

# Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 15 NOMOR 2

Agustus 2019

|                                                                                                                            |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Modul Elektronika Berbasis Mikrokontroler sebagai Sistem Pengaman pada Mobil Terintegrasi dengan Engine Immobilizer</b> | 75-84   |
| <i>Arief Goeritno dan Muhammad Yusuf Afandi</i>                                                                            |         |
| <b>Prototipe Deteksi PEN dalam Tubuh Menggunakan B-Mode Ultrasonic Scanning</b>                                            | 85-94   |
| <i>Chandra Edy Prianto, Agus Indra Gunawan, dan Ni'am Tamami</i>                                                           |         |
| <b>Metode Sederhana untuk Mengendalikan Inverter 5-Tingkat Berbasis Algoritma <math>\frac{1}{4}\lambda</math></b>          | 95-102  |
| <i>Leonardus Heru Pratomo</i>                                                                                              |         |
| <b>Prototipe Pengukuran Kadar Gula dalam Tubuh Manusia Melalui Urin</b>                                                    | 103-109 |
| <i>Mohammad Hafiz Hersyah, Budi Rahmadya, dan Gentha Wijaya</i>                                                            |         |
| <b>Reduksi Osilasi Daya pada MPPT Panel Surya dengan Metode Kombinasi PNO dan Fuzzy</b>                                    | 110-116 |
| <i>Suriadi, Intan Nurul Fajri, Rizal Munadi, dan Mansur Gapy</i>                                                           |         |
| <b>Kajian Aspek Kecepatan dan Ketepatan pada Sun Tracker Dua Sumbu Berbasis Sensor Berbentuk Tetrahedron</b>               | 117-124 |
| <i>Saddam Azmi, Yuwaldi Away, dan Ira Devi Sara</i>                                                                        |         |
| <b>Implementation of Event-Based Dynamic Authentication on MQTT Protocol</b>                                               | 125-133 |
| <i>Rizka Reza Pahlevi, Parman Sukarno, and Bayu Erfianto</i>                                                               |         |
| <b>Pemanfaatan Fasilitas IT untuk Jaringan Pencahayaan LED di Smartroom</b>                                                | 134-138 |
| <i>Mauludi Manfaluthy dan Sinka Wilyanti</i>                                                                               |         |
| <b>Pengembangan Sistem Presensi Menggunakan Quick Response Code Dinamis untuk Madrasah Aliyah Al Mukhlisin Bandung</b>     | 139-144 |
| <i>Erwin Susanto, Doan Perdana, Arif Indra Irawan, dan Rahmat Yasirandi</i>                                                |         |
| <b>Pengukuran Speed dan Impedansi Akustik pada Tanah Liat dengan Memanfaatkan Sinyal Echo Ultrasonik</b>                   | 145-156 |
| <i>Lusiana, Agus Indra Gunawan, dan Bima Sena Bayu Dewantara</i>                                                           |         |

# Modul Elektronika Berbasis Mikrokontroler sebagai Sistem Pengaman pada Mobil Terintegrasi dengan Engine Immobilizer

Arief Goeritno<sup>1</sup> dan Muhammad Yusuf Afandi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2, Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164

<sup>2</sup>PT. Sejahtera Buana Trada  
Jl. Diponegoro no.148, DR. Soetomo, Kecamatan Tegalsari, Kota Surabaya 60241  
e-mail: arief.goeritno@uika-bogor.ac.id

**Abstrak**—Telah dibuat modul elektronika berbasis mikrokontroler ATmega32 sebagai sistem pengaman pada mobil terintegrasi dengan *engine immobilizer*. Tiga hal utama dalam penelitian ini, yaitu pemrograman dan uji verifikasi, pembuatan sistem pengaman awal dengan struktur minimalis, dan pelaksanaan uji validasi. Pemrograman untuk sistem mikrokontroler melalui penentuan algoritma dan penulisan sintaks, sedangkan uji verifikasi dilakukan melalui *upload*-an sintaks program ke aplikasi Proteus dan pelaksanaan simulasi. Penentuan algoritma dan penulisan sintaks melalui sejumlah tahapan, yaitu konfigurasi pin, deklarasi variabel, deklarasi konstanta, inisialisasi, program utama, ambil dan kirim data, dan keluaran. Simulasi berbantuan aplikasi Proteus berupa pemberian dua macam perintah/masukan terhadap sensor, yaitu satu masukan data berupa keberadaan manusia atau gerak manusia terhadap sensor *passive infrared receiver* dan satu masukan data inisialisasi sidik jari manusia terhadap sensor *fingerprint*. Hasil simulasi sesuai perintah terhadap sensor *fingerprint* dan *passive infrared receiver* berupa tampilan pada Virtual Terminal. Struktur minimalis sistem dibentuk melalui pembuatan diagram rangkaian, fabrikasi *board*, dan pengawatan terintegrasi pada sistem. Uji validasi terhadap sistem pengaman awal ditunjukkan pengukuran kinerja berupa hasil pemantauan saat sensor diberi masukan “keberadaan manusia (gerak)”, sensor *fingerprint* berkedip (*on*) dan saat sensor *fingerprint* berkedip yang berarti siap terima masukan data berupa “Inisialisasi Manusia (sidik jari)” untuk pengaktifan *actuator* dan sistem starter pada mobil dengan analogi pengoperasian kipas. Pemberian perintah masukan terhadap sensor *passive infrared receiver* dan *fingerprint* telah berfungsi untuk penunjukan kinerja, bahwa sistem pengaman awal telah terintegrasi dengan sistem pengaman utama dan melekat pada mobil.

**Kata kunci:** *modul elektronika berbasis mikrokontroler, sistem pengaman pada mobil, engine immobilizer, sensor passive infrared receiver, sensor fingerprint*

**Abstract**— An electronic module based on the ATmega32 microcontroller as a security system for cars that integrated into the engine immobilizer has been created. Three main things in this study, namely programming and verification tests, making an initial security system with a minimalist structure, and validation tests. Programming for the microcontroller system through algorithm determination and syntax writing, while the verification test is done through uploading the program syntax to the Proteus application and implementing the simulation. Determining the algorithms and writing the syntax through a number of steps, namely pin configuration, variable declarations, constant declarations, initialization, main programs, retrieve and send data, and output. The simulation assisted by the Proteus application is in the form of giving two kinds of commands/inputs to the sensor, namely one input data in the form of human existence or human motion to the passive infrared receiver sensor and one input of human fingerprint initialization data to the fingerprint sensor. The simulation results according to the order of the fingerprint sensor and passive infrared receiver in the form of a display on the Virtual Terminal. The minimalist structure of the system is composed of circuit diagrams, physical forms, and integrated wiring on the ATmega32 microcontroller system. The performance of the security system is shown, that the results of monitoring when the sensor is given input "human existence (motion)", the fingerprint sensor blinks (*on*) and when the fingerprint sensor blinks which means ready to receive input data in the form of "Human Initialization (fingerprint)" for activating actuators and starter system on the car. Giving input commands to the sensor passive infrared receiver and fingerprint has functioned for the appointment of performance, that the initial security system has been integrated with the main security system and attached to the car.

**Keywords:** *electronic module microcontroller-based, security system for cars, engine immobilizer, passive infrared receiver sensor, fingerprint sensor*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

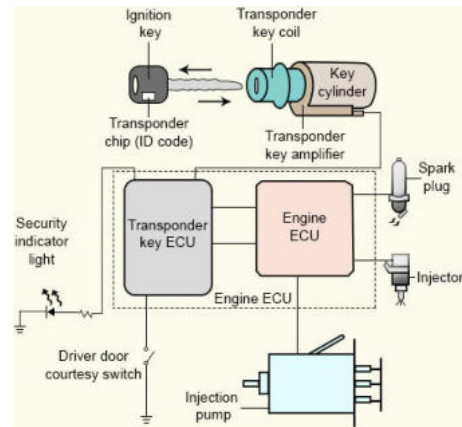
## I. PENDAHULUAN

Sistem *engine immobilizer* berbentuk perangkat elektronika [1] telah menjadi bagian integral pada mobil untuk anti-pencurian, melalui identifikasi frekuensi radio antara *transponder* di kunci kontak dan perangkat yang disebut pembaca frekuensi radio di kolom kemudi [2], [3]. Diagram skematis sebuah *engine immobilizer* [2], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Pemasangan sistem *immobilizer* merupakan upaya pencegahan mesin mobil dioperasikan, kecuali dengan kunci kontak yang sesuai [4]. Kunci *immobilizer* berfungsi untuk penonaktifan salah satu sistem yang diperlukan untuk pengoperasian mesin mobil. Sejumlah kerentanan ditemukan pada sistem *immobilizer* yang dirancang untuk perlindungan terhadap mobil modern dari pencurian [5] yang didasarkan kepada sebuah studi yang dipublikasikan pada tahun 2016 di *the Economics Journal* [4]. Hasil studi tersebut berupa pemaparan tentang peningkatan pencurian terhadap mobil antara 1995 dan 2008 sebesar 40%, walau mobil telah dipasang sistem *immobilizer* [4].

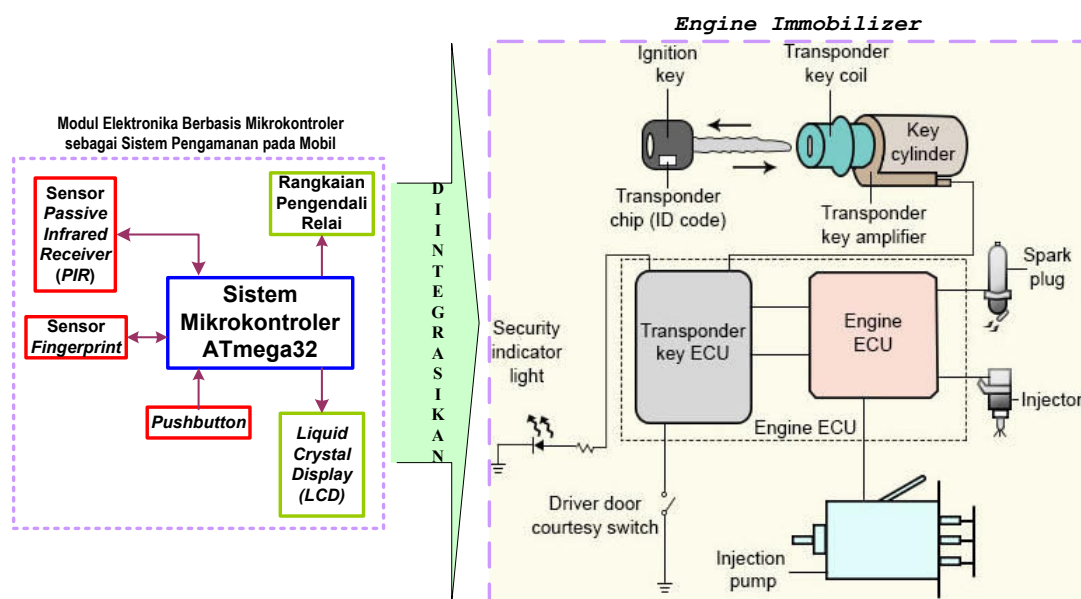
Pemasangan tambahan sistem pengamanan berbasis mikrokontroler berupa sistem minimum yang terintegrasi ke dalam *engine immobilizer* untuk mekanisme anti-pencurian yang ditempatkan sebelum mekanisme pengoperasian pengaman utama yang melekat pada mobil. Diagram skematis sistem pengamanan berbasis mikrokontroler terintegrasi dengan *engine immobilizer*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 dijelaskan, bahwa *passive infrared receiver* (PIR) merupakan sebuah sensor berbasis inframerah yang tidak seperti sensor inframerah kebanyakan dengan pemancaran apapun, tetapi terdiri atas IR LED dan fototransistor yang hanya merespon energi dari pancaran sinar inframerah pasif yang dimiliki oleh setiap benda terdeteksi. Benda yang dapat dideteksi oleh sensor PIR ini biasanya tubuh manusia [6]. Sensor



Gambar 1. Diagram skematis sebuah engine immobilizer

*fingerprint* adalah suatu sistem identifikasi terhadap seseorang melalui sidik jari [7]. Sistem ini berfungsi sebagai pengenalan identitas sidik jari manusia, kemudian diterjemahkan menjadi suatu data yang dimengerti komputer [8]. Keuntungan sistem ini terletak pada keamanan dan kemudahan dalam penggunaan. Sidik jari yang dikenali dapat dijadikan sebagai hasil akhir untuk sebuah aplikasi, seperti *command and control*, pemasukan data, dan persiapan dokumen. Parameter terbandingkan merupakan tingkat keakuratan sidik jari yang kemudian dicocokkan dengan *template database* yang tersedia [7], [9], [10]. Sensor *fingerprint* perlu kompleksitas algoritma yang diimplementasikan lebih sederhana dari sensor lainnya [8], [10], [11]. Algoritma terimplementasi pada sensor *fingerprint* berupa algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Algoritma FFT cukup efisien dalam pemrosesan sinyal digital (dalam hal ini sidik jari) dalam bentuk diskret [7], [9], [10]. Algoritma FFT berupa implementasi algoritma *Divide and Conquer* untuk pemrosesannya. Konsep utama algoritma FFT berupa pengubahan sinyal sentuh berbasis inisialisasi menjadi berbasis data dengan



Gambar 2. Diagram skematis sistem pengamanan berbasis mikrokontroler terintegrasi dengan engine immobilizer

pembagian masalah menjadi beberapa masalah yang lebih kecil, kemudian setiap masalah diselesaikan dengan cara pencocokan pola digital sidik jari [11].

