

Layar Sentuh Berbasis FTIR (*Frustrated Total Internal Reflection*) Sebagai Papan Tulis Elektronik

Afriyani Soraya Sari^{*1}, Agus Harjoko², Triyogatama Wahyu Widodo³

¹Prodi Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

^{2,3}Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: ^{*1}de_hikari@yahoo.com, ²aharjoko@ugm.ac.id, ³yogatama@ugm.ac.id

Abstrak

Teknologi berkembang dengan kian pesat dan telah diterapkan disegala aspek dan bidang. Dunia pendidikan pun menjadi salah satu target pengembangan teknologi tersebut. Sebagai contoh konkrit adalah digunakannya dukungan teknologi audio visual dalam upaya meningkatkan efektifitas proses pengajaran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan salah satu metode layar sentuh berbasis *Frustrated Total Internal Reflection* (FTIR) sebagai papan tulis elektronik. Sistem ini dibangun dari layar akrilik, LED inframerah, proyektor LCD, webcam inframerah, CCV (*Community Core Vision*) sebagai software pengolah citra serta program aplikasi papan tulis yang dibuat dengan Adobe Flash. Mekanisme kerja sistem cukup sederhana, yakni ketika jari pengguna ditekan pada layar akrilik, akan timbul distorsi pada titik sentuh sehingga webcam dapat menangkap blob yang terbentuk dari gerakan tersebut menggunakan CCV, dimana data dari CCV tersebut digunakan sebagai input masukan untuk papan tulis elektronik.

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah papan tulis elektronik yang diwujudkan dalam bentuk perangkat lunak dan perangkat keras. Pengujian model dilakukan dengan uji efektifitas fungsional sistem sebagai papan tulis elektronik. Hasil pengujian dengan variasi pencahayaan didapatkan sistem dapat bekerja optimal dalam ruang tertutup dengan tidak adanya gangguan sinar inframerah lain termasuk cahaya matahari.

Kata kunci— Layar Sentuh, FTIR, CCV, Papan tulis elektronik.

Abstract

The technology has grown rapidly and its application in many aspects and fields. The education became one of the target of these technology development. As an example is the use of audio-visual technology in effort of increasing the effectiveness in teaching process.

This research is aimed to implement a touch-screen method based on *Frustrated Total Internal Reflection* (FTIR) as an Electronic Blackboard. This system is constructed from acrylic screen, infrared LED, LCD projector, infrared webcam, CCV as image processing software and blackboard application program created with Adobe Flash. The mechanism is quite simple, i.e. when the user's finger touch the acrylic screen, distortion will occur at the touching point so that the webcam can capture the movement of blob uses CCV, where the CCV's data is used as an input for the Electronic Blackboard.

Result from this research is electronic blackboard manifested in the form of software and hardware. The model is tested with the functional system effectiveness as an electronic blackboard. The test result with the variety of lighting conditions, the system can work optimally in a confined space with non interrupting infrared light including the sunlight.

Keywords— Touch Screen, FTIR, CCV, Electronic Blackboard

1. PENDAHULUAN

Teknologi seringkali diartikan sebagai suatu ilmu terapan dari rekayasa yang diwujudkan dalam bentuk karya cipta manusia yang didasarkan pada prinsip ilmu pengetahuan. Teknologi telah banyak memberikan kontribusi dalam kemajuan suatu bangsa. Teknologi pada dasarnya dikembangkan untuk membuat hidup manusia semakin mudah dan semakin terbantuan. Kecanggihan teknologi ini semakin hari semakin berkembang seiring dengan meningkatnya sumber daya manusia yang berkualitas. Hal ini ditandai dengan adanya penerapan teknologi dalam berbagai bidang yang telah menciptakan berbagai macam kemudahan dalam segala aspek kehidupan. Teknologi kini telah meranah di bidang informasi, kesehatan, kewirausahaan, bahkan pendidikan seperti penggunaan audio - visual sebagai sarana belajar mengajar. Teknologi layar sentuh, sebagai salah satu teknologi yang terus berkembang cukup menarik perhatian masyarakat luas. Bahkan tidak dapat dipungkiri lagi bahwa teknologi layar sentuh sekarang ini bisa dibilang memiliki potensi tinggi dalam mengambil alih perhatian masyarakat. Hal ini seperti yang telah diberitakan bahwa menurut filosofi Steve Jobs, sentuhan memiliki makna filosofis berupa cinta dan kepedulian. Oleh karena itulah Steve Jobs yakin bahwa sistem ini akan menjadi favorit banyak orang di masa mendatang [1].

Sejalan dengan perkembangan tersebut, berbagai metode-metode baru telah berkembang dan telah digunakan dalam berbagai aplikasi. Akan tetapi, teknologi layar sentuh yang ada saat ini hadir dengan harga yang cukup mahal karena dalam pembuatannya membutuhkan infrastruktur setingkat industri [2]. Oleh karena itu, penggunaan teknologi layar sentuh berbasis optik yang lebih murah dikembangkan untuk mendukung proses pembelajaran dibidang pendidikan. Metode FTIR sebagai salah satu metode layar sentuh berbasis optik digunakan untuk menggantikan metode pembelajaran konvensional yang masih menggunakan papan, kapur tulis dan spidol. Metode FTIR ini digunakan sebagai salah satu teknik pencahayaan dalam pembuatan sistem layar multi sentuh. Dengan perpaduan penggunaan CCV sebagai jembatan antara media fisik dan virtual serta TUIO sebagai protokol komunikasi dalam bidang *Tangible User Interface* yang terintegrasi dalam sebuah openframeworks memudahkan dalam pengembangan sistem. Sebuah media fisik biasa dapat bertransformasi menjadi media yang memudahkan pengguna dalam berinteraksi dengan sistem digital.

Berangkat dari latar belakang di atas, papan tulis elektronik yang mengaplikasikan teknologi layar sentuh FTIR merupakan implementasi teknologi yang cukup menarik untuk diteliti. Sehingga kita sebagai mahasiswa dengan latar belakang pendidikan dalam bidang elektronika dan instrumentasi tidak hanya terbatas sebagai pengguna namun diharapkan dapat mengetahui proses di dalamnya dan ikut berpartisipasi dalam pengembangan sistem selanjutnya.

