrosesan komputer. Latency pada sisi perangkat keras relatif kecil karena teknologi *infrared touchscreen overlay* hanya memerlukan proses deteksi gangguan sinar inframerah untuk menentukan posisi sentuhan. Proses deteksi tersebut berlangsung secara cepat karena tidak melibatkan pengukuran perubahan kapasitansi listrik seperti pada teknologi layar sentuh kapasitif. Selain faktor latency, terdapat beberapa potensi *bottleneck* sistem yang dapat mempengaruhi performa keseluruhan sistem. *Bottleneck* pertama berasal dari *bandwidth* komunikasi USB yang digunakan untuk mentransmisikan data koordinat sentuhan dari *touchscreen overlay* ke komputer. *Bottleneck* kedua berkaitan dengan kinerja prosesor dan unit pemrosesan grafis pada komputer, terutama ketika aplikasi denah digital menampilkan elemen grafis interaktif dengan resolusi tinggi. *Bottleneck* ketiga berasal dari refresh rate layar televisi yang dapat membatasi kecepatan pembaruan tampilan visual ketika pengguna melakukan interaksi sentuhan secara cepat dan berulang[14].



**Gambar 3.** Hasil Implementasi sistem layar sentuh

Meskipun demikian, hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem layar sentuh mampu beroperasi secara stabil dengan respon interaksi yang konsisten pada seluruh area layar. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara televisi LED, perangkat *infrared touchscreen overlay*, dan komputer telah berhasil membentuk sistem antarmuka interaktif yang efektif. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai media informasi navigasi digital yang mendukung penyediaan layanan informasi kampus secara lebih interaktif, intuitif, dan mudah diakses oleh pengguna, yang di tunjukkan pada Gambar 3.

### 3.1.1 Persiapan dan Perakitan Layar Sentuh

Pada Gambar 4 menampilkan komponen-komponen utama sistem layar sentuh yang digunakan dalam penelitian. Sistem ini terdiri dari sebuah unit komputer (PC) sebagai pusat pemrosesan data, monitor layar sentuh sebagai media input dan output utama, serta perangkat pendukung seperti kabel koneksi VGA dan USB yang berfungsi menghubungkan monitor dengan komputer. Unit komputer bertugas menjalankan perangkat lunak sistem, sedangkan layar sentuh menampilkan antarmuka sekaligus menerima input dari pengguna melalui sentuhan. Seluruh komponen tersebut terintegrasi untuk mendukung pengoperasian sistem secara interaktif.



Gambar 4. Komponen utama sistem layar sentuh

### 3.1.2 Pemasangan Touch Frame IR

Pada Gambar 5 (a), (b), (c), (d) menunjukan *touch frame infrared* yang digunakan terdiri dari dua batang horizontal sepanjang 57,5 cm dan dua batang vertikal sepanjang 43,5 cm yang dipasang pada keempat sisi layar untuk membentuk area aktif sentuhan berbentuk persegi panjang. Sebelum pemasangan, rangka diletakkan pada bidang datar untuk memastikan keselarasan dan mencegah deformasi, kemudian setiap segmen disambungkan menggunakan konektor pabrikan sebagai jalur transmisi sinyal inframerah antar pemancar dan penerima. Setelah seluruh segmen terhubung dan disejajarkan, rangka dipasang secara permanen menggunakan sekrup sebagai pengikat mekanis guna menjaga kestabilan struktur dan akurasi sistem deteksi sentuhan selama pengujian dan pengoperasian.



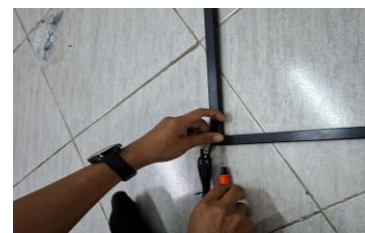
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 5.** (a) *Touch frame*, sekrup 8 buah, obeng, pita perekat dua sisi (b) Keempat sisi *touch frame* pada permukaan datar (c) Proses menghubungkan segmen sisi *touch frame* (d) Proses memasang sisi *touch frame* IR menggunakan sekrup