Hasil penelitian tentang sistem pengamanan berbasis mikrokontroler sudah menjadi suatu keniscayaan yang digunakan sebagai pengaman gangguan hubung singkat [12] atau sebagai pengaman pada analogi lemari penyimpanan brankas yang telah dipublikasikan [13]. Sistem berbasis mikrokontroler merupakan peranti elektronika dengan komputer murah, berukuran kecil, dan berkapabilitas besar melalui penyimpanan program di dalamnya [14]. Implementasi sebuah sistem berbasis mikrokontroler, sebagaimana difungsikan sebagai pengontrol pada pendeteksian dan/atau pengukuran parameter-parameter fisis [15], [16] maupun kimiawi [17], [18]. Mikrokontroler merupakan sebuah chip (rangkaiannya terintegrasi, *integrated circuits*, IC) dengan prosesor, memori, dan masukan/keluaran (*input/output*, I/O) yang terintegrasi menjadi satu kesatuan kontrol sistem, sehingga mikrokontroler dikatakan sebagai komputer mini yang beroperasi secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem [13], [19], [20]. Kelebihan utama mikrokontroler [14], [20] terletak pada (i) ketersediaan random access memory (RAM), (ii) peralatan masukan/keluaran (I/O) pendukung, dan (iii) fasilitas tambahan untuk pengembangan memori dan I/O yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem, sehingga ukuran *board* mikrokontroler menjadi sangat ringkas.

Tujuan penelitian ini berupa pembuatan aplikasi berbasis bahasa Basic Compiler (BasCom) [21] dan pelaksanaan simulasi berbantuan aplikasi Proteus [22] sebagai bentuk uji verifikasi, pembuatan struktur minimalis sistem pengaman awal berbasis mikrokontroler ATmega32 [23] berbantuan sejumlah sensor dan jalur keluaran, dan pengukuran kinerja sistem pengaman awal

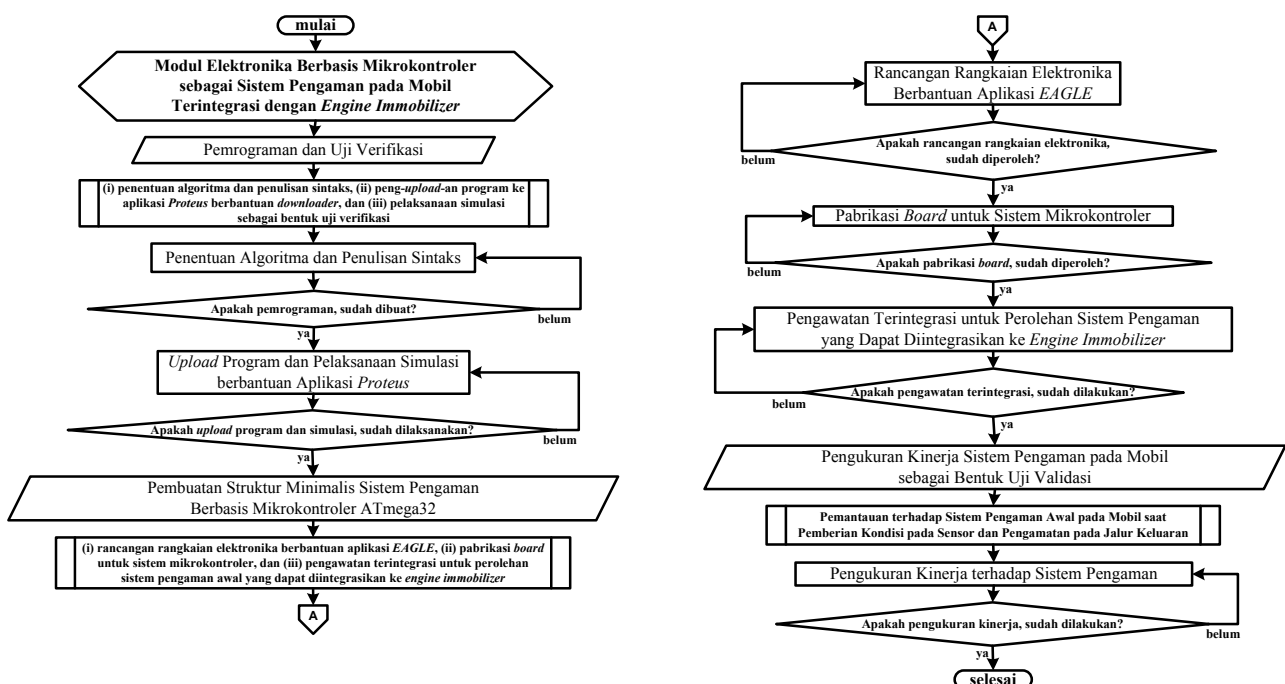
pada mobil sebagai bentuk uji validasi.

## II. METODE PENELITIAN

Untuk keperluan pelaksanaan metode penelitian, diperlukan bahan-bahan penelitian, berupa: (i) sensor *passive infrared receiver* dan *fingerprint*, (ii) *chip AVR ATmega32*, (iii) sejumlah resistor, kapasitor, transistor, relai elektromekanik, dan diode, (iv) *IC regulator 7805*, (v) lempeng *printed circuit board (PCB)*, (vi) *light emitting diode*, (vii) motor penggerak *blower fan*, (viii) kotak rangkaian, (ix) catu daya (*power supply*) 5 dan 12 volt *dc*, (x) *downloader* mikrokontroler, dan (xi) bahasa program *BasCom AVR* [21], dan (xii) aplikasi *Proteus* dan *Easily Applicable Graphical Layout Editor (EAGLE)* [24]. Alat yang digunakan, meliputi satu set *tools* elektronika, avometer, bor listrik, setrika, dan *minidril*.

Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 dapat dijelaskan, bahwa metode penelitian dilakukan melalui tahapan pelaksanaan penelitian untuk perolehan setiap tujuan penelitian.

Pembuatan program untuk sistem mikrokontroler berbasis bahasa pemrograman BasCom AVR dan simulasi sebagai bentuk uji verifikasi, dengan tahapan berupa (a) penentuan algoritma dan penulisan sintaks, (b) pengupload-an program ke aplikasi Proteus berbantuan *downloader*, dan (c) simulasi berbantuan aplikasi Proteus. Pabrikasi sistem berstruktur minimalis berbasis sistem mikrokontroler meliputi: (a) pembuatan rangkaian elektronika berbantuan aplikasi EAGLE [24], (b) pabrikasi *board* untuk sistem mikrokontroler ATmega32, dan (c) pengawatan terintegrasi terhadap *minimum system* pada sistem mikrokontroler ATmega32. Pengukuran kinerja sistem melalui pemberian kondisi langsung dan waktu



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

nyata (*direct and real time*) untuk pengaktifan *actuator*. Tahapan-tahapan pada pengukuran kinerja sistem melalui uji validasi terhadap sensor berupa pemberian masukan dengan sidik jari dan pengamatan terhadap tanggapan aktuator. Aktuator difungsikan untuk penyambungan dan pemutusan pasokan daya listrik yang terhubung ke peralatan listrik pada unit kendaraan bermotor.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pemrograman dan Uji Verifikasi

Pemrograman terhadap mikrokontroler ATmega32 digunakan bahasa BasCom. Tahapan pemrograman terdiri atas pembuatan algoritma dan penulisan sintaks. Untuk kesesuaian hasil pembuatan program, diperlukan uji verifikasi berbantuan aplikasi Proteus.

##### 1. Penentuan algoritma dan penulisan sintaks

Algoritma berbentuk diagram alir untuk pemrograman terhadap sistem mikrokontroler ATmega32, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4 ditunjukkan, bahwa struktur program terdiri atas beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut, yaitu: (i) konfigurasi pin, (ii) deklarasi variabel, (iii) deklarasi konstanta, (iv) inisialisasi, (v) program utama, (vi) ambil dan kirim data, dan (vii) keluaran.

##### (i) Konfigurasi pin

Konfigurasi pin merupakan penentuan pin yang digunakan, baik sebagai keluaran dan/atau masukan. Penentuan pin pada ATmega32 untuk jalur masukan diperuntukkan sensor *passive infrared receiver* dan *fingerprint* dan jalur keluaran untuk pengkonduksian transistor sebagai penggerak aktuator.

##### (ii) Deklarasi variabel

Tahapan deklarasi variabel dilakukan untuk pendeklarasian jenis data yang harus dikerjakan.

##### (iii) Deklarasi konstanta

Deklarasi konstanta merupakan pemberian nilai konstanta pada program berdasarkan datasheet dari sensor yang merupakan masukan sistem pengaman awal berbasis mikrokontroler ATmega32. Deklarasi konstanta langsung disebutkan nilai. Deklarasi konstanta tidak digunakan tanda titik dua (;) sebagaimana pada deklarasi variabel, tetapi digunakan tanda sama dengan (=).

##### (iv) Inisialisasi

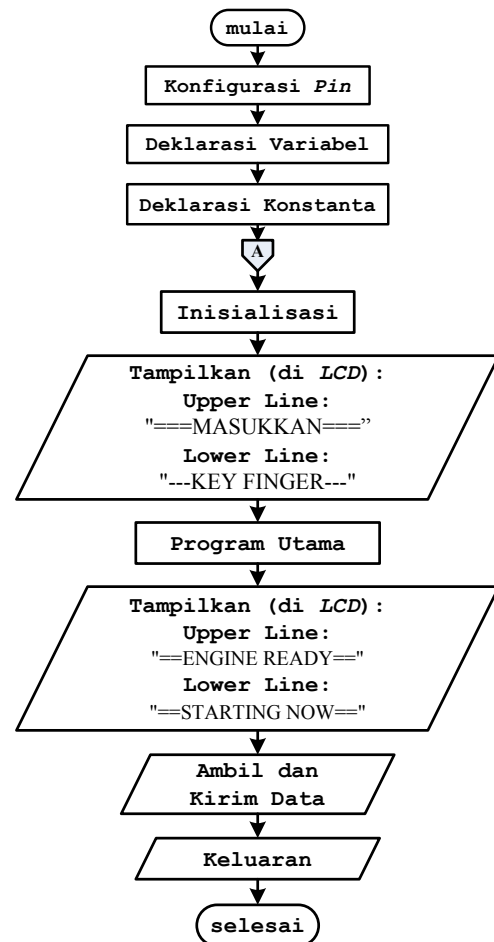
Tahapan inisialisasi berupa pemberian inisial terhadap program yang dibuat untuk mengetahui status setiap perintah pada program. Inisialisasi dapat mempersingkat perintah pada program selanjutnya.

##### (v) Program utama

Program utama merupakan sumber dari pengontrolan program, karena semua perintah pada program diurutkan dari tampilan awal, pengambilan data, dan penampilan data.

##### (vi) Ambil dan kirim data

Data perintah atau ketentuan yang sesuai dengan



Gambar 4 Algoritma berbentuk diagram alir untuk pemrograman terhadap sistem mikrokontroler ATmega32

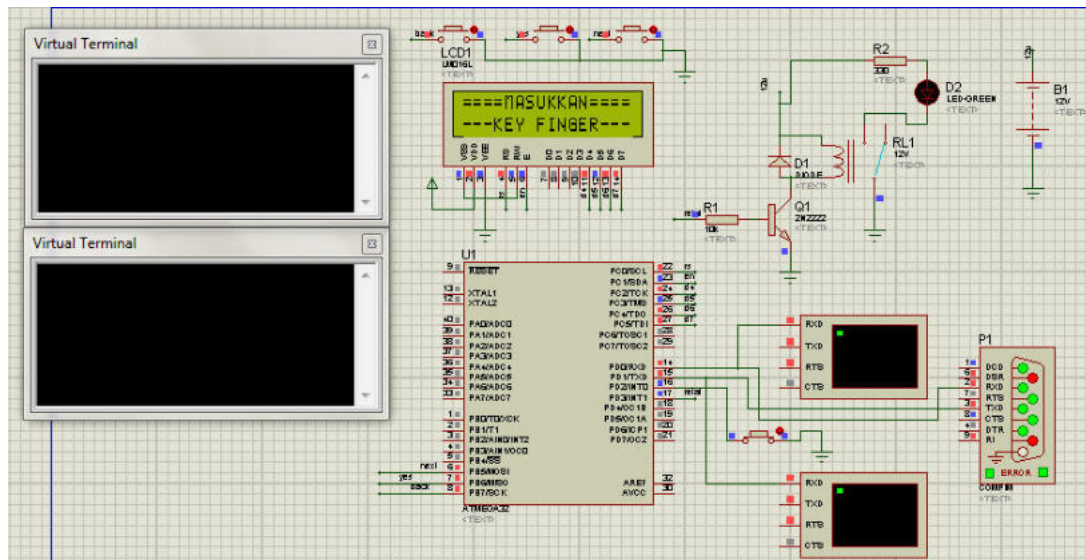
masukan pada sensor dikirim yang selanjutnya digunakan untuk isyarat ke penggerak aktuator.