Pada penelitian ini akan dibangun sebuah papan tulis elektronik yang memanfaatkan metode FTIR dan webcam dimodifikasi sebagai teknik pencahayaan, CCV sebagai software pengolah citra untuk mendeteksi sentuhan, TUIO sebagai protokol komunikasi dan Adobe Flash sebagai aplikasi *event handler*.

Penelitian mengenai metode FTIR [3] pernah dilakukan sebelumnya. Dengan menggunakan *wiimote* dan *bluetooth*, metode ini dapat digunakan untuk membantu dalam pembuatan sebuah layar multi sentuh. Posisi koordinat sentuhan yang tertangkap oleh *wiimote* dikirim ke komputer melalui koneksi *bluetooth*.

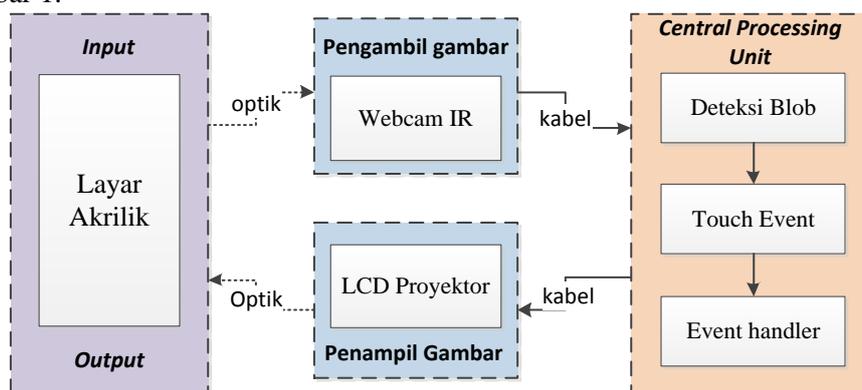
Modifikasi webcam menjadi webcam inframerah [4] telah berhasil dilakukan. Webcam biasa yang dimodifikasi dengan menghilangkan block filter inframerah dan menggantinya dengan *negative film* berhasil membuat webcam tersebut hanya dapat menangkap cahaya inframerah dan memfilter cahaya tampak.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Sistem Secara Keseluruhan

Sistem yang dibangun pada penelitian ini merupakan sebuah papan tulis elektronik sentuh yang memanfaatkan metode FTIR dan perpaduan antara CCV serta TUIO. Untuk

mempermudah dalam perancangan, dibuat diagram blok rancangan sistem yang ditunjukkan pada Gambar 1.



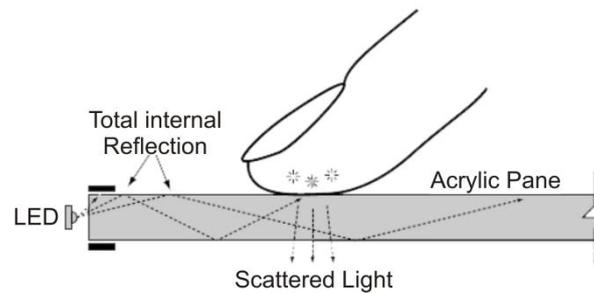
Gambar 1 Diagram blok rancangan sistem

Layar akrilik digunakan sebagai media masukan dan keluaran yang akan menjadi antarmuka antara pengguna dengan komputer. Sebuah webcam IR yang terhubung dengan laptop melalui kabel diletakkan di belakang layar untuk menangkap penampakan masukan pada layar akrilik tersebut. Hasil tangkapan *webcam* berupa *frame-frame* gambar dari cahaya inframerah yang kemudian menjadi masukan yang dikirimkan ke laptop untuk diproses. Pada saat pengguna menyentuh ujung jarinya pada layar akrilik, intensitas cahaya pada titik sentuhan akan meningkat sehingga menimbulkan blob. Proses deteksi blob yang merupakan perangkat lunak pengolah citra akan memproses frame gambar tersebut dengan beberapa filter citra sehingga hanya didapatkan blob sebagai *foreground*. Setelah blob-blob ini terdeteksi, dengan metode pencarian kontour dan moment, sebuah blob dapat diketahui ukuran dan koordinat titik sentroidnya untuk kemudian dibedakan blob yang tertangkap merupakan sentuhan jari atau bukan. Blob dengan ukuran di dalam rentang ukuran blob yang telah ditentukan, maka blob tersebut terdeteksi sebagai sentuhan jari (*touch event*) pada layar akrilik yang akan memiliki koordinat tertentu pada layar. Setelah *touch event* didapatkan, proses ini dilanjutkan dengan proses *event handler*. *Event handler* tersebut berupa *GUI drawing canvas* pengganti papan tulis. *Event handler* tersebut yang digunakan untuk menggerakkan pena pada *GUI drawing canvas* yang telah dibuat layaknya spidol maupun kapur tulis. LCD Proyektor akan mengambil kembali informasi yang diolah oleh komputer dan menampilkannya ke layar akrilik sebagai keluaran.

2.2. Rancangan Perangkat Keras

Sistem ini menggunakan metode FTIR sebagai teknik pencahayaan layar sentuh dimana metode ini mengacu pada peristiwa fisika *Total Internal Reflection* (TIR). *Total Internal Reflection* (TIR) atau refleksi internal total terjadi apabila suatu cahaya memasuki sebuah material dari material lainnya yang memiliki indeks refraksi lebih tinggi dan cahaya yang masuk memiliki sudut datang lebih besar daripada sudut kritis. Pada saat kondisi ini terpenuhi, maka berkas cahaya yang telah masuk ke dalam material tersebut tidak dapat keluar karena berkas cahaya yang membentur dinding-dinding material akan terpantul kembali ke dalam. Jika medium ini mendapat sentuhan, maka cahaya yang mengalami refleksi internal total tadi akan mengalami *frustrated* (berhambur) karena cahaya mencoba melarikan diri [5]. Selambar akrilik digunakan sebagai layar dan cahaya inframerah yang memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1mm [6] dipancarkan ke dalam lembaran akrilik dari tepian akrilik tersebut. Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio.