### 3.1.3 Pemasangan *Touch Frame* IR pada Bagian Depan Televisi

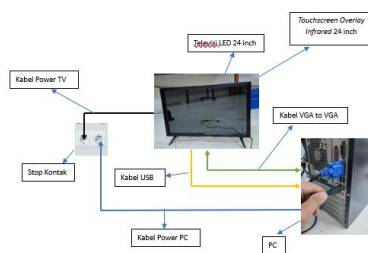
Pada Gambar 6 menunjukkan pemasangan *touch frame* pada permukaan depan layar televisi. *Touch frame* diposisikan dan disesuaikan dengan ukuran layar agar menutupi seluruh area tampilan secara presisi. Pemasangan ini bertujuan agar sensor sentuh dapat mendeteksi input sentuhan pengguna secara akurat pada seluruh permukaan layar. Setelah terpasang, *touch frame* akan dihubungkan ke sistem untuk mendukung fungsi interaksi berbasis layar sentuh..



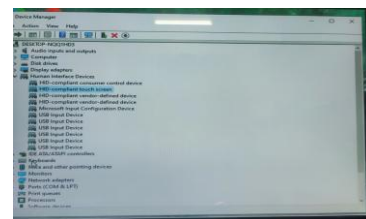
**Gambar 6.** Pemasangan *touch frame* pada layar bagian depan televisi

### 3.1.4 Integrasi Sistem dan Verifikasi Perangkat Layar Sentuh

Pada Gambar 7 (a), (b) menunjukkan, sistem layar sentuh yang terdiri dari televisi LED 24 inci, *infrared touchscreen overlay*, dan unit PC berhasil diintegrasikan melalui koneksi daya, kabel VGA sebagai media transmisi tampilan, serta kabel USB sebagai komunikasi data sentuhan, sehingga televisi berfungsi sebagai perangkat *input-output* berbasis layar sentuh, dan verifikasi pada *Device Manager* Windows menunjukkan bahwa perangkat terdeteksi sebagai *HID-compliant touch screen* tanpa instalasi driver tambahan



(a)



(b)

**Gambar 7.** (a) Integrasi sistem layar sentuh (b) Menu HID compliant touchscreen

### 3.1.5 Kalibrasi Sistem

Pada Gambar 8 menunjukkan Proses kalibrasi layar sentuh dilakukan menggunakan fitur bawaan *Human Interface Device* (HID) pada sistem operasi Windows untuk menyesuaikan koordinat input sentuhan dari infrared touchscreen overlay dengan posisi visual pada layar televisi. Kalibrasi dilakukan melalui menu *Tablet PC Settings* dengan menjalankan *Digitizer Calibration Tool*, di mana pengguna menyentuh titik-titik acuan yang ditampilkan pada layar secara berurutan. Data sentuhan tersebut

digunakan sistem untuk menyelaraskan koordinat input dan tampilan visual, kemudian disimpan agar konfigurasi kalibrasi diterapkan secara permanen.



**Gambar 8.** Kalibrasi sistem menggunakan *human interface device* (HID)

### 3.1.6 Pengujian Fungsionalitas Sistem Terhadap Respon Sentuhan Pengguna

Pengujian fungsionalitas sistem terhadap respon sentuhan pengguna dilakukan secara bertahap. Pada setiap tahapan, sistem mampu memberikan respons yang sesuai terhadap aktivitas pengguna, mulai dari proses awal, penampilan menu beranda, pemilihan dan interaksi dengan denah lokasi, hingga navigasi lanjutan dan pengakhiran penggunaan. Seluruh fungsi berjalan sesuai dengan perancangan tanpa ditemukan kesalahan, sehingga sistem navigasi berbasis layar sentuh dapat dinyatakan berfungsi dengan baik dan berhasil diimplementasikan ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil pengujian fungsionalitas sistem terhadap respon sentuhan pengguna