##### (vii) Keluaran

Keluaran program merupakan reaksi yang diakibatkan oleh masukan dari sensor. Struktur sintaks program untuk keluaran, yaitu:

```

Mulai3:
Set Relay
Temp1 = Array_ser(13)
Call Lowerblank
Lowerline
Lcd "> User "
Lcd Temp1
Wait 1
Temp1_w = Array_ser(14)
Temp2_w = Array_ser(15)
Temp3_w = Temp1_w * 256
Temp1_w = Temp3_w + Temp2_w
Call Lowerblank
Lowerline
Lcd "> Score: "
Lcd Temp1_w
Wait 1
Goto Menu
Nomatch1:
  
```



Gambar 5. Tampilan hasil simulasi ketika sensor *passive infrared reciever* tidak mendeteksi keberadaan *user*

```
Lowerline
Lcd "> No user  "
Wait 1
If Pir = 1 Then
    Lowerline
    Lcd "-----"
End If
Goto Mulai
'Do
'Loop
```

## 2. Uji verifikasi berbantuan aplikasi Proteus

Uji verifikasi terhadap program berbasis bahasa BasCom yang di-download-kan ke program aplikasi Proteus. Pengkondisian dilakukan terhadap: (a) Simulasi pengkondisian sistem pengaman ketika sensor *passive infrared reciever* tidak mendeteksi keberadaan *user*, (b) Simulasi pengkondisian sistem pengaman ketika terdapat *user*, tetapi data sidik jari belum ke sensor *fingerprint*, (c) Simulasi pengkondisian sistem pengaman awal ketika sistem ON (sistem aktif).

a. Simulasi pengkondisian sistem pengaman awal ketika sensor *passive infrared reciever* tidak mendeteksi keberadaan *user*.

Tampilan hasil simulasi pengkondisian sistem pengaman ketika sensor *passive infrared reciever* tidak mendeteksi keberadaan *user*, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan, bahwa simulasi untuk pengkondisian sistem pengaman awal dilakukan dengan pemberian masukan data terhadap sensor *passive infrared reciever* berupa sinyal keberadaan manusia (*user*) dan sidik jari ke sensor *fingerprint*, kemudian diteruskan ke sistem mikrokontroler dengan kabel RS232. Masukan RXD disambungkan ke kaki 14 mikrokontroler dan untuk masukan TXD disambungkan ke kaki 15 mikrokontroler, maka tertampilkan "MASUKKAN KEY FINGER" pada LCD seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

b. Simulasi pengkondisian sistem pengaman awal ketika

terdapat *user*, tetapi data sidik jari belum dimasukkan ke sensor *fingerprint*

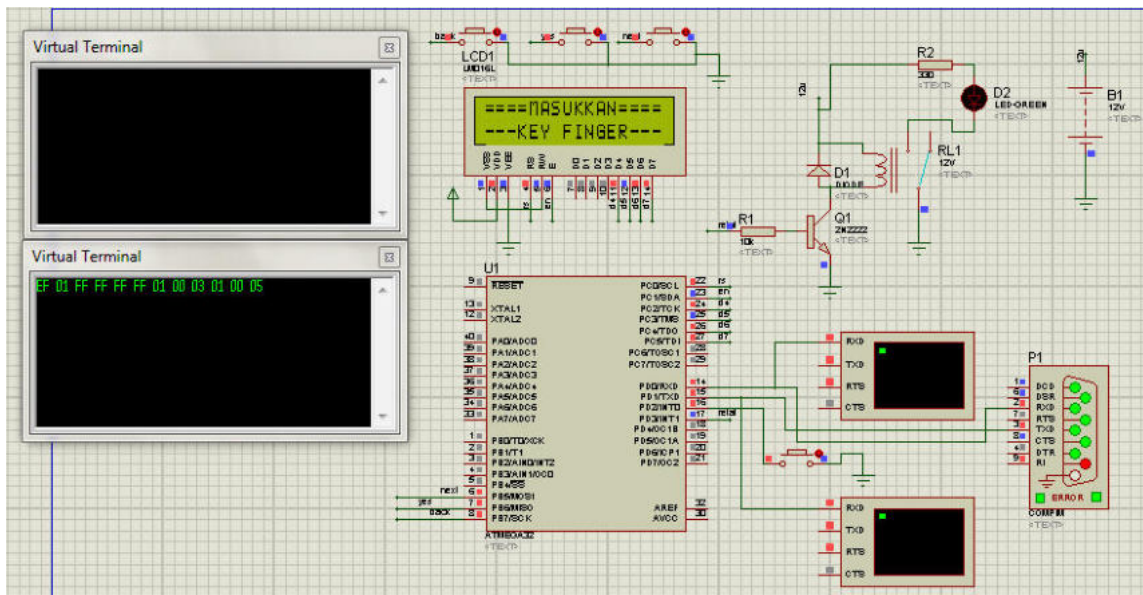
Tampilan hasil simulasi pengkondisian sistem pengaman ketika terdapat *user*, tetapi data sidik jari belum dimasukkan ke sensor *fingerprint*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, bahwa simulasi untuk pengkondisian sistem pengaman dilakukan dengan pemberian masukan sinyal keberadaan manusia (*user*) terhadap sensor *passive infrared reciever* dan data berupa sidik jari oleh *user* terhadap sensor *fingerprint* ke sistem mikrokontroler dengan kabel RS232. Masukan RXD disambungkan ke kaki 14 mikrokontroler dan untuk masukan TXD disambungkan ke kaki 15 mikrokontroler, maka tertampilkan "MASUKKAN KEY FINGER" pada LCD dan Virtual Terminal pada aplikasi Proteus dengan kode *fingerprint* ditampilkan sebagai bentuk pencarian terhadap data *user* yang tersimpan pada modul sensor *fingerprint* dengan siklus berulang-ulang.

c. Simulasi pengkondisian sistem pengaman ketika sistem ON (*active system*)

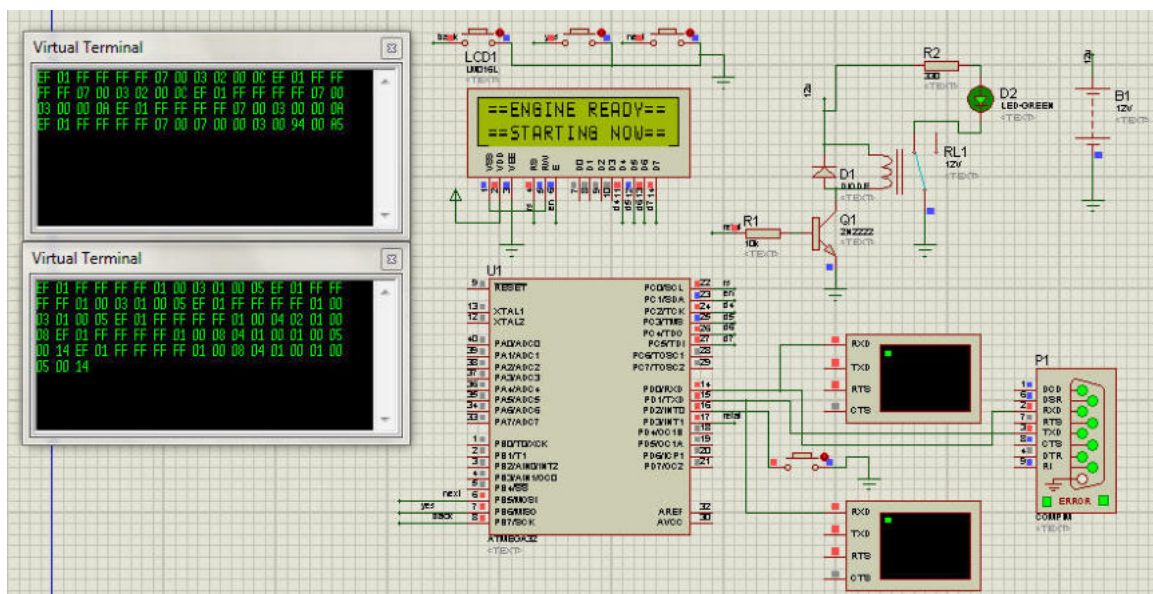
Tampilan hasil simulasi pengkondisian sistem pengaman awal, ketika sistem ON (sistem aktif), seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa simulasi untuk pengkondisian sistem pengaman dilakukan dengan pemberian masukan data berupa sidik jari oleh *user* dari sensor *fingerprint* ke sistem mikrokontroler dengan kabel RS232. Masukan RXD disambungkan ke kaki 14 mikrokontroler dan untuk masukan TXD disambungkan ke kaki 15 mikrokontroler, kemudian modul sensor *fingerprint* kirim *command* data ke mikrokontroler untuk verifikasi data *user*, maka tertampilkan "ENGINE READY STARTING NOW" pada LCD dan Virtual Terminal.

## B. Struktur Minimalis Sistem Pengaman Berbasis Mikrokontroler ATmega32

Perolehan diagram skematis rangkaian elektronika



Gambar 6. Tampilan hasil simulasi pengkondisian sistem pengaman awal ketika terdapat *user*, tetapi data sidik jari belum dimasukkan ke sensor fingerprint



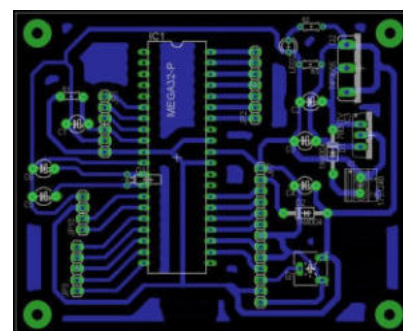
Gambar 7. Tampilan hasil simulasi pengkondisian sistem pengaman awal ketika sistem ON (sistem aktif)

sebagai dasar pembuatan *board* sistem mikrokontroler yang diperoleh melalui tahapan penyetricaan, pelarutan, dan pengeboran lubang-lubang untuk kaki-kaki komponen-komponen elektronika. Penampang tampak bawah *board* untuk sistem mikrokontroler ATmega32, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Pin serial data terhubung ke mikrokontroler untuk pemberian perintah pengalamatan pada pin data sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint* untuk pantauan terhadap data yang masuk. Pin-pin yang digunakan pada modul sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint*, adalah GND, VCC, RXD, dan TXD. Pin-pin tersebut kemudian dihubungkan dengan pin-pin bersesuaian yang terdapat pada mikrokontroler.

Perolehan sistem pengaman pada mobil berbasis

mikrokontroler ATmega32 yang dapat diintegrasikan ke *engine immobilizer*, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Penampang tampak bawah board untuk sistem mikrokontroler ATmega32



Gambar 9. Penampang minimum system terintegrasi

Berdasarkan Gambar 9 ditunjukkan, bahwa relai elektromekanik sebagai aktuator dikendalikan oleh transistor BD139 sebagai saklar penggerak aktuator dengan perolehan sinyal keluaran dari mikrokontroler ATmega32 untuk pemberian pasokan daya ke koil relai elektromekanik. Untuk kondisi dimana terdapat perintah dari mikrokontroler ATmega32 berupa sinyal yang sudah dipilih atau disetel, maka pemberian tegangan 5 volt yang kemudian terhubung ke kaki basis transistor. Pasokan tegangan pada kaki basis transistor, berakibat *ground* pada koil relai terhubung. Kondisi sebaliknya, apabila kaki basis transistor tidak dapat pasokan tegangan, maka koil relai tidak ter-energi-kan. Kontak bantu (*auxiliary contact*) pada relai elektromekanik digunakan untuk penyambungan dan pemutusan pasokan daya listrik arus searah 12 Volt ke beban-beban listrik pada kendaraan bermotor. Kelebihan penggunaan relai, adalah dapat untuk pemberian tegangan dan arus yang diinginkan dan digunakan untuk pengoperasian beban listrik terkontrol.