Tampilan ilustrasi peristiwa terjadinya FTIR ini ditunjukkan pada Gambar 2.



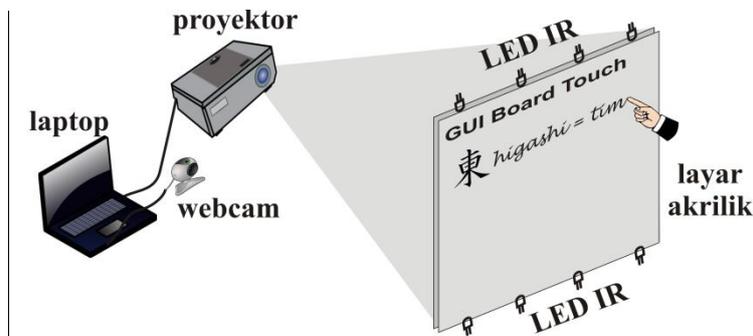
Gambar 2 Ilustrasi Teknologi FTIR [7].

Sebuah akrilik bening sebagai layar yang nantinya digunakan sebagai media masukan yang juga sekaligus sebagai media keluaran. Dua sisi akrilik, yaitu sisi atas dan sisi bawah ditembakkan oleh 50 buah LED inframerah yang dihadapkan sejajar dengan layar untuk mengisi layar akrilik dengan pantulan sinar-sinar inframerah. Untuk masing-masing lapisan atas dan bawah terdiri dari 25 LED yang terpasang secara paralel dengan jarak tiap LED sejauh 2,5 cm. LED Inframerah yang digunakan harus disambungkan dengan resistor secara seri untuk membatasi arus yang mengalir. LED inframerah yang digunakan bekerja pada tegangan $V_d = 1,2\text{ V}$ dan arus referensi $I = 13\text{ mA}$. Dalam perancangan sistem, digunakan sebuah adaptor DC dengan keluaran $6,2\text{ V } 1\text{ A}$ dan 50 buah LED yang dirangkai secara paralel. Dalam hal ini, perhitungan besarnya resistor yang digunakan sebesar :

$$\begin{aligned} R &= \frac{V_s - V_d}{I} \\ &= \frac{6,2\text{ V} - 1,2\text{ V}}{13\text{ mA}} \\ &= 384\ \Omega \end{aligned}$$

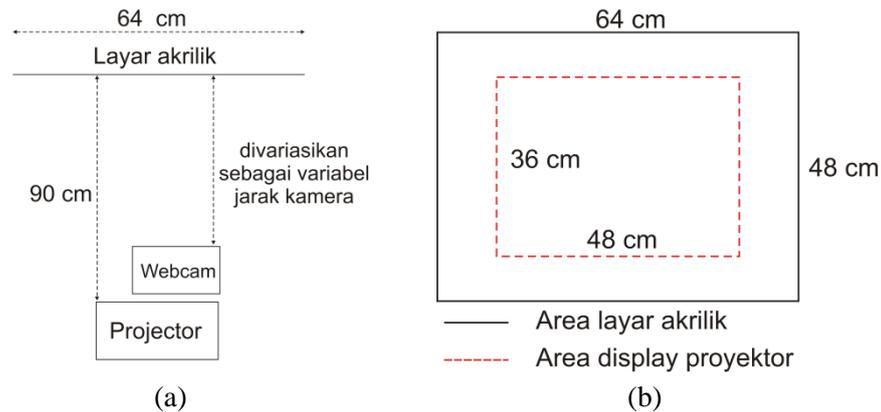
Pada rangkaian menggunakan resistor $R = 390\ \Omega$ karena nilai ini yang tersedia di pasaran dan paling dekat dengan perhitungan, selain itu juga sebagai batas aman agar LED tidak putus.

Webcam yang diletakkan di belakang layar akan mendeteksi hamburan sinar inframerah pada layar akrilik akibat sentuhan jari. Rancangan perangkat keras pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Perancangan perangkat keras

Layar dibuat dari akrilik bening dengan ukuran $64\text{ cm} \times 48\text{ cm}$ setebal $0,5\text{ cm}$. Agar display dari proyektor masih berada dalam jangkauan layar akrilik, maka jarak proyektor dengan akrilik dibuat fix, yaitu sebesar 90 cm dengan jarak kamera pada layar divariasikan sebagai variabel uji seperti tampak pada Gambar 4. Dengan jarak proyektor 90 cm dengan rasio *projector screen* $4:3$ menghasilkan area tampilan proyektor pada layar akrilik dengan ukuran $48\text{ cm} \times 36\text{ cm}$ yang masih berada dalam batasan layar akrilik. Pada bagian belakang layar akrilik dilapisi dengan kertas kalkir untuk menghalangi tembusnya cahaya dari proyektor ke akrilik, namun gambar dari desktop komputer tetap dapat terlihat oleh mata manusia.



Gambar 4 (a) Rancangan tata letak perangkat keras (b) Perbandingan area layar akrilik dengan area display proyektor

Webcam adalah perangkat utama dalam sistem ini yang digunakan untuk menangkap dan mendeteksi pergerakan jari pengguna. Pantulan cahaya inframerah di dalam akrilik tidak akan terlihat oleh webcam biasa, sehingga diperlukan modifikasi pada webcam yang digunakan, dalam penelitian ini yaitu webcam merk Genius tipe Eye312. Permodifikasian dilakukan dengan cara membuka webcam untuk mengambil blok filter inframerah di dalamnya kemudian menggantinya dengan *negative film* berwarna hitam yang telah dicuci [4].

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam penelitian ini rancangan perangkat lunak dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian algoritma kalibrasi, deteksi sentuhan sebagai *touch event*, dan *GUI Drawing Canvas* sebagai penentuan perlakuan oleh *event handler*.