No	Tahap Proses	Aktivitas Pengguna	Respon Sistem	Keterangan
1	Mulai	Pengguna menyentuh layar pada halaman awal	Sistem menampilkan halaman beranda	Berhasil
2	Tampilan Beranda	Pengguna melihat menu utama sistem	Menu navigasi ditampilkan dengan benar	Berhasil
3	Pemilihan Menu	Pengguna memilih menu denah/lokasi ruangan	Denah lokasi ditampilkan	Berhasil
4	Interaksi Denah	Pengguna menyentuh area pada denah	Informasi lokasi muncul	Berhasil
5	Navigasi Lanjutan	Pengguna berpindah menu atau lantai	Tampilan denah berubah sesuai pilihan	Berhasil
6	Kembali ke Beranda	Pengguna memilih tombol kembali	Halaman awal ditampilkan kembali	Berhasil
7	Selesai	Pengguna mengakhiri penggunaan	Sistem kembali ke kondisi awal	Berhasil

### 3.2 Pengujian Respon Sentuhan Pengguna

Pada Gambar 9 menunjukkan pengujian respon sentuhan dilakukan dengan memodelkan area kontak jari sebagai bidang elips, karena bentuk sentuhan jari pada permukaan layar cenderung memanjang dan tidak menyerupai lingkaran sempurna akibat struktur anatomi jari dan arah tekanan saat interaksi. Area pengukuran difokuskan pada bantalan ujung jari, karena merupakan bagian yang paling umum digunakan pengguna dalam interaksi layar sentuh.



**Gambar 9.** Objek sentuh

### 3.2.1 Hasil Pengujian Ukuran Bantalan Ujung Jari

Pengukuran bantalan ujung jari dilakukan pada 10 responden dengan lima jenis jari, yaitu ibu jari, telunjuk, tengah, manis, dan kelingking, dengan parameter panjang dan lebar area sentuh dalam satuan milimeter. Hasil Pengujian ditunjukkan pada Tabel 2

**Tabel 2.** Hasil pengujian rata-rata ukuran bantalan ujung jari

Jenis Jari	Panjang Rata-Rata (mm)	Lebar Rata-Rata (mm)
Ibu Jari	28	18
Jari Telunjuk	25	15
Jari Tengah	23	17
Jari Manis	27	16
Jari Kelingking	23	25

Berdasarkan Tabel 2 nilai rata-rata ukuran bantalan ujung jari diperoleh sebagai parameter representatif, yaitu ibu jari lebar 28 mm panjang 18 mm, jari telunjuk lebar 25 mm panjang 15 mm, jari tengah lebar 23 mm panjang 17 mm, jari manis lebar 27 mm panjang 16 mm, dan jari kelingking lebar 23 mm panjang 15 mm. Nilai rata-rata tersebut digunakan sebagai acuan dalam perhitungan luas area sentuhan berbentuk elips untuk mengevaluasi respon sistem layar sentuh pada pengujian selanjutnya.

### 3.2.2 Hasil Pengujian Luas Area Sentuh pada Titik Tengah Layar

Pengujian luas area sentuh pada titik tengah layar dilakukan untuk memastikan kondisi pengukuran yang seragam, Luas area sentuhan dihitung dengan pendekatan bentuk elips berdasarkan ukuran panjang dan lebar bantalan ujung jari. Hasil perhitungan luas area sentuhan untuk masing-masing jenis jari pada titik tengah layar ditunjukkan pada Tabel 3

**Tabel 3** Hasil pengujian luas area sentuh paada titik tengah layar

No	Jenis Jari	Ukuran Jari		Ukuran Elips		Luas Elips (mm <sup>2</sup> )
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	$a^2$ (mm <sup>2</sup> )	$b^2$ (mm <sup>2</sup> )	
1	Ibu Jari	28	18	34	24	640,56
2	Telunjuk	25	15	34	24	640,56
3	Jari Tengah	23	17	34	24	640,56
4	Jari Manis	27	16	34	24	640,56
5	Kelingking	23	15	34	24	640,56

Berdasarkan Tabel 3 hasil luas area sentuh pada titik tengah layar diperoleh sebesar 640,56 mm<sup>2</sup> pada seluruh jenis jari yang diuji. Keseragaman nilai luas elips ini menunjukkan bahwa secara matematis sistem layar sentuh memproses area sentuhan pada nilai yang stabil dan konsisten, meskipun terdapat perbedaan karakteristik fisik pada masing-masing jari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan mengolah sentuhan dari setiap jari secara merata, tanpa adanya perbedaan yang berarti pada luas area sentuh yang teridentifikasi pada titik tengah layar.