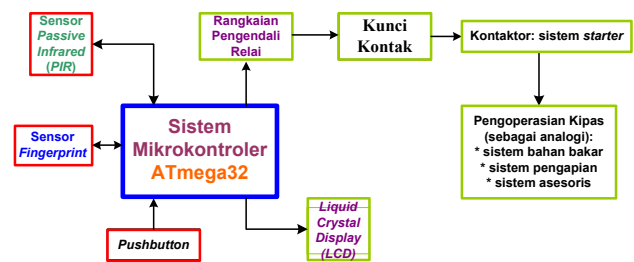
### C. Kinerja Sistem Pengaman pada Mobil

Tabel 1. Kondisi dan nilai tegangan pada sistem dan tampilan LCD, ketika sensor passive infrared receiver tidak mendeteksi keberadaan *user*

| Switch | Tampilan "LCD"        | Sensor PIR |                       | Kondisi Sensor Fingerprint | Kondisi Kipas (aktuator) sebagai analogi mesin mobil, saat kunci kontak posisi Start (ST) |
|--------|-----------------------|------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                       | Logika     | Nilai Tegangan (volt) |                            |                                                                                           |
| OFF    | OFF                   | 0          | 0                     | OFF                        | OFF                                                                                       |
| ON     | "MASUKKAN KEY FINGER" | 0          | 0                     | OFF                        | OFF                                                                                       |



Gambar 11 Tampilan hasil sistem dan LCD ketika sensor *passive infrared receiver* tidak deteksi keberadaan *user*



Gambar 10 Diagram skematis sistem untuk eksperimen pengoperasian aktuator sebagai analogi proses pen-starter-an

Pengukuran kinerja sistem pengaman pada mobil berbantuan sensor *passive infrared receiver* dan *fingerprint* berbasis mikrokontroler ATmega32. Diagram skematis sistem untuk eksperimen pengoperasian aktuator sebagai analogi proses pen-starter-an, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan, bahwa untuk pengukuran kinerja sistem pengaman dilakukan untuk tiga kondisi pemantauan, sebagaimana proses uji verifikasi. Tampilan hasil sistem dan LCD ketika sensor *passive infrared receiver* tidak deteksi keberadaan *user*, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

Berdasarkan Gambar 11 ditunjukkan, bahwa hasil deteksi sensor tidak ditunjukkan keberadaan *user*, maka mikrokontroler kirim perintah ke aktuator untuk ditampilkan "MASUKKAN KEY FINGER" pada LCD, sedangkan sensor *fingerprint* dalam keadaan OFF. Kondisi dan nilai tegangan pada sistem dan tampilan LCD, ketika sensor *passive infrared receiver* tidak deteksi keberadaan *user*, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tampilan hasil sistem dan LCD ketika terdapat *user*, tetapi data sidik jari belum dimasukkan ke sensor *fingerprint*, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.

Berdasarkan Gambar 12 ditunjukkan, bahwa hasil dari pendeteksian keberadaan *user* terhadap sensor *passive infrared receiver*, tetapi data sidik jari belum dimasukkan

Gambar 12 Tampilan hasil sistem dan LCD ketika terdapat *user*, tetapi data sidik jari belum dimasukkan ke sensor fingerprint

Gambar 13 Tampilan hasil sistem dan LCD ketika sistem ON (sistem aktif)

ke sensor *fingerprint*, maka mikrokontroler kirim perintah untuk tampilkan “MASUKKAN KEY FINGER” pada LCD, sedangkan sensor *fingerprint* dalam keadaan nyala berkedip. Kondisi dan nilai tegangan pada sistem dan tampilan LCD, ketika terdapat *user*, tetapi data sidik jari belum dimasukkan ke sensor *fingerprint*, seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Tampilan hasil sistem dan LCD ketika sistem ON (sistem aktif), seperti ditunjukkan pada Gambar 13.

Berdasarkan Gambar 13 ditunjukkan, bahwa hasil dari pendeteksian keberadaan *user* terhadap sensor *passive infrared reciever* dan data sidik jari dimasukkan ke sensor *fingerprint*, maka sistem berstatus aktif, kemudian sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint* tidak aktif secara bersamaan selama sistem tersebut dalam keadaan aktif, sehingga mikrokontroler kirim perintah pengoperasian aktuator untuk tampilkan “ENGINE READY, STARTING NOW” pada LCD. Kondisi dan nilai tegangan pada sistem dan LCD, ketika sistem aktif, seperti ditunjukkan pada

Tabel 3.

Sistem pengaman pada mobil yang dibuat merupakan sistem yang diintegrasikan terhadap sistem *engine immobilizer*. Keberadaan sistem pengaman ini sepenuhnya sebagai suplemen yang ditempatkan sebelum *ignition key* dapat difungsikan. Sebuah mobil dengan sistem *engine immobilizer* bertumpu sepenuhnya kepada *ignition key* yang melekat dan menjadi bagian penting terhadap keberadaan sebuah mobil. *Ignition key* yang tidak berada pada tangan yang berhak (tercuri, misalnya) berpotensi besar terhadap mobil berpindah penguasaan. Hal itu menjadi titik kelemahan sebuah *ignition key*, sehingga diperlukan sistem pengaman ini.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian.

Program untuk sistem pengaman mikrokontroler

Tabel 2. Kondisi dan nilai tegangan pada sistem dan tampilan LCD, ketika terdapat *user*, tetapi sidik jari belum dimasukkan ke sensor fingerprint

| Switch | Tampilan “LCD”        | Sensor PIR |                       | Kondisi Sensor Fingerprint                | Kondisi Kipas (aktuator) sebagai analogi mesin mobil, saat kunci kontak posisi Start (ST) |
|--------|-----------------------|------------|-----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                       | Logika     | Nilai Tegangan (volt) |                                           |                                                                                           |
| OFF    | OFF                   | 0          | 0                     | OFF                                       | OFF                                                                                       |
| ON     | “MASUKKAN KEY FINGER” | 1          | 3,4                   | NYALA BERKEDIP (tanpa masukan sidik jari) | OFF                                                                                       |

Tabel 3. Kondisi dan nilai tegangan pada sistem dan LCD, ketika sistem aktif

| Switch | Tampilan “LCD”               | Sensor PIR |                       | Kondisi Sensor Fingerprint | Kondisi Kipas (aktuator) sebagai analogi mesin mobil, saat kunci kontak posisi Start (ST) |
|--------|------------------------------|------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                              | Logika     | Nilai Tegangan (volt) |                            |                                                                                           |
| OFF    | OFF                          | 0          | 0                     | OFF                        | OFF                                                                                       |
| ON     | “ENGINE READY, STARTING NOW” | 0          | 0                     | OFF                        | ON                                                                                        |

berbasis bahasa BasCom AVR dilakukan beberapa tahapan, yaitu konfigurasi pin, deklarasi variabel (peubah), deklarasi konstanta (tetapan), inisialisasi, program utama, ambil dan kirim data, dan keluaran. Simulasi berbantuan aplikasi Proteus dilaksanakan untuk 3 (tiga) macam kondisi sistem, yaitu pengkondisian sistem pengaman ketika sensor *passive infrared reciever* tidak mendeteksi keberadaan *user*, pengkondisian sistem pengaman ketika terdapat *user* dan data sidik jari belum dimasukkan ke sensor *fingerprint*, dan pengkondisian sistem pengaman ketika sistem ON (sistem aktif). Hasil simulasi sesuai dengan masukan terhadap sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint* dengan tampilan pada Virtual Terminal.

Sistem pengaman pada mobil berbasis mikrokontroler ATmega32 berbantuan sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint* dipabrikasi melalui pentahapan, yaitu a) pembuatan diagram rangkaian skematis dibuat dengan program aplikasi *EAGLE*, agar pembentukan jalur antar komponen pada *board* dapat diketahui penggunaannya, baik sensor-transduser, mikrokontroler, atau *LCD*; (b) bentuk fisis *board* diperoleh melalui sejumlah tahapan yang diakhiri dengan pemasangan komponen; dan (c) pengawatan terintegrasi terhadap sistem pengaman berupa lima *port*, masing-masing untuk konektor catu daya 5 volt *dc*, sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint*, *LCD* 2x16, antarmuka *downloader*, dan keluaran.

Kinerja sistem pengaman awal pada mobil berbantuan sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint* berbasis mikrokontroler ATmega32 ditunjukkan, bahwa hasil pemantauan (i) saat “pengkondisian sistem pengaman awal, ketika sensor *passive infrared reciever* tidak mendeteksi keberadaan *user*”, maka sensor *fingerprint* tidak menyala (berkedip), kemudian tampilan pada *LCD* “MASUKKAN KEY FINGER”, dan tegangan terukur pada pin input data sensor *passive infrared reciever* sebesar 0 volt, sedangkan aktuatur untuk pengoperasian kipas dalam keadaan off; (ii) saat “pengkondisian sistem pengaman ketika terdapat *user* dan tetapi belum dengan data sidik jari ke sensor *fingerprint*”, maka sensor *fingerprint* nyala berkedip dan *LCD* masih tetap dengan tampilan “MASUKKAN KEY FINGER”, sedangkan aktuatur untuk pengoperasian kipas dalam keadaan off dan tegangan terukur pada pin masukan data sensor *passive infrared reciever* sebesar 5 volt, (iii) saat “pengkondisian sistem pengaman ketika sistem ON (*active system*)”, maka sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint* tidak aktif secara bersamaan selama sistem tersebut dalam keadaan aktif, sehingga mikrokontroler kirim perintah pengoperasian aktuatur untuk tampilkan “ENGINE READY, STARTING NOW” pada *LCD* dan aktuatur untuk pengoperasian kipas *energized* dan kipas (sebagai analogi mesin mobil) beroperasi (berputar) ketika kunci kontak diposisikan pada posisi *Starter* (ST) dengan tegangan terukur pada aktuatur untuk pengoperasian kipas sebesar 11,86 volt. Pemberian perintah masukan terhadap sensor *passive infrared reciever* dan *fingerprint* telah diperoleh kinerja yang diharapkan.

## REFERENSI

- [1] W.D. Treharne, E.M. Coultate, and S.B. Rougier. Vehicle Immobilizer System for Electronic Engine Control. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US6181026B1/en>. (1999-06-28) US09329271
- [2] Anonymous. (2017, Dec. 9). *Engine immobilizer: An Intelligent Anti-theft System for Vehicles*. [Online]. Available: <https://wheelzine.com/engine-immobilizer-intelligent-anti-theft-system-for-vehicles>.
- [3] P. Singh, T. Sethi, B.B. Biswal, and S.K. Pattanayak. “A Smart Anti-theft System for Vehicle Security,” in *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, Vol. 3, No. 4, November 2015, pp. 249-254.
- [4] J.C. van Ours and B. Vollaard. “The Engine Immobiliser: A Non-starter for Car Thieves,” in *The Economic Journal*, Vol. 126, Issue 593, 1 June 2016, pp. 1264–1291. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/eoj.12196>.
- [5] D. Graham-Rowe. (2010, Dec. 1). “Criminals Find the Key to Car Immobilizers,” in *New Scientist* (2789). [Online]. Available: <https://www.newscientist.com/article/mg20827894-500-criminals-find-the-key-to-car-immobilisers/>.
- [6] A.C. Muñoz, “Contact and Non-contact Position Sensors,” in *Sensor Technology Handbook*, J.S. Wilson (Editor in Chief). Burlington, MA: Newnes, 2005, pp. 321-369.
- [7] T. Takiguchi, T. Yamagata, A. Sako, N. Miyake, J. Revaud, and Y. Arikai. “Human-Robot Interface Using System Request Utterance Detection Based on Acoustic Features,” in *International Journal of Hybrid Information Technology*, Vol. 1, No. 3, 2008 (July), pp. 81-90. [Online]. Available: <https://www.earticle.net/Article/A74923>.
- [8] M.S.M. Effendi, Z. Shayfull, M.S. Saad, S.M. Nasir, and A.H.B. Azmi. “A New Invention of Alarm Reminder Locking (ARL) Security System,” in *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Vol. 8, No. 1, Feb-Mar 2016, pp. 465-472. [Online]. Available: <http://www.enggjournals.com/ijet/docs/IJET16-08-01-038.pdf>.
- [9] D. Maltoni. (2007). A Tutorial on *Fingerprint* Recognition. Biometric Systems Laboratory - DEIS - University of Bologna. [Online]. Available: [https://cedar.buffalo.edu/~govind/CSE666/fall2007/FP\\_Tutorial.pdf](https://cedar.buffalo.edu/~govind/CSE666/fall2007/FP_Tutorial.pdf)
- [10] S Anu H Nair, P. Aruna, and K. Sakthivel. Sparse Representation Fusion of *Fingerprint*, Iris and Palmprint Biometric Features,” in *International Journal of Advanced Computer Research*, Vol. 4, No. 1 (14), March 2014, pp. 46-53.
- [11] K.V. Leelambika, A. Rohini, and M.Q.M. Vidya. “Bayes Classification for the *Fingerprint* Retrieval,” in *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol. 4, No. 2, Jan-Feb 2013, pp. 216-220.
- [12] I. Mustofa, A. Goeritno, dan B.A. Prakosa, “Prototipe Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler untuk Pengaman terhadap Gangguan Hubung Singkat pada Otobis,” di *Prosiding SNTI V-2016 Universitas Trisakti*, Jakarta, 18 Mei 2016, hlm. 317-323.
- [13] M.T. Sholehata dan A. Goeritno, “Sistem Minimum Berbasis Mikrokontroler ATmega2560 sebagai Sistem Pengaman pada Analogi Lemari Penyimpanan Brankas,” di *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 14, No. 3, Desember 2018, DOI: [10.17529/jre.v14i3.11649](https://doi.org/10.17529/jre.v14i3.11649)
- [14] J. Axelsson, *The Microcontroller Idea Book* Circuits, Programs, & Applications featuring the 8052-BASIC Microcontroller, Madison, WI: Lakeview Research, 1997, pp. 1-10.
- [15] A. Goeritno, J. Irawan, and Sopyandi, “Segmentation of Load Groups on a Single Phase kWh-meter Using the Payload Data Handling System,” in *International Journal of Advanced Research*