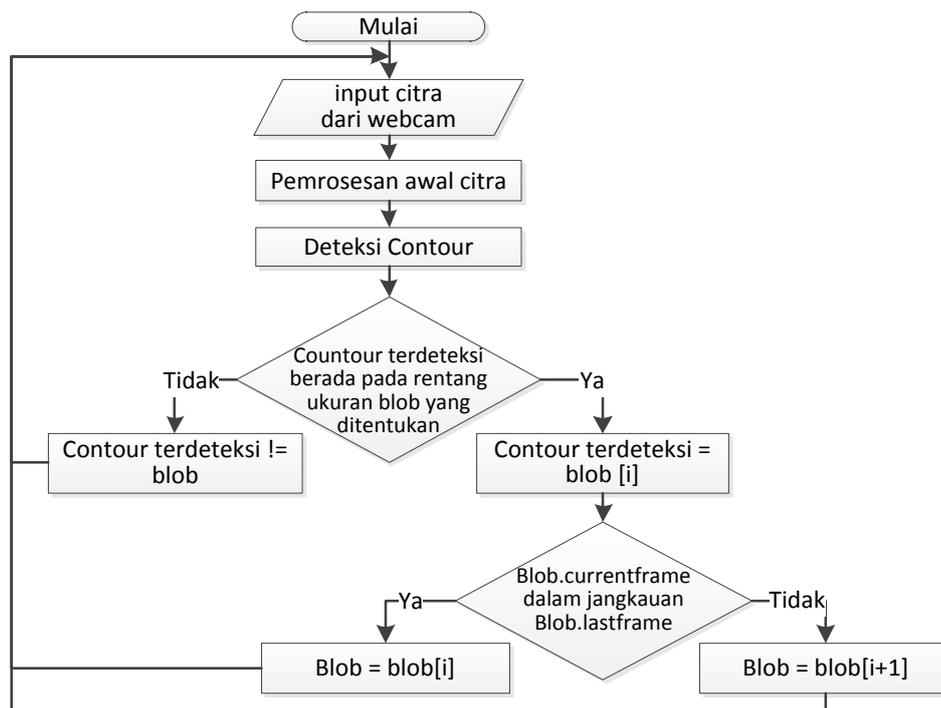
2.3.1. Algoritma Kalibrasi

Kalibrasi merupakan sub bagian pertama dari sistem ini. Kalibrasi kamera merupakan langkah yang penting pada *computer vision* 3D untuk mendapatkan informasi dari citra 2D [8]. Proses kalibrasi tersebut digunakan untuk menyesuaikan lebar layar akrilik dengan luas area tangkapan kamera agar semua titik pada layar desktop terwakilkan oleh layar pada akrilik dan untuk memetakan koordinat asli ke koordinat pada layar. Proses dimulai dengan pengambilan gambar dari kamera kemudian menyesuaikannya dengan panjang dan lebar layar akrilik. Setelah itu dilakukan pemetaan koordinat asli pada kamera ke koordinat layar agar posisi sentuhan pada layar akrilik yang tertangkap oleh kamera dapat diposisikan dengan benar. Setelah pemetaan selesai, data hasil dari kalibrasi tersebut disimpan.

2.3.2. Algoritma Deteksi sentuhan / Touch Event

Proses ini diawali dengan pemrosesan awal citra dan dilanjutkan dengan deteksi blob untuk mendeteksi sentuhan. Pemrosesan awal citra dilakukan untuk memanipulasi citra yang ditangkap oleh webcam sehingga didapatkan informasi yang dibutuhkan. Proses ini berupa perubahan citra dari RGB menjadi citra *grayscale*, dilakukan *background subtraction*, *thresholding*, dan filter *amplifier*. Filter *amplifier* digunakan untuk menguatkan blob jika blob yang terdeteksi terlihat lemah. Filter-filter *thresholding* dan *amplifier* tersebut dalam bentuk trackbar sehingga memudahkan pengguna melakukan filtering gambar. Proses ini menghasilkan keluaran berupa citra biner yang telah memisahkan secara tegas antara citra yang berwarna terang dan gelap di mana objek akan berwarna putih sedangkan *background* akan berwarna hitam. Setelah itu dilanjutkan dengan deteksi blob yang dilakukan dengan cara mencari blob berwarna putih pada citra biner tersebut. Pendeteksian ini dilakukan dengan mengidentifikasi contour pada citra yang telah terfilter. Setelah pencarian contour, akan terbentuk contour-contour distorsi inframerah akibat sentuhan jari yang kemudian di cek apakah blob yang ditemukan tersebut berada pada rentang ukuran blob yang telah ditentukan pada saat pengaturan

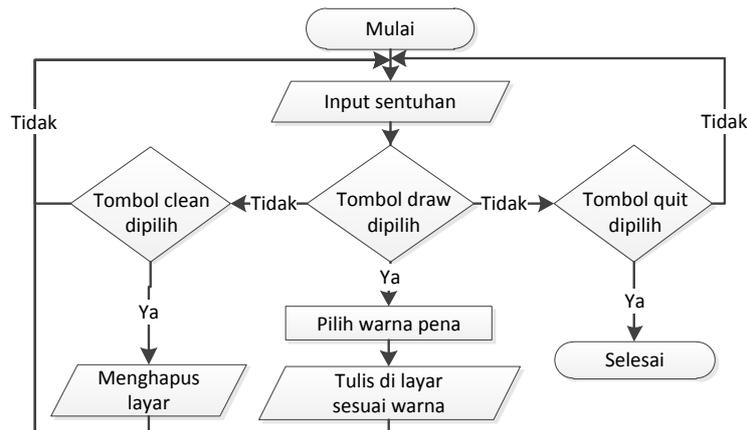
CCV. Jika blob tersebut berada pada rentang tersebut maka contour yang terdeteksi dianggap sebagai blob sentuhan. Untuk melacak apakah blob yang terbentuk pada frame berikutnya merupakan blob dengan sentuhan jari yang sama ataukah sentuhan jari baru, maka blob dimasukkan ke dalam array dan diberi ID. Jika blob terdeteksi pada frame sebelumnya memiliki posisi pixel yang bertetangga dengan blob terdeteksi pada frame berikutnya, blob tersebut akan memiliki ID yang sama dan menandakan bahwa sentuhan pengguna mengalami gerakan. Akan tetapi jika blob yang terdeteksi pada frame sebelumnya memiliki posisi pixel yang jauh dengan blob terdeteksi pada frame berikutnya, blob tersebut dimasukkan ke dalam array blob baru dan memiliki ID yang berbeda yang menandakan bahwa pengguna menambahkan sentuhan jari lain pada layar. Data sentuhan ini kemudian dikirim ke *event handler* untuk melakukan proses drawing. Gambar 5 menunjukkan diagram alir dari proses pendeteksian sentuhan.