### 3.2.3 Hasil Pengujian Luas Area Sentuh Pada Titik Tepi Layar

Pengujian luas area sentuh pada titik tepi layar dilakukan dengan menggunakan lima jenis jari, yaitu ibu jari, jari telunjuk, jari tengah, jari manis, dan jari kelingking. Luas area sentuhan dihitung dengan pendekatan bentuk elips berdasarkan ukuran panjang dan lebar bantalan ujung jari. Hasil perhitungan luas area sentuhan untuk masing-masing jenis jari pada titik tepi layar ditunjukkan pada Tabel 4

**Tabel 4.** Hasil pengujian luas area sentuh paada titik tepi layar

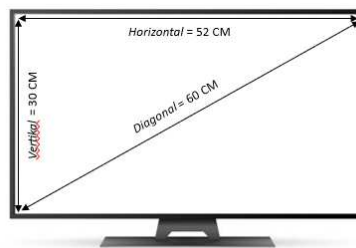
No	Jenis Jari	Ukuran Jari		Ukuran Elips		Luas Elips (mm <sup>2</sup> )
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	a <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	b (mm)	
1	Ibu Jari	28	18	34	12	640,56
2	Telunjuk	25	15	34	12	640,56
3	Jari Tengah	23	17	34	12	640,56
4	Jari Manis	27	16	34	12	640,56
5	Kelingking	23	15	34	12	640,56

Berdasarkan Tabel 4, luas area sentuh elips pada titik tepi dan tengah layar bernilai konsisten sebesar 640,56 mm<sup>2</sup> untuk seluruh jenis jari, menunjukkan bahwa sistem layar sentuh memproses area sentuhan secara stabil dan merata tanpa dipengaruhi perbedaan karakteristik jari.

### 3.3 Pengujian Respon Waktu Sentuh

Penelitian ini, dimensi layar digunakan sebagai dasar penentuan jalur pengujian waktu respon sentuh pada area layar. Pengujian dilakukan melalui arah horizontal, vertikal, dan diagonal untuk mengevaluasi kinerja respons sistem secara menyeluruh pada seluruh permukaan layar sentuh.

Berdasarkan Hui Tian et al. (2022), posisi target sentuhan dan orientasi gerakan pada layar sentuh mempengaruhi kecepatan serta akurasi interaksi pengguna, sehingga pengujian pada berbagai arah sentuhan diperlukan untuk memperoleh data respons sistem yang akurat dan representatif.[15]



**Gambar 10.** Dimensi televisi horizontal, vertikal, diagonal

Pada Gambar 10 menunjukkan ukuran dimensi layar yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja respon sentuh secara menyeluruh pada seluruh permukaan layar sentuh dengan mengukur Panjang horizontal 52 cm, lebar vertikal 30 cm dan Panjang diagonal 60 cm.

#### 3.3.1 Hasil Pengujian Respon Waktu Sentuh pada Area Horizontal Layar Sentuh

Pengujian respon sentuhan horizontal dilakukan untuk mengukur waktu respon dan stabilitas deteksi sentuhan dari kiri ke kanan layar dengan melibatkan 10 responden. Hasil respon waktu sentuh pada area horizontal layar sentuh ditunjukkan pada Tabel 5

**Tabel 5.** Hasil pengujian respon waktu sentuh pada area horintal layar sentuh

Responden	Ukuran <i>Horizontal</i> Layar (cm)	Waktu (detik)	Respon (detik/cm)
Responden 1	52	2,96	0,0569
Responden 2	52	2,51	0,0483
Responden 3	52	2,77	0,0533
Responden 4	52	2,66	0,0512
Responden 5	52	2,83	0,0544
Responden 6	52	2,32	0,0446
Responden 7	52	2,11	0,0406
Responden 8	52	2,33	0,0448
Responden 9	52	2,85	0,0548
Responden 10	52	2,34	0,0450
<b>Rata - Rata</b>			<b>0,0494</b>