- (IJAR), Vol. 6, No. 7, July 2018, pp. 415-426. [Online]. DOI: 10.21474/IJAR01/7378.
- [16] Suhendri dan A. Goeritno. "Pemantauan Energi Listrik pada Satu kWh-meter Fase Tunggal untuk Empat Kelompok Beban Berbasis Metode Payload Data Handling," di Jurnal Rekayasa Elektrika, Vol. 14, No. 3, Desember 2018, DOI: [10.17529/jre.v14i3.11952](https://doi.org/10.17529/jre.v14i3.11952).
- [17] R. Effendi, A. Goeritno, dan R. Yatim. "Prototipe Sistem Pendeteksian Awal Pencemaran Air Berbantuan Sensor Konduktivitas dan Suhu Berbasis Mikrokontroler," di Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi (Semnastek) 2015, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta. [Online]. 2, hlm. (TE-017) 1-6. Tersedia di: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/430/396>.
- [18] A. Goeritno, R. Effendi, dan R. Yatim. "Implementasi Contacting Conductivity Sensor dan Thermistor Berbasis Mikrokontroler ATmega32 Untuk Pendeteksian Awal Kualitas Air," di Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi (Semnastek) 2016, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta. [Online]. 3, hlm. (TE-018) 1-12. Tersedia di: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/693/624>.
- [19] S.F. Barret and D.J. Pack. Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing. San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2008, pp. 3-5.
- [20] M.A. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, The AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2011, pp. 40-43.
- [21] The MCS Electronics Team, (2008), "BASCOM-AVR User Manual Introduction", MCS Electronics, pp. 222-252.
- [22] Proteus2000, (1998), "Proteus 2000 Operations Manual", Scott Valley, CA: E-MU Systems, Inc. pp. 131-164.
- [23] Atmel Corporation, (2014, Feb.). 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash. [Online], Available: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet\\_tot.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet_tot.pdf).
- [24] CadSoft Computer, (2010), "Eagle Easily Applicable Graphical Layout Editor Manual Version 5", CadSoft Computer Inc., pp. 37-80.

# Prototipe Deteksi PEN dalam Tubuh Menggunakan B-Mode Ultrasonic Scanning

Chandra Edy Prianto, Agus Indra Gunawan, dan Ni'am Tamami  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
e-mail: chandraedyp@gmail.com

**Abstrak**—*Internal fixation* merupakan metode penyembuhan patah tulang dengan menyambung tulang tersebut menggunakan logam disebut pen. Logam pen di dalam tubuh tidak permanen, ketika tulang sudah tersambung kuat maka pen harus dilepas untuk menghindari infeksi/peradangan. Untuk mengetahui letak pen biasanya dilakukan *scanning* menggunakan X-Ray. Namun X-Ray memiliki efek samping yang kurang baik sehingga tidak semua orang diperbolehkan menggunakannya. Solusi yang diberikan adalah dengan pembuatan prototipe alat pendeteksi pen yang aman menggunakan metode B-Mode *ultrasonic scanning*, yaitu mendeteksi pen menggunakan *transducer* ultrasonik *single transducer* 5MHz. Dalam penelitian ini, objek berupa tulang hewan disambung dengan logam yang diletakkan di dalam agar-agar dengan tinggi yang berbeda. Dari dua *transducer* yang digunakan disimpulkan bahwa *transducer* permukaan cekung memiliki hasil yang lebih baik dengan persentase *error* lebih kecil daripada *transducer* permukaan datar. *Transducer* permukaan cekung memiliki *area focal length* yang terletak 1,94 cm di atas permukaan *transducer*. Sudut kemiringan maksimal dari objek adalah 20°, di mana lebih dari itu membuat sinyal *echo* objek tidak terbaca. Hasil pengukuran objek ditampilkan dalam tampilan B-Mode 1 dimensi pada PC yang menampilkan struktur permukaan bawah objek, berdasarkan perbandingan antara objek yang sebenarnya dengan tampilan B-Mode yang dibuat menghasilkan *error* kurang dari 6%, artinya B-Mode yang dibuat dapat merepresentasikan struktur permukaan bawah dari objek yang sebenarnya.

**Kata kunci:** *patah tulang, pen, ultrasonik, B-Mode*

**Abstract**—*Internal fixation* is a method of healing fractures by connecting them using metal called pen. Pen metal in the body isn't permanent, when the bone was strong the pen must be removed to avoid infection. In finding the pen, X-Ray are usually used. But X-Ray has bad effect, so not everyone is allowed to use it. The solution given by make prototype to detect pen location using B-Mode ultrasonic scanning method, it uses 5MHz single transducer ultrasonic. Objects measurement is the animal bones connected with metals placed in the jelly with different heights. From the two transducers, the concave surface transducer has a better result and smaller percentage error than the flat surface transducer. The concave surface transducer has a focal length area 1.94cm above the transducer surface. The maximum slope angle of the object is 20°, which more than that makes the echo signal unreadable the object. The measurement results of objects displayed in the B-Mode 1 dimensional on PC that displays the structure of the bottom surface of an object, based on comparison between the actual object and the B-Mode display an error less than 6%, meaning B-Mode can represent the surface structure bottom of the actual object.

**Keywords:** *fractures, pen, ultrasonic, B-Mode*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi telah memasuki di segala bidang kehidupan tidak terkecuali di bidang medis. Terdapat banyak teknologi yang digunakan untuk membantu para dokter guna menangani pasiennya, mulai dari teknologi untuk menganalisa kondisi pasien, hingga teknologi untuk pengambilan tindakan. Teknologi dalam bidang medis sangat bernilai positif, namun juga terdapat sisi negatif yang berpengaruh bagi penggunaannya seperti penggunaan X-Ray. Salah satu penggunaan X-ray adalah untuk mengetahui letak PEN di dalam tubuh pasien penderita patah tulang di mana salah satu penanganannya adalah dengan melakukan

*internal fixation* atau penyambungan tulang dengan logam yang dikenal dengan "PEN". Namun logam pen tersebut tidak permanen dan harus dikeluarkan dari dalam tubuh pasien untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Pengeluaran PEN juga dilakukan dengan tindakan operasi. Sebelum melakukan tindakan operasi, dokter harus tahu terlebih dahulu letak dari pen tersebut guna menentukan titik pembedahan agar lebar pembedahan dapat dibuat sekecil mungkin. Namun penggunaan X-Ray tidak direkomendasikan untuk digunakan pada anak-anak dan ibu hamil karena dapat mengganggu perkembangan janin dalam kandungannya[1]. David dkk dalam penelitiannya juga menyebutkan bahwa penggunaan X-Ray secara rutin

untuk patah tulang tidak dapat dibenarkan [2]. Selain pertimbangan bahaya radiasi yang ditimbulkan X-ray, pasien juga harus mengeluarkan biaya yang tidak sedikit untuk melakukan *scan* X-Ray tersebut. Metode lainnya yang dapat digunakan untuk mendeteksi PEN dalam tubuh adalah CT scan dan MRI, keduanya memiliki hasil *scan* yang lebih baik dibandingkan hasil X-ray[3], namun penggunaan CT scan dan MRI membutuhkan biaya yang cukup besar.

Pada penelitian ini, diberikan solusi untuk membuat sebuah prototype berupa alat untuk mendeksi letak pen dalam tubuh pasien penderita patah tulang yang aman dari radiasi sehingga dapat digunakan oleh semua kalangan serta dapat dilakukan dengan biaya yang terjangkau. Proses *scanning* pen dilakukan dengan memanfaatkan sinyal pantul suara yang dihasilkan oleh *transducer* ultrasonik 5MHz *single transducer*. *Transducer* ini menembakkan sinyal suara yang dapat menembus lapisan dalam jaringan tubuh dan mendapatkan informasi berdasarkan sinyal pantulan yang dihasilkan. Setiap benda dalam tubuh memiliki karakteristik yang berbeda, membuat profil sinyal pantul dari sinyal ultrasonik yang dihasilkan juga akan berbeda, perbedaan tersebut akan diproses untuk menentukan benda apakah yang terdeteksi. Pada prototipe ini hasil *scanning* akan ditampilkan pada PC dengan tampilan *B-Mode* sehingga mempermudah dokter untuk mengetahui letak dari pen tersebut. Dalam penelitian ini, terdapat 2 buah *transducer* ultrasonik yang akan digunakan untuk pendeteksian pen, kedua *transducer* tersebut akan dibandingkan untuk menentukan *transducer* yang paling baik untuk diterapkan pada kasus ini.

Dengan adanya prototype ini diharapkan dapat terciptanya alat pendeteksi pen dalam tubuh yang siap untuk digunakan para dokter, sehingga alat tersebut dapat digunakan oleh semua kalangan yang menderita patah tulang karena tidak memiliki risiko atau bahaya saat menggunakannya, serta dapat digunakan dengan biaya yang terjangkau.

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Gelombang Ultrasonik

Dalam penelitian ini gelombang ultrasonik dihasilkan oleh sebuah *single transducer* ultrasonik dengan frekuensi 5MHz. Metode pengukuran dilakukan dengan mengukur sinyal pantul atau *echo* dari sinyal ultrasonik yang ditransmisikan oleh *transducer* ke objek yang di-*scanning*. Saat gelombang ultrasonik melewati objek, beberapa gelombang akan diteruskan, sebagian akan disebarkan dan sebagian yang lain akan dipantulkan kembali sebagai sinyal balik atau *echo*. *Echo* yang dipantulkan dari objek akan diterima kembali oleh *transducer*.

Pengukuran dengan menggunakan gelombang ultrasonik bergantung dari bentuk permukaan *transducer* yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan 2 jenis *transducer* yaitu *transducer* dengan bentuk permukaan cekung dan datar. Keduanya memiliki kekurangan dan

kelebihannya masing-masing sebagai berikut:

1. Kelebihan *transducer* permukaan cekung
  - Memiliki 1 titik fokus yang terarah pada objek
  - Dapat melakukan *scanning* objek dengan detail
2. Kekurangan *transducer* permukaan cekung
  - *Transducer* harus diberikan *coupling* berupa air
  - *Transducer* harus dalam kondisi tegak lurus dengan objek
  - Area *scanning* yang relatif kecil karena bergantung pada besar area *focal length*
3. Kelebihan *transducer* permukaan datar
  - Area *scanning* yang cukup besar sesuai dengan permukaan bidang *transducer*.
  - *Transducer* tanpa memerlukan *coupling* sehingga langsung dapat mengukur permukaan objek.
4. Kekurangan *transducer* permukaan datar
  - Area *scan* yang besar membuat objek yang di-*scanning* tidak detail
  - Tidak dapat mengetahui area yang di-*scanning* dengan pasti
  - *Transducer* harus tegak lurus dengan objek.

Untuk *transducer* permukaan cekung, *transducer* memiliki *focal length* yang terletak 2 cm (medium air saja) dari permukaan atas (cekungan) *transducer*[4]. *Focal length* merupakan titik di mana *transducer* dapat memaksimalkan transmisi gelombangnya.

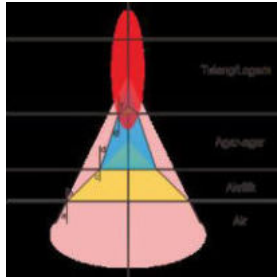
### B. Propagasi Gelombang

Pada penelitian ini, objek yang akan di-*scanning* dengan ultrasonik adalah tulang hewan yang disambung dengan logam, di mana objek tersebut diletakkan di dalam medium agar-agar yang diwadahi dengan wadah yang terbuat dari akrilik.