Gambar 5 Diagram alir deteksi sentuhan

2.3.3. GUI Drawing Canvas / Event Handler

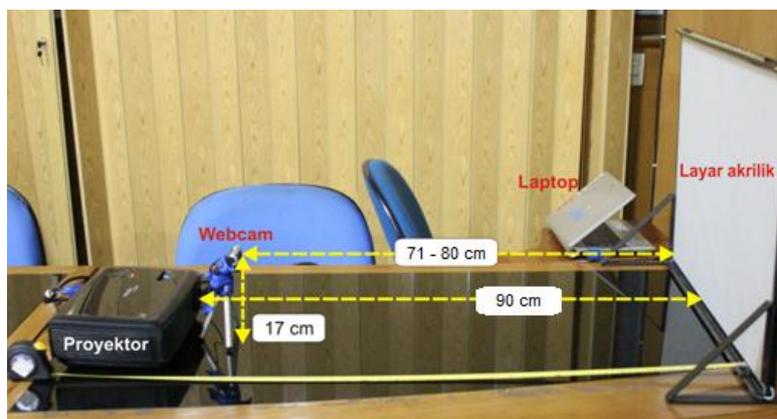
Aplikasi ini akan menentukan perlakuan terhadap blob atau sentuhan yang telah terdeteksi. Perangkat lunak ini berupa aplikasi drawing canvas sebagai pengganti papan tulis dan spidol atau kapur. Aplikasi ini dibangun menggunakan Adobe Flash CS5 yang dilengkapi dengan ActionScript 3.0 yang merupakan bahasa pemrograman berorientasi objek yang lebih ringan dan powerful serta diyakini dapat mengeksekusi 10 kali lebih cepat dari ActionScript versi sebelumnya [9]. Aplikasi ini digunakan untuk menerima masukan berupa sentuhan yang dikirimkan oleh perangkat lunak sebelumnya untuk mengaktifkan tool-tool yang ada di dalamnya seperti tombol '*draw*' untuk memunculkan canvas dan panel-panel warna pena, tombol '*clear*' untuk menghapus layaknya penghapus biasa, tombol '*quit*' untuk keluar dari aplikasi, serta panel-panel warna untuk mengganti warna pena yang akan digunakan. Diagram alir dari algoritma event handler ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir GUI drawing canvas

2.4. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi dari perangkat keras yang dirancang secara keseluruhan terdiri dari rangkaian layar akrilik dan proyektor serta webcam yang terintegrasi dan terhubung ke laptop terlihat pada Gambar 7.

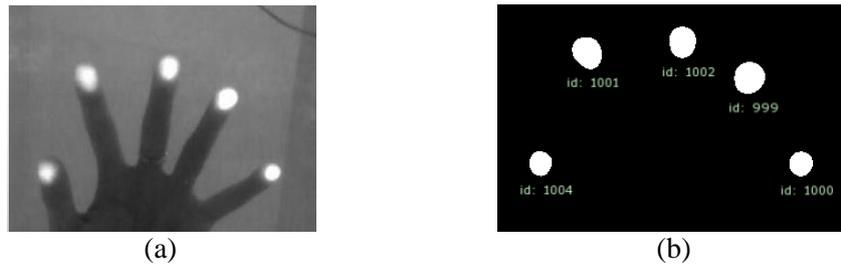


Gambar 7 Implementasi perangkat keras secara keseluruhan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

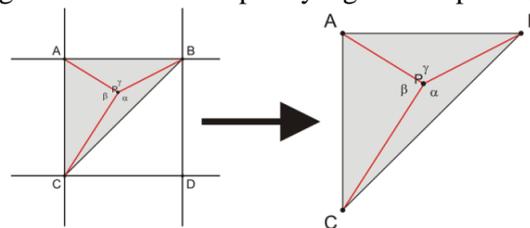
3.1. Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk menganalisis mengenai kerja sistem mulai dari sebuah layar akrilik biasa hingga menjadi layar multi sentuh. LED-LED inframerah yang disorotkan ke dalam layar akrilik berfungsi untuk memunculkan peristiwa refleksi internal total di dalam layar akrilik. Jari pengguna yang menyentuh layar akrilik tersebut membuat intensitas pada titik sentuhan meningkat karena cahaya yang mengalami refleksi internal total mengalami *frustrated* atau berhambur. Webcam yang diletakkan di bagian belakang layar akrilik akan menangkap gambar pergerakan jari pengguna. Webcam yang telah dimodifikasi tersebut menghasilkan gambar asli berupa objek yang diterangi cahaya dari dalam layar akrilik dan area-area tertentu yang memiliki intensitas yang lebih tinggi akibat sentuhan jari pengguna seperti yang terlihat pada Gambar 8 (a). Dengan menggunakan CCV yang di dalamnya telah terintegrasi dengan library opencv, hasil tangkapan webcam ini kemudian melalui beberapa pemrosesan awal citra berupa perubahan warna RGB menjadi *grayscale*, penghilangan *background*, dan *thresholding*. Pemrosesan awal citra ini untuk menghasilkan citra akhir berupa layar hitam dengan area sentuhan berwarna putih yang menjadi objek yang akan diproses yang disebut dengan blob sentuhan seperti yang terlihat pada Gambar 8 (b).