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan hasil nilai respon waktu sentuh pada layar horizontal yang dihitung dengan membagi waktu sentuhan (detik) terhadap ukuran panjang lintasan horizontal layar (cm), sehingga diperoleh respon layar dalam satuan detik/cm. Ukuran horizontal layar yang digunakan sebesar 52 cm. Nilai respon waktu sentuh layar horizontal merepresentasikan kecepatan sistem dalam merespons sentuhan pada arah horizontal. Hasil pengujian respon waktu sentuh layar oleh 10 responden menunjukkan nilai respon waktu sentuh layar horizontal yang berkisar antara 0,0406 detik/cm sampai dengan 0,0569 detik/cm. Dari nilai tersebut, diperoleh hasil nilai rata-rata respon layar sebesar 0,0494 detik/cm.

Berdasarkan Pelurson & Nigay (2016), menyatakan bahwa respon waktu sentuh berkategori cepat ditunjukkan dengan nilai respon sebesar 0,03 - 0,07 detik/cm.[16] Sedangkan nilai respon Gerakan yang normal sebesar 0,1 - 0,5 detik/cm (Balasubramanian et al., 2026).[17] Nilai respon waktu sentuh pada layar horizontal keseluruhan responden menunjukkan hasil respon waktu berkategori cepat. Hasil rata-rata nilai respon waktu sentuk layar horizontal juga memiliki kategori respon yang cepat.

### 3.3.2 Hasil Pengujian Respon Waktu Sentuh Vertikal pada Area Layar Sentuh

Pengujian respon sentuhan vertikal dilakukan untuk mengukur waktu respon dan stabilitas deteksi sentuhan dari bawah ke atas layar dengan melibatkan 10 responden. Hasil respon waktu sentuh pada area vertikal layar sentuh ditunjukkan pada Tabel 6

**Tabel 6.** Hasil pengujian respon waktu sentuh pada area vertikal layar sentuh

Responden	Ukuran <i>Vertikal</i> Layar (cm)	Waktu (detik)	Respon (detik/cm)
Responden 1	30	2,12	0,0707
Responden 2	30	2,24	0,0747
Responden 3	30	1,84	0,0613
Responden 4	30	1,98	0,0660
Responden 5	30	2,19	0,0730
Responden 6	30	2,11	0,0703
Responden 7	30	1,92	0,0640
Responden 8	30	2,01	0,0670
Responden 9	30	2,15	0,0717
Responden 10	30	1,97	0,0657
<b>Rata - Rata</b>			<b>0,0684</b>

Berdasarkan Tabel 6 menunjukan hasil nilai respon waktu sentuh pada layar vertikal yang dihitung dengan membagi waktu sentuhan (detik) terhadap ukuran panjang lintasan vertikal layar (cm), sehingga diperoleh respon layar dalam satuan detik/cm. Ukuran vertikal layar yang digunakan sebesar 30 cm Pada penelitian interaksi layar sentuh oleh Pelurson & Nigay (2016),[16] menyatakan bahwa gerakan vertical memiliki karakteristik kecepatan yang sangat mirip dengan gerakan horizontal. Arah gerakan tidak mengubah batas kenyamanan respons sistem, karena batas tersebut ditentukan oleh persepsi manusia dan latensi sistem.

Hasil pengujian respon waktu sentuh layar oleh 10 responden menunjukkan nilai respon waktu sentuh layar vertikal berkisar antara 0,0613 detik/cm sampai dengan 0,0747 detik/cm. Dari nilai tersebut, diperoleh hasil nilai rata-rata respon layar sebesar 0,0684 detik/cm. Nilai respon waktu sentuh pada layar vertikal keseluruhan responden menunjukkan hasil respon waktu berkategori cepat. Hasil rata-rata nilai respon waktu sentuk layar vertikal juga memiliki kategori respon yang cepat.