Peletakan *transducer* dari tiap *transducer* yang digunakan memiliki perbedaan. Untuk *transducer* dengan fokus searah harus diletakkan menempel pada permukaan objek dalam hal ini adalah permukaan akrilik. Untuk meratakan penempelan permukaan *transducer* dengan objek maka digunakan gel pada permukaan *transducer*.

Sedangkan untuk *transducer* dengan fokus terpusat digunakan media *coupling* berupa air. Pada kondisi ini, air diletakkan pada permukaan *transducer* yang cekung dan dikondisikan agar air menyentuh permukaan objek yang akan di-*scanning*. Panjang *focal length* pada *transducer* ini sepanjang 2 cm dengan medium berupa air, untuk mengetahui panjang *focal length* untuk beberapa medium diperlukan untuk mengetahui sudut dari *focal length* terlebih dahulu. Berikut perhitungan sudut *focal length transducer*.

Dengan memanfaatkan sudut dari *focal length* yang diketahui, maka proses transmisi gelombang dari tiap medium juga akan diketahui. Dengan menggunakan hukum Snellius, akan diketahui pembiasan dan pemantulan sinyal dari tiap medium yang dilewati gelombang ultrasonik. Berdasarkan hukum Snellius, proses transmisi sinyal tiap medium digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk transmisi gelombang ultrasonik tiap medium

Tabel 1. Kecepatan suara material

| No | Material        | Kecepatan suara (m/s) | Ref |
|----|-----------------|-----------------------|-----|
| 1. | Air             | 1.528                 | [5] |
| 2. | Agar-agar       | 1.521,7               | [5] |
| 3. | Tulang (umum)   | 4080                  | [5] |
| 4. | Akrilik         | 2730                  | [5] |
| 5. | Logam Stainless | 5740                  | [5] |

$$\frac{c_a}{\sin a} = \frac{c_b}{\sin b} \quad (1)$$

Pada Persamaan 1,  $c_a$  adalah kecepatan suara medium air,  $c_b$  adalah  $a$  Kecepatan suara medium akrilik,  $b$  adalah sudut gelombang datang pada air, adalah sudut gelombang bias pada akrilik,  $c$  adalah sudut gelombang datang pada akrilik, dan  $d$  adalah sudut gelombang bias pada agar-agar.

Besar sudut  $a$  adalah  $19^\circ$  yang diperoleh dengan menggunakan hukum sinus pada segitiga dimana diketahui panjang sisi miringnya merupakan *focal length* dari *transducer* yaitu 2cm dan sisi bawahnya merupakan jari-jari dari permukaan atas *transducer* sebesar 0,65cm [4].

Dengan menggunakan hukum Snellius pada Persamaan (1), maka besar sudut  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ , dan  $f$  pada Gambar 1 dapat diketahui, dengan diketahui kecepatan suara setiap medium dapat dilihat pada Tabel 1.

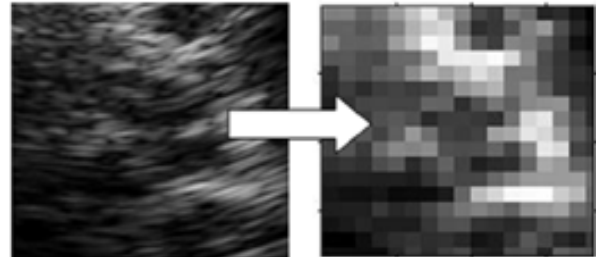
### C. B-Mode

B-Mode merupakan sebuah tampilan gambar dua dimensi yang terdiri dari titik-titik cerah dan gelap yang menggambarkan struktur dari objek. titik-titik tersebut mewakili sinyal *echo* yang dihasilkan oleh pemantulan gelombang ultrasonik pada objek. Titik-titik memiliki berbagai tingkat *echogenicity* yang menggambarkan refleksi gelombang ultrasonik dari jaringan yang diperiksa. Sinyal *echo* dari setiap jaringan dalam B-Mode diwakili oleh intensitas grayscale[8] seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kecenderungan setiap titik ditentukan oleh besarnya amplitudo dari sinyal *echo* yang dipantulkan oleh objek.

## III. METODE

### A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada alat ini meliputi perancangan perangkat lunak dan perangkat keras secara keseluruhan.



Gambar 2. Contoh tampilan B-Mode [13]

Adapun desain dan blok diagram dari rancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 dijelaskan bahwa *function generator* digunakan untuk membangkitkan sinyal trigger 10 Vpp 5MHz pada *transducer* ultrasonik untuk mendeteksi objek yang di-scan.

Pemberian sinyal trigger disinkronkan dengan pergerakan *transducer* oleh motor *stepper* yang digerakkan menggunakan arduino. Sistem pengambilan data yang digunakan adalah dengan metode *sampling*, di mana *transducer* akan mengambil data objek sesuai dengan jumlah step (jumlah *sampling*) yang diberikan. Data hasil pengukuran objek kemudian akan diakuisisi menggunakan Analog Discovery 2 yang kemudian datanya diolah dalam software LabView untuk menghasilkan tampilan B-Mode yang diinginkan. Gambaran prototipe secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 5.

Proses pada LabView dimulai dengan memasukkan banyak data *sampling* yang akan digunakan. Data *sampling* ini merupakan banyaknya data yang akan diambil (sinyal *echo* dari objek) dalam sekali proses *scanning* dan dalam 1 area *scanning* yang telah ditentukan. Selanjutnya *stepper* akan berjalan secara otomatis dan berhenti sejenak untuk mengambil data *echo* dari objek kemudian berjalan kembali. Hasil *scanning* kemudian akan disimpan dalam bentuk *array*. Pemrosesan data diawali dengan menentukan jenis filter, selanjutnya sistem akan menemukan ToF dari sinyal hasil pengukuran untuk menentukan jarak kedalaman dari objek dilanjutkan dengan konversi sinyal menjadi gambar B-Mode. Alur proses ini digambarkan pada Gambar 4.

Dengan tujuan pengamatan bahwa *transducer* dapat mendeteksi logam di dalam tubuh, maka dalam proses pengukuran kami menggunakan objek buatan yang merepresentasikan objek yang sesungguhnya yaitu pada manusia. Objek buatan tersebut terdiri dari logam *stainless* yang merepresentasikan logam pen, tulang hewan berupa tulang ayam, tulang kambing, dan tulang sapi. Tulang-tulang hewan tersebut merupakan tulang yang memiliki kesamaan atau kemiripan dengan tulang manusia. Dalam salah satu literatur yang disusun oleh Jeroen A dan timnya menyebutkan bahwa antara tulang manusia dengan tulang hewan berupa tulang ayam, kambing, dan sapi memiliki perbedaan yang tidak signifikan pada beberapa parameter yang diteliti[9]. Hal serupa disampaikan oleh AI Pearce bersama temannya menyebutkan bahwa tulang hewan (kambing) cocok digunakan untuk permodelan implan pada tulang manusia [10].

Sementara logam yang digunakan merupakan

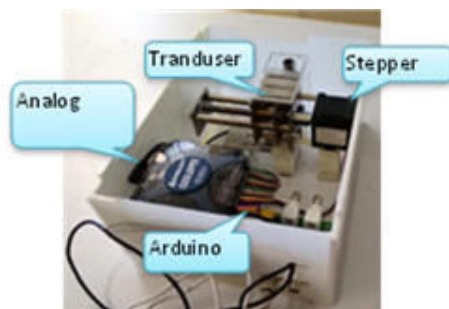


Gambar 4. Flowchart proses pengambilan echo hingga mendapatkan gambar B-Mode

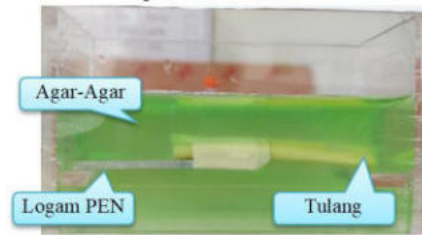
pelat logam *stainless* yang diibaratkan sebuah pen [11]. Sedangkan medium agar-agar digunakan untuk merepresentasikan bagian yang menyelimuti tulang (jaringan tubuh). Agar-agar merupakan sebuah material (makanan) yang tersusun dari air yang dicampur dengan bahan tertentu sehingga dapat tersusun padat, agar-agar digunakan karena memiliki kesamaan dengan tubuh manusia terdiri sel penyusun tubuh yang tersusun dari 70% air [12]. Agar-agar juga seringkali digunakan sebagai tiruan tubuh manusia untuk keperluan penelitian ataupun keperluan lainnya yang berkaitan dengan bahan pengganti tubuh manusia, seperti yang dilakukan oleh Alvin I dan timnya[13] serta Jason R bersama timnya[14]. Adapun gambaran objek pengukuran kami dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan gambar tulang kambing sebagai salah satu objek pengukuran yang disambung dengan pelat logam *stainless* menggunakan isolasi kertas. Objek tersebut kemudian diletakkan dalam wadah terbuat dari akrilik (0,3 cm) dan ditenggelamkan dalam agar-agar pada ketinggian tertentu dari permukaan wadah. Pada objek tersebut logam *stainless* memiliki dimensi 4 x 2 x 0,2 cm (P x L x T) sedangkan tulang kambing memiliki dimensi 4,5 x 2 x 0,4 cm (P x L x T).

### B. Pengujian Transducer

Pengujian *transducer* ini bertujuan untuk memastikan bahwa *transducer* yang digunakan dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan melakukan *scanning* dengan objek air yang diletakkan dalam wadah akrilik



Gambar 5. Bagian-bagian dari prototipe sistem



Gambar 6. Objek pengukuran

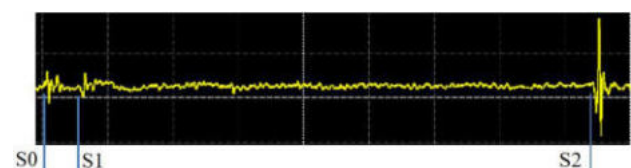
seperti yang telah dilakukan pada oleh literatur[15].

Gambar 7 menunjukkan terdapat 3 sinyal *echo* dengan besar amplitudo yang berbeda, menandakan bahwa terdapat 3 medium yang memantulkan kembali gelombang ultrasonik dari *transducer*. Sinyal *echo* merupakan sinyal pantul dari gelombang ultrasonik. Penerjemahan sinyal dilakukan dengan menentukan Time-of-Flight (ToF). Nilai dari ToF dijadikan pedoman untuk dapat menghitung jarak antar sinyal *echo* yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan jarak asli dari objeknya[16].

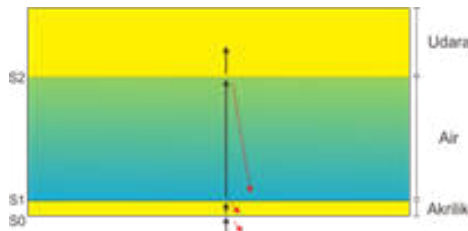
Gelombang ultrasonik akan melewati medium pertama yaitu lapisan bawah akrilik sehingga muncul sinyal *echo* S0, kemudian merambat menuju medium kedua yaitu lapisan atas akrilik yang bersentuhan dengan medium air sehingga muncul sinyal *echo* S2, kemudian merambat pada medium air yang bersentuhan dengan udara sehingga muncul sinyal *echo* S3. Besar amplitudo dari ketiga sinyal ini dipengaruhi oleh karakteristik *transducer* yang digambarkan pada Gambar 9. Besarnya amplitudo dari sinyal pengukuran akan mempengaruhi warna pada gambar B-Mode. Proses pemantulan gelombang ultrasonik diilustrasikan pada Gambar 8.

Terdapat perbedaan perlakuan untuk *transducer* dengan permukaan cekung, karena *transducer* ini memiliki fokus terpusat, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian letak dari *focal length* pada *transducer*. Pengujian dilakukan dengan meletakkan *transducer* di dalam air karena *transducer* membutuhkan coupling air. Kemudian di depan permukaan *transducer* diletakkan sebuah benda yang digerakkan menjauhi permukaan *transducer*, serta benda dimiringkan untuk mengetahui respons sinyal yang didapatkan berdasarkan semua kondisi tersebut (Gambar 8).