Gambar 8 (a) tangkapan citra dari webcam (b) blob yang dihasilkan setelah citra diproses oleh CCV

Citra yang berisi *blob-blob* sentuhan tersebut kemudian melalui proses deteksi contour untuk mendapatkan ukuran *blob* yang terbentuk. *Blob-blob* yang telah terbentuk tersebut akan dicocokkan kembali dengan rentang ukuran *blob* sentuhan jari pengguna. Jika *blob* yang terbentuk berada dalam rentang tersebut, maka *blob* dinyatakan sebagai sentuhan yang terdeteksi. Untuk menyesuaikan antara koordinat sentuhan yang tertangkap pada gambar dalam webcam dengan layar akrilik yang sebenarnya dibutuhkan kalibrasi. Metode kalibrasi ini merupakan salah satu library yang telah tertanam dalam CCV menggunakan metode *barycentric coordinat*. Metode ini menggunakan segitiga-segitiga yang terbentuk dari grid-grid kalibrasi yang digunakan. Sentuhan yang terdeteksi pada kamera dicari koordinatnya di dalam segitiga yang terbentuk dari grid-grid kalibrasi tadi seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Pemetaan Koordinat Sentuhan pada Kamera

Gambar 9 menunjukkan segitiga ABC dengan titik A (X_A, Y_A), B (X_B, Y_B) dan C (X_C, Y_C) yang merupakan titik kalibrasi serta sebuah titik sentuhan dengan koordinat P (X_P, Y_P) dalam citra hasil tangkapan kamera. Dari segitiga ini dicari nilai α , β , dan γ yang diawali dengan mencari luas ΔABC dengan menggunakan persamaan (1).

$$L\Delta ABC = X_A Y_B + X_C Y_A + X_B Y_C - X_C Y_B - X_A Y_C - X_B Y_A \quad (1)$$

Setelah luas segitiga ABC di dapatkan, dilanjutkan dengan pencarian luas ΔPBC , luas ΔAPC dan luas ΔPAB yang ditunjukkan dengan persamaan (2) hingga persamaan (4).

$$L\Delta PBC = \alpha = X_B Y_C + X_P Y_B + X_C Y_P - X_B Y_P - X_P Y_C - X_C Y_B \quad (2)$$

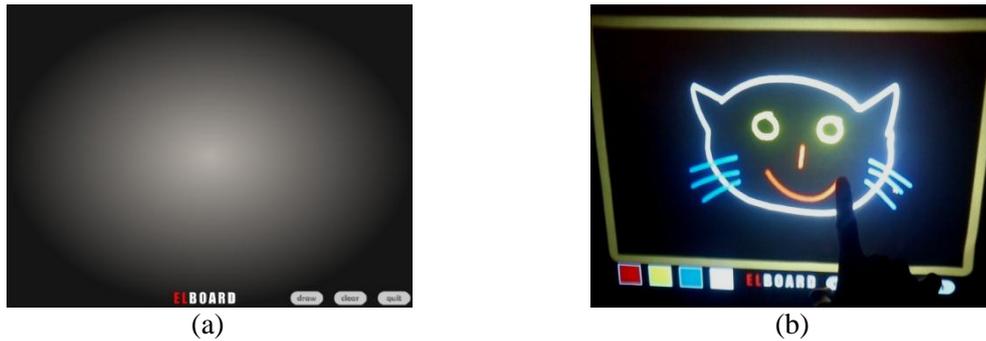
$$L\Delta APC = \beta = X_P Y_C + X_A Y_P + X_C Y_A - X_P Y_A - X_A Y_C - X_C Y_P \quad (3)$$

$$L\Delta PAB = \gamma = 1 - \alpha - \beta \quad (4)$$

Nilai α , β , dan γ yang telah diperoleh ini kemudian digunakan untuk mentransformasikan koordinat dari kamera ke koordinat pada layar seperti yang ditunjukkan dengan persamaan (5).

$$\text{koordinat layar} = (U * \alpha) + (V * \beta) + (W * \gamma) \quad (5)$$

Dimana U, V, dan W merupakan koordinat grid kalibrasi yang membentuk segitiga pada layar akrilik. Dengan demikian, koordinat sentuhan pada layar akrilik menjadi ($X_{\text{koordinat layar}}$, $Y_{\text{koordinat layar}}$). Setelah koordinat tersebut didapatkan, data-data ini dikirimkan kepada aplikasi Elboard yang terbuat dari flash menggunakan komunikasi jaringan localhost menggunakan library TUIO, yaitu library yang telah didesain khusus untuk sistem *tangible user interface* [10]. TUIO disini sebagai protokol atau media pertukaran data antara CCV dengan aplikasi Adobe Flash. TUIO mengirimkan data-data blob yang dimiliki CCV berupa koordinat sentuhan kepada aplikasi flash yang kemudian digunakan sebagai masukan untuk aplikasi flash itu sendiri dan layar akrilik pun telah menjadi layar multi sentuh. Gambar 10 menunjukkan tampilan aplikasi flash Elboard.



Gambar 10 (a) tampilan awal aplikasi Elboard (b) *Toolbox* dan *canvas* pada aplikasi elboard

3.2. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan cara mengujikan sistem secara menyeluruh, yaitu antara perangkat keras dan perangkat lunak CCV, TUIO serta papan tulis Elboard dapat saling berhubungan satu sama lain.

Pengujian pertama dilakukan di dalam ruangan dengan 4 kali percobaan. Hasil pengujian dengan variasi pencahayaan di sekitar sistem ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian sistem dengan variasi pencahayaan

Sinar Matahari		Cahaya Lampu		Keterangan
Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada	
-	v	-	v	Bekerja
-	v	v	-	Bekerja
v	-	-	v	Tidak Bekerja
v	-	v	-	Tidak Bekerja

Dari Tabel 1 terlihat bahwa sistem yang dibuat dapat bekerja normal pada kondisi tidak ada cahaya matahari yang mengganggu sistem, baik dengan penerangan lampu ataupun tidak. Hal ini dikarenakan cahaya lampu yang menyinari ruangan dianggap sebagai cahaya tampak, sedangkan webcam termodifikasi hanya dapat menangkap cahaya dari sinar inframerah. Hal ini menyebabkan kondisi ruangan yang terang akibat sinar lampu tetap terlihat gelap pada *source image* CCV. Sedangkan pada pengujian yang dilakukan di ruangan yang tersinari matahari, sistem menjadi terganggu dan tidak dapat bekerja dengan baik karena sinar inframerah yang berasal dari matahari memiliki intensitas yang lebih kuat daripada sinar inframerah yang berasal dari LED IR yang digunakan. Hal ini dikarenakan 80% cahaya matahari adalah sinar inframerah karena lebar jangkauan gelombang sinar ini 0,75-1000 micron [4].