### 3.3.3 Hasil Pengujian Respon Waktu Sentuh Diagonal pada Area Layar Sentuh

Pengujian respon sentuhan diagonal dilakukan untuk mengukur waktu respon dan stabilitas deteksi sentuhan dari sudut layar ke sudut layar berlawanan dengan melibatkan 10 responden. Hasil respon waktu sentuh pada area diagonal layar sentuh ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil pengujian respon waktu sentuh pada area diagonal layar sentuh

Responden	Ukuran Diagonal Layar (cm)	Waktu (detik)	Respon (detik/cm)
Responden 1	60	2,96	0,0493
Responden 2	60	2,51	0,0418
Responden 3	60	2,77	0,0462
Responden 4	60	2,63	0,0438
Responden 5	60	2,85	0,0475
Responden 6	60	2,45	0,0408
Responden 7	60	2,75	0,0458
Responden 8	60	2,78	0,0463
Responden 9	60	2,94	0,0490
Responden 10	60	2,93	0,0488
<b>Rata - Rata</b>			0,0459

Berdasarkan Tabel 7 menunjukan hasil nilai respon waktu sentuh pada layar diagonal yang dihitung dengan membagi waktu sentuhan (detik) terhadap ukuran panjang lintasan diagonal layar (cm), sehingga diperoleh respon layar dalam satuan detik/cm. Nilai respon waktu sentuh layar diagonal merepresentasikan kecepatan sistem dalam merespons sentuhan pada arah diagonal. Ukuran diagonal layar yang digunakan sebesar 60 cm. Hasil pengujian respon waktu sentuh layar oleh 10 responden menunjukkan nilai respon waktu sentuh layar diagonal berkisar antara 0,0418 detik/cm sampai dengan 0,0493 detik/cm. Dari nilai tersebut, diperoleh hasil nilai rata-rata respon layar sebesar 0,0459 detik/cm. Nilai respon waktu sentuh pada layar diagonal keseluruhan responden menunjukkan hasil respon waktu berkategori cepat. Hasil rata-rata nilai respon waktu sentuk layar diagonal juga memiliki kategori respon yang cepat.

### 3.3.4 Hasil Pengujian Respon Waktu Sentuh Elips pada Layar Sentuh

Pengujian respon waktu sentuh elips dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan dan konsistensi sistem layar sentuh dalam merespons input sentuhan berbentuk elips. Pengujian dilakukan dengan mencatat waktu yang dibutuhkan sistem untuk mendeteksi sentuhan dan menampilkan objek elips, melibatkan 10 responden, dengan hasil pengujian disajikan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Hasil pengujian respon waktu sentuh elips pada layar sentuh

NO	Responden	Waktu Respon Layar (Detik)
1	Responden 1	0,32
2	Responden 2	0,56
3	Responden 3	0,46
4	Responden 4	0,73
5	Responden 5	0,66
6	Responden 6	0,54
7	Responden 7	0,42
8	Responden 8	0,55
9	Responden 9	0,49
10	Responden 10	0,67
<b>Rata -Rata</b>		<b>0,54</b>

Berdasarkan Tabel 8, menunjukkan data nilai respon waktu sentuh elips pada layar sentuh. Nilai waktu respon layar yang diperoleh berkisar antara 0,32 detik sampai dengan 0,73 detik, dengan nilai rata-rata waktu respon layar sentuh terhadap input elips sebesar 0,54 detik. Hasil nilai respon waktu sentuh layar elips pada layar sentuh ini dipengaruhi oleh variasi kecepatan gerakan dan ketelitian pengguna. Hal ini sesuai dengan pernyataan Jaramillo-Yanes et al. (2020) yang menyatakan bahwa

respon layar dipengaruhi oleh waktu atau kecepatan gerakan dan akurasi pengguna. Pada tabel 8, sistem menunjukkan respon yang relatif cepat dan konsisten dalam memproses pola sentuhan *non-linier*, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki performa responsivitas yang baik untuk mendukung interaksi sentuhan berbentuk elips[18].