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, area *focal length* pada *transducer* ini berada sejauh 2 cm, hal tersebut terlihat ketika objek diletakkan 1 cm di atas permukaan *transducer* atau berada di luar area *focal length transducer* seperti pada Gambar 8 (a) mengakibatkan sinyal *echo* dari objek sangat kecil, berbeda ketika objek diletakkan 2 cm (Gambar 8 (b)) di atas permukaan *transducer* atau tepat di area *focal length*, maka sinyal *echo* yang dihasilkan adalah sinyal *echo* dengan kekuatan maksimumnya, artinya pada



Gambar 7. Hasil pegujian transducer dengan objek air



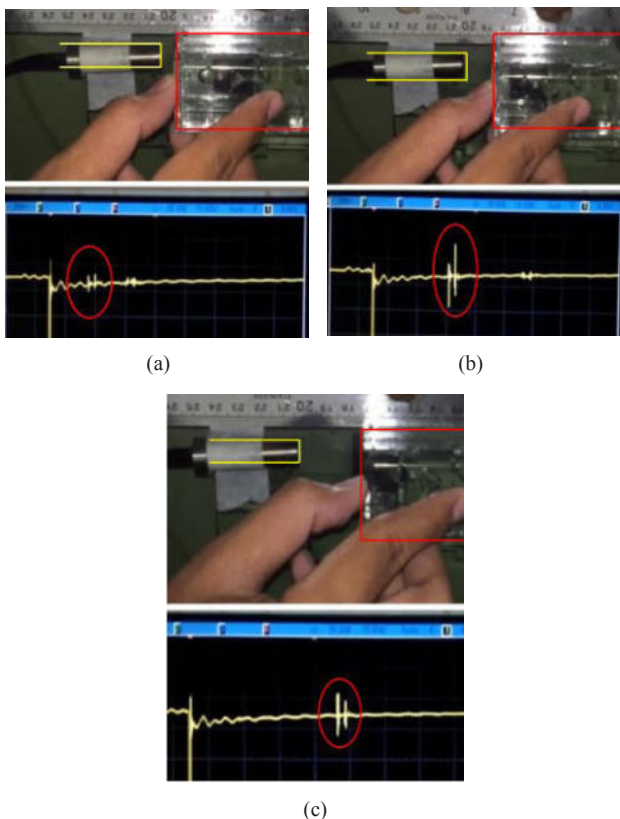
Gambar 8. Ilustrasi pantulan gelombang ultrasonik

posisi ini sinyal *echo* dari objek diterima secara maksimal oleh *transducer* sehingga sinyal yang didapatkan lebih besar dari pada Gambar 8 (a). Ketika objek diletakkan lebih jauh dari area *focal length* yaitu 3 cm (Gambar 8 (c)) di atas permukaan *transducer*, sinyal *echo* tetap ada namun besar sinyalnya tidak lebih besar daripada ketika objek diletakkan di area *focal length*.

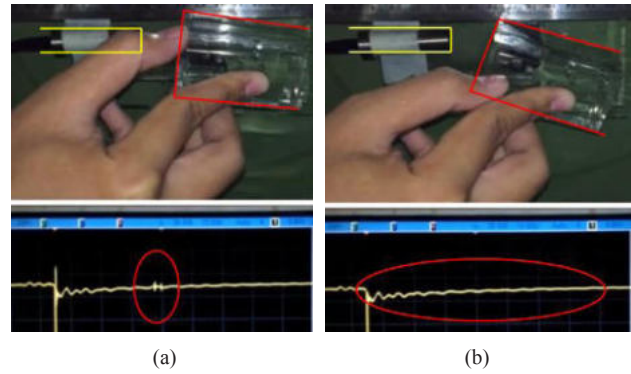
Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, bahwa *transducer* harus ditempatkan tegak lurus terhadap objek yang akan discan sehingga sesuai dengan hukum Snellius, pembiasan dan pemantulan objek untuk kembali ke *transducer* dapat terjadi secara maksimal sehingga sinyal yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Ketika *transducer* ditempatkan tidak tegak lurus terhadap objek, maka pembiasan dan pemantulan sinyal *echo*-nya tidak akan terjadi secara maksimal sehingga sinyal yang dihasilkan akan kecil bahkan tidak terlihat, pada kondisi tersebut sinyal *echo* tidak banyak yang kembali ke *transducer* atau banyak sinyal *echo* yang dipantulkan keluar area dari permukaan *transducer*.

Gambar 10 adalah perbandingan antara sinyal yang



Gambar 9. Perbandingan sinyal peletakan objek jarak 1cm (a), 2cm (b), dan 3cm (c) dari permukaan transducer



Gambar 10. Perbandingan posisi objek tegak lurus (a) dengan objek tidak tegak lurus (b)

dihasilkan ketika *transducer* ditempatkan tegak lurus terhadap objek (a) dan ketika objek dan *transducer* tidak tegak lurus (b).

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan dengan membaca objek yang ditempatkan pada jarak tertentu. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa objek merupakan tulang hewan yang disambung dengan logam yang ditempatkan dalam medium agar-agar yang ditempatkan dalam wadah yang terbuat dari akrilik (Gambar 6). Akrilik yang digunakan memiliki tebal 3 mm, sedangkan tulang hewan yang digunakan adalah tulang kambing, tulang sapi, dan tulang ayam, sementara logam yang digunakan adalah jenis logam *stainless*. Agar-agar sebagai medium dari objek dibuat dengan kombinasi air 100 mL dan agar-agar bubuk 40 gram.

Pengukuran dilakukan dengan variabel jarak objek yang diubah-ubah dan kemiringan objek yang sudutnya juga diubah-ubah serta perbandingan hasil pengukuran oleh dua buah *transducer* yang digunakan. Evaluasi hasil pengukuran diperoleh dengan membandingkan hasil pembacaan oleh *transducer* dengan pengukuran secara manual menggunakan alat ukur. Terdapat 3 buah pengukuran dari setiap tulang yang digunakan berdasarkan jarak objek tegak lurus dari permukaan atas akrilik, yaitu 1 cm, 2 cm dan 3 cm ditunjukkan pada Gambar 11 samapai dengan Gambar 22. Untuk variabel pengukuran dengan parameter sudut kemiringan dari objek dilakukan dengan kondisi jarak objek dengan *transducer* sejauh 2 cm dengan hanya menggunakan objek logam *stainless*. Sudut kemiringan yang diukur adalah 10°, 20°, 30°, dan 40°.

Hasil pengukuran oleh *transducer* ditampilkan dalam bentuk sinyal dalam domain waktu, berdasarkan sinyal yang didapatkan tersebut kemudian dianalisa dengan menentukan sinyal yang menggambarkan objek yang di-scan. Untuk memastikan kebenaran dari sinyal tersebut maka dilakukan perhitungan jarak antar sinyal yang didapatkan kemudian hasilnya dibandingkan dengan jarak yang sebenarnya.

##### A. Hasil Pengukuran dengan Objek Tegak Lurus

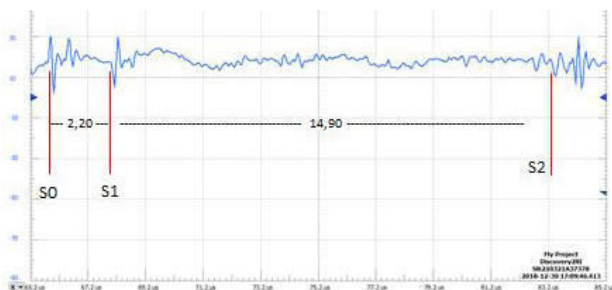
Berikut adalah hasil dari pengukuran yang didapatkan untuk objek tulang ayam, kambing, dan sapi serta objek logam *stainless* dengan ketinggian objek yang berbeda.

Pada gambar pengukuran di atas terdapat 3 buah sinyal yang menunjukkan sinyal *echo* pada objek tertentu. S0 merupakan sinyal *echo* permukaan bawah dari akrilik, S1 merupakan sinyal *echo* permukaan atas dari akrilik, dan S2 merupakan sinyal *echo* dari objek ukur baik berupa tulang maupun logam.

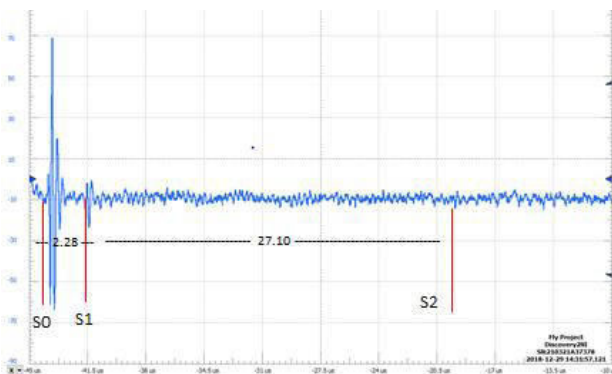
Untuk membuktikan penjelasan di atas maka dilakukan pendekatan dengan melakukan perhitungan jarak antar sinyal secara teori menggunakan Persamaan 2, kemudian dibandingkan dengan kondisi yang sebenarnya.

$$s = v \times t \quad (2)$$

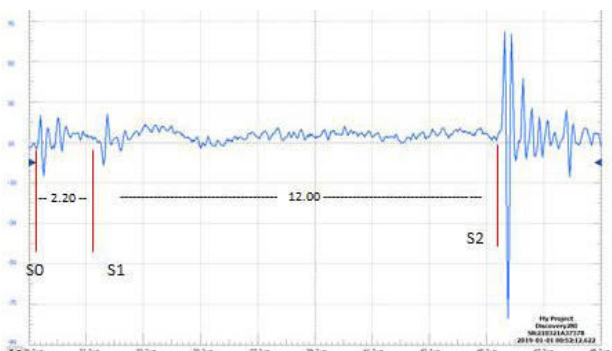
Di mana  $s$  merupakan jarak antara sinyal 1 dan sinyal 2,  $v$  merupakan kecepatan suara sesuai medium yang dilewati



Gambar 11. Hasil pengukuran tulang ayam 1 cm menggunakan transducer cekung

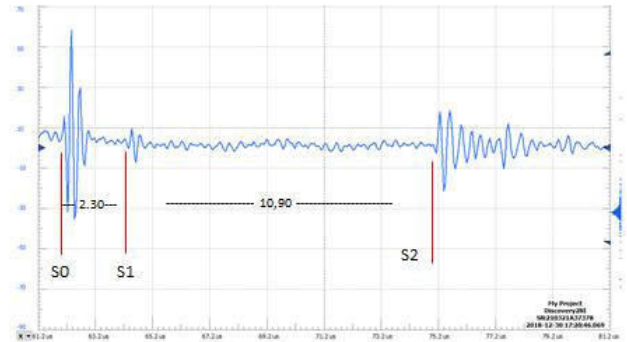


Gambar 12. Hasil pengukuran tulang ayam 1 cm menggunakan transducer datar

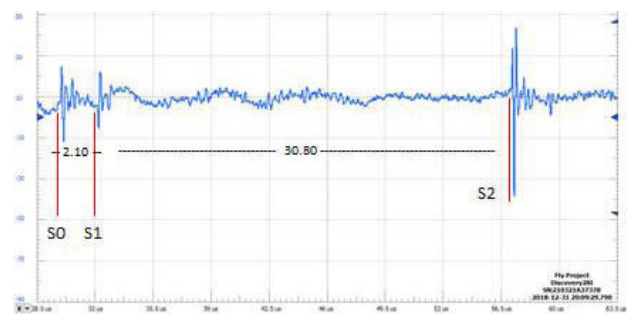


Gambar 13. Hasil pengukuran logam berjarak 1 cm menggunakan transducer cekung

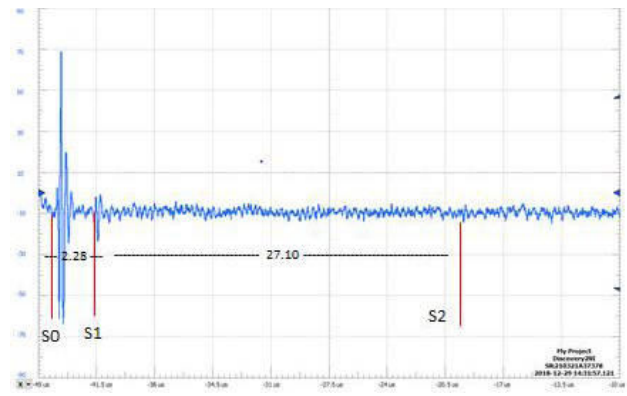
dan  $t$  merupakan delay waktu yang terjadi antara sinyal 1 dan sinyal 2.