Pengujian kedua dilakukan untuk menentukan keefektifan jarak webcam dengan layar dalam keberhasilan penggunaan sistem. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jarak antara webcam dengan layar akrilik. Pengujian dilakukan di dalam ruangan tertutup tanpa sinar matahari. Hasil pengujian dengan variasi jarak kamera ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengujian sistem dengan variasi jarak

Jarak (cm)	Keterangan
50 – 60	Kamera tidak dapat memuat seluruh display proyektor
61 – 70	Kamera tidak dapat memuat seluruh display proyektor
71 – 80	Kamera dapat memuat seluruh display proyektor
81 – 90	Kamera dapat memuat seluruh display proyektor dan tidak stabil
91 – 100	Kamera dapat memuat seluruh display proyektor dan tidak stabil

Webcam yang digunakan merupakan webcam dengan lensa fix yang tidak dapat di zoom. Ketika webcam berada pada jarak di bawah 70 cm kamera tidak dapat mengambil citra display

dari proyektor secara keseluruhan karena melebihi batas pandang dari kamera. Hal ini mengakibatkan jangkauan layar papan tulis terlalu kecil dan kurang efektif untuk sistem. Pada jarak antara 71 – 80 cm kamera dapat menangkap seluruh citra dari display proyektor dengan baik karena masih berada pada batas pandang kamera. Sedangkan untuk jarak webcam dengan layar di atas 80 cm, kamera dapat memuat seluruh display proyektor. Akan tetapi pada jarak ini, batas pandang kamera justru terlalu besar sehingga memuat seluruh layar akrilik, termasuk sumber cahaya dari led-led pada tepi atas dan bawah akrilik yang terdeteksi sebagai blob-blob yang juga dapat mengganggu kerja sistem.

Pengujian ketiga dilakukan untuk mengetahui keefektifan area masukan sentuhan yaitu apakah 50 led inframerah yang dipasang pada layar ukuran 640 x 480 cm tersebut telah menyinari keseluruhan layar akrilik sehingga tidak ada *blind spot* di dalamnya. Pengujian dilakukan dengan cara membagi layar menjadi beberapa bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Gambar 11 Area testing permukaan sentuh dengan label A – I

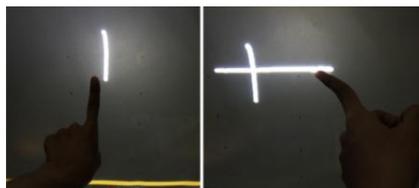
Dari Gambar 11 terlihat bahwa terdapat perbedaan ukuran area. Proporsi ukuran pembagian ini yaitu untuk area A-G-C-I adalah 18 x 14 cm sedangkan untuk ukuran B-H adalah 32 x 14 cm, D-F berukuran 18 x 20 cm, dan E berukuran 32 x 20 cm. Pembagian area yang tidak sama dikarenakan cahaya inframerah ditembakkan dari tepi atas dan bawah, sehingga diasumsikan bahwa penyebaran di bagian tengah akan berkurang. Untuk mengetahui keefektifan area masukan sentuhan, pada tiap bagian area berlabel diberikan sentuhan secara berulang-ulang dengan beberapa masukan sentuhan secara bersamaan. Hasil pengujian keefektifan area masukan sentuhan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Keefektifan Area Masukan Sentuhan

Label	Keterangan
A	Seluruh area menerima masukan dengan baik
B	Seluruh area menerima masukan dengan baik
C	Seluruh area menerima masukan dengan baik
D	Seluruh area menerima masukan dengan baik
E	Seluruh area menerima masukan dengan baik
F	Seluruh area menerima masukan dengan baik
G	Seluruh area menerima masukan dengan baik
H	Seluruh area menerima masukan dengan baik

Dari Tabel 3 terlihat bahwa semua area tercover dengan baik yang menandakan bahwa distribusi cahaya LED yang menyinari layar dari tepi atas dan tepi bawah akrilik telah terpantul dengan baik di dalam layar akrilik sesuai dengan teori refleksi internal total.

Pengujian keempat dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat sistem dalam memetakan koordinat pada kamera ke koordinat pada layar. Pengujian dilakukan dengan cara menguji sistem dengan jumlah grid kalibrasi yang berbeda-beda. Jumlah grid pada kalibrasi dapat diubah baik jumlah grid horisontal maupun grid vertikal. Pengujian dimulai dengan mengkalibrasi sistem menggunakan 2 grid pada sumbu x dan 2 grid pada sumbu y.



Gambar 12 Tampilan hasil kalibrasi dengan grid 2x2

Pada Gambar 12 terlihat bahwa ketika pengguna menggambarkan garis dengan salah satu jarinya secara vertikal, garis yang terbentuk tidak berada tepat pada titik tengah jari sentuhan namun lebih bergeser ke kanan. Sedangkan pada saat pengguna menggambarkan garis secara horisontal, garis yang terbentuk sedikit ke atas dari titik tengah sentuhan jari dan bagian akhir garis terlihat lebih panjang dari posisi sentuhan. Hal yang sama juga terjadi pada saat sistem diujikan dengan grid 3x3. Hasil pengujian keakuratan sistem kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Keakuratan Sistem Kalibrasi

Jumlah Grid Kalibrasi	Keterangan
2x2	Garis tidak sesuai dengan koordinat sentuhan (bergeser)
3x3	Garis tidak sesuai dengan koordinat sentuhan (bergeser)
4x4	Garis sesuai dengan koordinat sentuhan
5x5	Garis sesuai dengan koordinat sentuhan
6x6	Garis sesuai dengan koordinat sentuhan

Pada saat pengujian kalibrasi dilakukan dengan jumlah grid 4x4, penggambaran garis horisontal dan vertikal terbentuk dari titik tengah jari pengguna. Hal ini menandakan bahwa untuk layar dengan ukuran efektif 48 x 36 cm dibutuhkan pengkalibrasian sistem minimal dengan jumlah grid 4x4 untuk mendapatkan posisi sentuhan yang mendekati akurat. Semakin besar layar, semakin banyak jumlah grid digunakan untuk mendapatkan posisi yang akurat.