### 3.3.5 Hasil Pengujian Respon Sentuhan Berdasarkan Jumlah Jari

Pengujian respon sentuhan *multi-touch* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem layar sentuh dalam mendeteksi input sentuhan simultan dengan jumlah jari yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan memberikan sentuhan menggunakan satu hingga sepuluh jari pada area aktif layar, dan keberhasilan deteksi dicatat untuk menilai konsistensi serta keandalan sistem, dengan hasil pengujian disajikan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Hasil pengujian respon sentuhan berdasarkan jumlah jari

NO	Responden	Hasil
1	Satu Jari	Berhasil
2	Dua Jari	Berhasil
3	Tiga Jari	Berhasil
4	Empat Jari	Berhasil
5	Lima Jari	Berhasil
6	Enam Jari	Berhasil
7	Tujuh jari	Berhasil
8	Delapan Jari	Berhasil
9	Sembilan Jari	Berhasil
10	Sepuluh Jari	Berhasil

Berdasarkan Tabel 9, sistem layar sentuh berhasil mendeteksi input sentuhan simultan dari satu hingga sepuluh jari pada seluruh pengujian, menunjukkan dukungan *multi-touch* yang stabil dan andal. Hasil ini menegaskan bahwa sistem mampu menangani interaksi multi-jari secara optimal dan layak digunakan untuk aplikasi pemetaan dan navigasi berbasis layar sentuh.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem layar sentuh berbasis *infrared touchscreen overlay* berhasil diintegrasikan pada televisi LED 24 inci dan berfungsi dengan baik sebagai media informasi interaktif untuk menampilkan denah Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, proses kalibrasi menggunakan *Human Interface Device (HID)*, serta pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem mampu merespons input sentuhan pengguna secara akurat dan stabil. Hasil pengujian terhadap 10 responden menunjukkan bahwa karakteristik area sentuh jari dapat dimodelkan sebagai bidang elips dengan luas area sentuh rata-rata sebesar 640,56 mm<sup>2</sup> untuk seluruh jenis jari, baik pada titik tengah maupun tepi layar. Selain itu, sistem menghasilkan nilai rata-rata respon layar sebesar 0,0494 detik/cm pada arah horizontal, 0,0684 detik/cm pada arah vertikal, dan 0,0459 detik/cm pada arah diagonal, serta waktu respon rata-rata sebesar 0,54 detik pada input sentuhan elips. Sistem juga mampu mendeteksi sentuhan *multi-touch* secara simultan hingga sepuluh jari, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki kinerja yang responsif, konsisten, dan andal untuk mendukung interaksi pengguna berbasis layar sentuh.

Dengan demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian sistem dilakukan dengan jumlah responden yang terbatas sehingga variasi karakteristik pengguna seperti perbedaan ukuran jari, tekanan sentuhan, dan kebiasaan interaksi belum sepenuhnya terwakili. Selain itu, pengujian sistem hanya difokuskan pada analisis karakteristik area sentuh dan waktu respon tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan seperti intensitas cahaya sekitar, gangguan inframerah eksternal, serta performa sistem dalam penggunaan jangka panjang. Sebagai rekomendasi pengembangan selanjutnya, penelitian ini dapat diperluas dengan melakukan pengujian pada jumlah responden yang lebih besar serta menambahkan analisis ergonomi interaksi pengguna. Selain itu, pengembangan

perangkat lunak dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur navigasi yang lebih interaktif, optimasi performa grafis aplikasi, serta integrasi dengan sistem basis data informasi kampus secara dinamis.