Pengujian yang terakhir adalah pengujian kecepatan penulisan yang dilakukan untuk mengetahui batas kecepatan sistem dapat membaca pergerakan jari pengguna dalam menulis di papan tulis. Pengukuran waktu menggunakan *stopwatch* dengan ketelitian 0,01 detik. Hasil pengujian kecepatan penulisan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Pengujian kecepatan penulisan (panjang garis 10 cm)

Waktu	Jumlah Pengujian	Keterangan
0,5 detik	5	Tidak baik
1,0 detik	5	Kurang baik
1,5 detik	5	Baik
2,0 detik	5	Baik
2,5 detik	5	Baik

Pengujian dilakukan dengan memberi tanda pada layar akrilik menggunakan spidol sepanjang 10 cm sebanyak 5x secara horisontal untuk waktu yang berbeda-beda. Untuk tiap garis dilakukan 5x pengujian menggambar garis dari kiri ke kanan dengan waktu yang sama kemudian dilihat hasilnya. Dari Tabel 5 terlihat bahwa kecepatan maksimum pergerakan jari dalam menggambarkan garis horisontal sejauh 10 cm dibutuhkan waktu di atas 1,0 detik.

Hal ini dikarenakan kecepatan sentuhan jari pada layar akrilik menimbulkan penekanan yang tidak stabil pada layar akrilik. Semakin cepat jari bergerak maka tekanan yang diberikan pada layar akan semakin berkurang sehingga blob terkadang tidak terlihat. Selain itu juga dikarenakan oleh keterbatasan kemampuan webcam dalam menangkap gambar. Webcam Genius Eye312 yang digunakan pada penelitian ini memiliki kemampuan maksimal untuk merekam gambar sebanyak 30 fps namun pada kondisi cahaya terang. Sedangkan pencahayaan ruangan mempengaruhi kinerja sistem penjejak obyek bergerak dikarenakan kamera (webcam) yang digunakan memiliki fitur otomatis untuk meningkatkan kualitas pencahayaan pada citra yang dihasilkan dengan cara menurunkan nilai *frame rate* [11]. Karena webcam dalam sistem ini digunakan dalam intensitas cahaya rendah, kecepatan webcam dalam melakukan prosesnya

pun menjadi berkurang, yaitu hanya sebesar 7 fps. Hal ini menyebabkan respon menjadi sedikit terlambat. Keterbatasan ini dapat lebih di optimalkan jika di depan layar akrilik dilapisi suatu material yang dapat membantu mempertahankan kelembapan jari namun tetap masih dapat meloloskan gambar dari proyektor agar pengguna tetap dapat melihat tampilan proyektor dari balik layar, karena metode FTIR ini dapat bekerja dengan baik pada jari yang lembab. Webcam yang digunakan juga sebaiknya memiliki daya tangkap fps yang lebih besar meskipun pada saat intensitas cahaya lingkungan tidak terlalu besar. Akan tetapi semakin besar fps suatu kamera yang digunakan juga harus di dukung dengan spesifikasi pemroses (komputer) yang tinggi.

4. KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat layar sentuh berbasis FTIR dengan 50 buah LED IR yang dipasang pada sisi atas dan bawah akrilik dengan jarak 2,5 cm untuk tiap LED dengan akrilik ukuran 64 cm x 48 cm setebal 0,5cm sebagai papan tulis elektronik, dengan fitur sebagai berikut :

1. Sistem tidak dapat bekerja dibawah pengaruh sinar matahari karena kandungan inframerah pada sinar matahari terlalu kuat sehingga mengganggu dalam pendeteksian adanya sentuhan.
2. Sistem bekerja efektif dengan jarak layar - webcam berada pada rentang 71 – 80 cm.

5. SARAN

Untuk pengembangan lebih lanjut dalam sistem ini disarankan untuk melakukan hal sebagai berikut :

1. Menggunakan kamera dengan kemampuan fps yang lebih tinggi.
2. Dibuat system yang dapat digunakan pada ruang yang tidak tertutup.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surgaberita.com, *Perkembangan Teknologi Touch Screen atau Layar Sentuh*, <http://www.surgaberita.com/2013/02/perkembangan-teknologi-touchscreen-atau.html>, diakses pada 5 April 2013.
- [2] Ilham, A., 2011, *Teknik Pembangunan Multi-Touch Berbasis Optik*, <http://wari.tumblr.com/post/4798422178/teknik-pembangunan-multi-touch-berbasis-optik-episode>, diakses 17 Februari 2013.
- [3] Zhao, J., 2010, *Using Wii Remote to Realize Multi Touch Screen*, *Thesis*, Blekinge Institute of Technology, Sweden.
- [4] Febriansyah, F.H., 2010, *Sistem Deteksi Posisi Jari Menggunakan Kamera dan Modul Inframerah untuk Antarmuka Komputer*, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [5] Han. J., 2005, *Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection*. Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology, pages 115–118, New York.
- [6] Harnischmacher, C., 2008, *Digital infrared photography*, Rocky Nook Inc, Canada.
- [7] Adalgeirsson, S.O., 2008, *TouchTable – General Purpose Smart Table*, <http://siggiorn.com/touchtable/>, diakses 17 Februari 2013.
- [8] Iqbal, T.M., Munadi, K., dan Arnia F., 2011, *Perancangan Aplikasi Motion Segmentasi Untuk Navigasi Robotika*, *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2011*, Teknik Elektro, Universitas Syah Kuala, Banda Aceh.
- [9] Sunyoto, A., 2010, *Adobe Flash + XML = Rich Multimedia Application*, Yogyakarta: Andi Offset.
- [10] Tuio.org, *TUIO 1.1 Protocol Specification*, <http://www.tuio.org/?specification>, diakses pada 15 Juli 2013.
- [11] Kuncoro, A.D., Lukas B. S., dan Fransiscus D.S., 2013, *Aplikasi Webcam Untuk Menjejak Pergerakan Manusia Di Dalam Ruangan*, *Jurnal Ilmiah Elektronika*, Fakultas Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Kristen SatyaWacana, Salatiga.