Sistem yang dikembangkan memiliki potensi untuk diintegrasikan dengan konsep *Smart Campus* berbasis *Internet of Things* (IoT). Integrasi tersebut dapat memungkinkan sistem layar sentuh terhubung dengan jaringan informasi kampus secara real-time, seperti sistem informasi akademik, jadwal perkuliahan, informasi ruang kelas, maupun sistem navigasi gedung yang lebih adaptif. Dengan pengembangan tersebut, media informasi interaktif berbasis layar sentuh tidak hanya berfungsi sebagai penampil denah digital, tetapi juga dapat menjadi bagian dari ekosistem layanan digital kampus yang terintegrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Henze, M. Funk, dan A. S. Shirazi, "Software-reduced touchscreen latency," dalam *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI 2016*, Association for Computing Machinery, Inc, Sep 2016, hlm. 434–441. doi: 10.1145/2935334.2935381.
- [2] H. Sharma, "A Review Paper on Touch Screen," Jaipur, India, 2017. doi: 10.1145/2935334.2935381.
- [3] E. AliAbbasi, M. Muzammil, O. Sirin, P. Lefèvre, Ø. G. Martinsen, dan C. Basdogan, "Tactile Perception of Electroadhesion: Effect of DC versus AC Stimulation and Finger Moisture," Sep 2024, doi: 10.1109/TOH.2024.3441670.
- [4] K. S. Jha *dkk.*, "COMPARATIVE STUDY OF VARIOUS TOUCH SCREEN TECHNOLOGIES: A REVIEW," *IJRAR2001146 International Journal of Research and Analytical Reviews*, vol. 7, no. 1, Feb 2020, doi: 2001146.
- [5] S. Suto, T. Watanabe, S. Shibusawa, dan M. Kamada, "Multi-touch tabletop system using infrared image recognition for user position identification," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 5, Mei 2018, doi: 10.3390/s18051559.
- [6] H. Weiss, J. Tang, C. Williams, dan L. Stirling, "Performance on a target acquisition task differs between augmented reality and touch screen displays," *Appl. Ergon.*, vol. 116, Apr 2024, doi: 10.1016/j.apergo.2023.104185.
- [7] H. C. Ates, I. Apostolopoulos, dan E. Folmer, "Expanding the Vocabulary of Multitouch Input using Magnetic Fingerprints," Jan 2015, [Daring]. Tersedia pada: <http://arxiv.org/abs/1501.03218>
- [8] N Yasin dan M Haq, "Qualitative, Quantitative, and Mixed Methodology Paradigms," *Journal of Practical Studies in Education*, vol. 6, no. 6, Nov 2025, doi: 10.46809/jpse.v6i6.144.
- [9] X. Guan, Z. Pan, J. Feng, dan J. Zhou, "BiFingerPose: Bimodal Finger Pose Estimation for Touch Devices," Nov 2025, doi: 10.48550/arXiv.2511.17306.
- [10] L. Yu, H. Abuella, M. Z. Islam, J. F. O'Hara, C. Crick, dan S. Ekin, "Gesture Recognition using Reflected Visible and Infrared Light Wave Signals," Jul 2020, doi: 10.48550/arXiv.2007.08178.
- [11] H. Nam, K. H. Seol, J. Lee, H. Cho, dan S. W. Jung, "Review of capacitive touchscreen technologies: Overview, research trends, and machine learning approaches," 2 Juli 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s21144776.
- [12] Y. Yang, Y. Gao, K. Liu, Z. He, dan L. Cao, "Contactless human–computer interaction system based on three-dimensional holographic display and gesture recognition," *Appl. Phys. B*, vol. 129, no. 12, Des 2023, doi: 10.1007/s00340-023-08128-2.
- [13] M. Jenkins, D. Ferris, dan S. Kelly, "Enabling and Advancing Adaptive HMI Ecosystems for Highly Configurable Multimodal Smartphone Control," dalam *Human-Computer Interaction & Emerging Technologies*, AHFE International, 2025. doi: 10.54941/ahfe1006240.
- [14] H. Zhou, D. Wang, Y. Yu, dan Z. Zhang, "Research Progress of Human–Computer Interaction Technology Based on Gesture Recognition," 1 Juli 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/electronics12132805.
- [15] L. T. Hui, L. S. Hoe, dan H. Ismail, "Association between Screen Size and Touch Accuracy based on a Computerized Fitts' Law Test," *Journal of Logistics, Informatics and Service Science*, vol. 9, no. 4, hlm. 27–36, 2022, doi: 10.33168/LISS.2022.040.

- [16] S. Pelurson dan L. Nigay, “Bimanual input for multiscale navigation with pressure and touch gestures,” dalam *ICMI 2016 - Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction*, Association for Computing Machinery, Inc, Okt 2016, hlm. 145–152. doi: 10.1145/2993148.2993152.
- [17] J. K. Balasubramanian, D. M. Pool, dan Y. Vardar, “Sliding speed influences electrovibration-induced finger friction dynamics on touchscreens,” *Tribol. Int.*, vol. 213, Jan 2026, doi: 10.1016/j.triboint.2025.111054.
- [18] A. Jaramillo-Yáñez, M. E. Benalcázar, dan E. Mena-Maldonado, “Real-time hand gesture recognition using surface electromyography and machine learning: A systematic literature review,” 1 Mei 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s20092467.