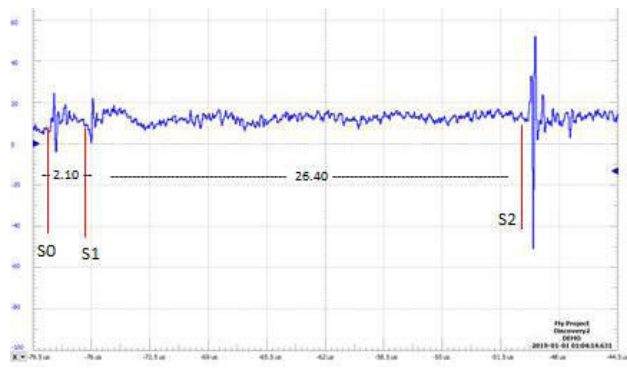
Gambar 14. Hasil pengukuran logam berjarak 1 cm menggunakan transducer datar



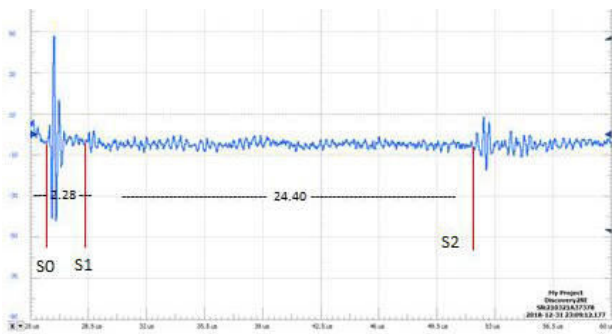
Gambar 15. Hasil pengukuran tulang kambing 2 cm menggunakan transducer cekung



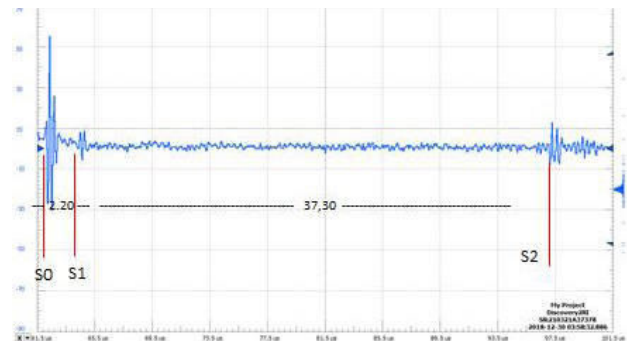
Gambar 16. Hasil pengukuran tulang kambing 2 cm menggunakan transducer datar



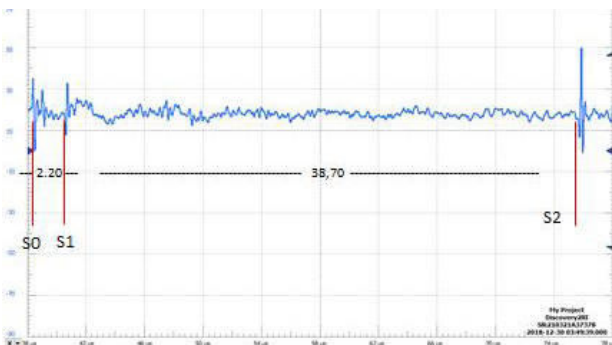
Gambar 17. Hasil pengukuran logam berjarak 2 cm menggunakan transducer cekung



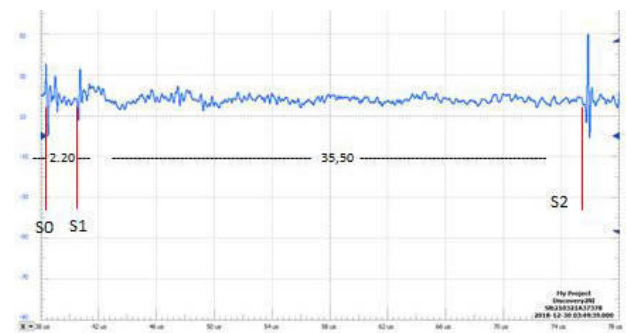
Gambar 18. Hasil pengukuran logam berjarak 2 cm menggunakan transducer datar



Gambar 20. Hasil pengukuran tulang sapi 3 cm menggunakan transducer datar



Gambar 19. Hasil pengukuran tulang sapi 3 cm menggunakan transducer cekung



Gambar 21. Hasil pengukuran logam berjarak 3 cm menggunakan transducer cekung

Dengan menggunakan persamaan (2), pada semua gambar percobaan yang telah dilakukan disimpulkan bahwa S0 dan S1 merupakan tebal dari akrilik, karena semua pengukuran menunjukkan delay waktu antara S0 dan S1 hampir sama sehingga nilai  $s$  yang didapatkan juga tidak jauh berbeda yaitu 3mm, hal ini sesuai dengan tebal

akrilik yang digunakan dalam pengukuran ini yaitu akrilik dengan tebal 3mm. Sedangkan untuk S2 merupakan objek yang akan diukur juga sesuai dengan kondisi objek yang sebenarnya.

Dalam beberapa pengukuran terdapat *error*

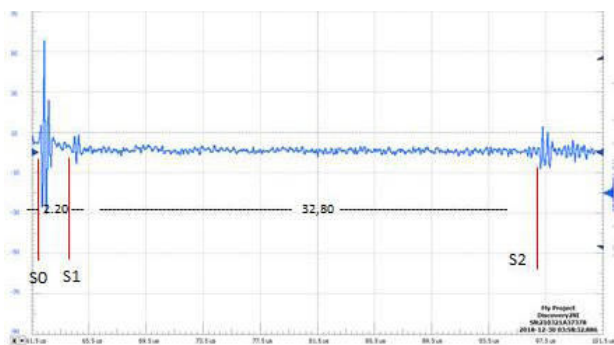
Tabel 2. Hasil pengukuran dengan objek tegak lurus

| Sample                       | Kecepatan suara (m/s) | Time delay (μs)   |                  | Jarak hasil ukur (cm) |                  | Jarak objek sebenarnya (cm) | Error (%)         |                  | Gambar |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|--------|
|                              |                       | Transducer Cekung | Transducer Datar | Transducer Cekung     | Transducer Datar |                             | Transducer Cekung | Transducer Datar |        |
| a. Pengukuran tulang ayam    |                       |                   |                  |                       |                  |                             |                   |                  |        |
| Akrilik                      | 2730                  | 2,20              | 2,30             | 0,30                  | 0,31             | 0,30                        | 0,10              | 4,44             | -      |
| Akrilik – Tulang             | 1521                  | 14,90             | 13,50            | 1,13                  | 1,03             | 1,00                        | 11,75             | 2,60             | 11,12  |
| Akrilik – Logam              | 1521                  | 12,80             | 10,90            | 0,97                  | 0,83             | 0,70                        | 28,09             | 15,56            | 13,14  |
| b. Pengukuran tulang kambing |                       |                   |                  |                       |                  |                             |                   |                  |        |
| Akrilik                      | 2730                  | 2,10              | 2,28             | 0,29                  | 0,31             | 0,30                        | 4,66              | 3,61             | -      |
| Akrilik – Tulang             | 1521                  | 30,80             | 27,10            | 2,34                  | 2,06             | 2,20                        | 6,08              | 6,75             | 15,16  |
| Akrilik – Logam              | 1521                  | 26,40             | 24,40            | 2,01                  | 1,86             | 2,00                        | 0,38              | 7,78             | 17,18  |
| c. Pengukuran tulang sapi    |                       |                   |                  |                       |                  |                             |                   |                  |        |
| Akrilik                      | 2730                  | 2,20              | 2,20             | 0,30                  | 0,30             | 0,30                        | 0,10              | 0,10             | -      |
| Akrilik – Tulang             | 1521                  | 38,70             | 37,30            | 2,94                  | 2,84             | 3,00                        | 1,93              | 5,76             | 19,20  |
| Akrilik – Logam              | 1521                  | 35,50             | 32,80            | 2,70                  | 2,49             | 2,70                        | 0,01              | 8,24             | 21,22  |

\* Akrilik = Jarak antara akrilik permukaan atas dan bawah (S0 dan S1)

Akrilik – tulang = Jarak antara akrilik permukaan atas dengan permukaan bawah tulang (S1 dan S2)

Akrilik – logam = Jarak antara akrilik permukaan atas dengan permukaan bawah logam (S1 dan S2)



Gambar 22. Hasil pengukuran logam berjarak 3 cm menggunakan transducer datar

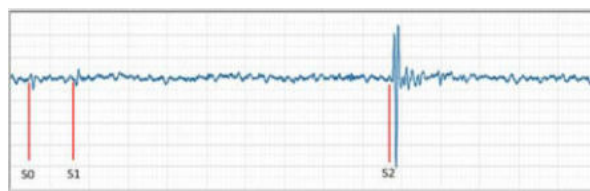
pengukuran di mana sinyal S2 tidak terdeteksi, hal ini dikarenakan posisi objek yang tidak tegak lurus karena keterbatasan penulis dalam memposisikan objek tegak lurus dengan *transducer* serta beberapa tulang memiliki struktur yang membuatnya tidak tegak lurus dengan *transducer*. Kondisi tidak tegak lurusnya objek terhadap *transducer* membuat sinyal *echo* dari objek tidak sempurna kembali ke *transducer* sehingga sinyal yang dihasilkan sangat kecil bahkan tidak terbaca.

Kesimpulan pada pengukuran ini adalah pada pengukuran dengan menggunakan *transducer* permukaan datar menghasilkan pengukuran dengan sinyal *echo* pada objek tidak maksimal yaitu memiliki besar sinyal yang relatif lebih kecil dari pengukuran dengan menggunakan *transducer* permukaan cekung. Hal ini sesuai dengan kelebihan dan kekurangan kedua *transducer* ini yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

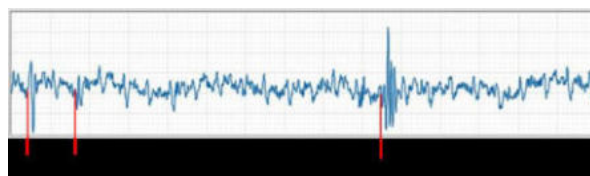
#### B. Hasil Pengukuran dengan Sudut Kemiringan Objek

Pada pengukuran ini objek yang digunakan adalah logam *stainless* saja dengan jarak antara objek dengan *transducer* sejauh 2 cm yang merupakan jarak terbaik sesuai dengan penjelasan sebelumnya serta menggunakan 1 *transducer* yaitu *transducer* dengan permukaan cekung. Hal ini dikarenakan logam *stainless* memiliki nilai kecepatan suara yang lebih besar daripada tulang sehingga sinyal yang dapat ditangkap oleh *transducer* akan lebih besar dibandingkan dengan tulang, untuk itu diasumsikan bahwa jika *transducer* dapat membaca sinyal *echo* dari logam *stainless* maka *transducer* juga dapat dipastikan dapat membaca sinyal *echo* dari tulang dan begitupun sebaliknya, jika *transducer* sudah tidak dapat lagi membaca sinyal *echo* dari logam *stainless* maka *transducer* juga dapat dipastikan tidak dapat membaca sinyal *echo* dari tulang. Serta dalam pengukuran ini digunakan 1 *transducer* karena pengukuran ini dilakukan setelah didapatkan kesimpulan bahwa *transducer* dengan permukaan cekung memiliki hasil pengukuran yang lebih baik dibandingkan dengan *transducer* dengan permukaan datar. Berikut hasil pengukuran yang telah dilakukan.

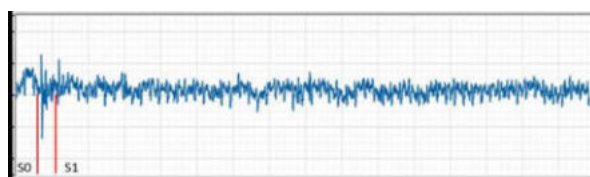
Hasil pengukuran pada objek dengan kemiringan 10° pada Gambar 23 menunjukkan bahwa objek berupa logam *stainless* masih dapat terlihat dengan baik. Sedangkan



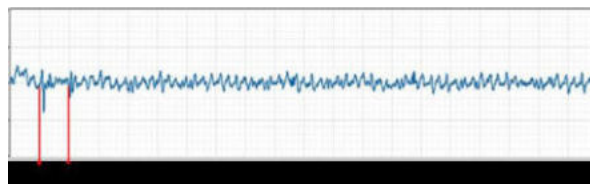
Gambar 23. Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 10°



Gambar 24. Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 20°



Gambar 25. Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 30°



Gambar 26 Hasil pengukuran logam dengan kemiringan 40°

untuk objek dengan kemiringan 20° pada Gambar 24 menunjukkan hasil yang kurang bagus, di mana objek ukur masih bisa terlihat namun sinyal yang didapatkan lebih kecil daripada hasil pengukuran sebelumnya. Pada gambar tersebut sinyal terlihat tidak stabil dan dipenuhi oleh *noise*, hal ini terjadi karena sinyal pada pengukuran ini dilakukan pembesaran pada tampilannya (*zoom*) yang mengakibatkan sinyal rusak dan terlihat penuh dengan *noise* serta tidak stabil.

Hasil pengukuran dengan kemiringan objek lebih besar yaitu 30° pada Gambar 25 menunjukkan hasil di mana sinyal objek berupa logam *stainless* sudah tidak terlihat, namun sinyal akrilik bagian atas dan bawah masih terlihat baik seperti yang ditunjukkan pada S0 dan S1. Hasil serupa juga terjadi pada hasil pengukuran dengan sudut kemiringan objek sebesar 40° pada Gambar 26. Sinyal objek berupa besi *stainless* tidak terlihat namun sinyal akrilik bagian atas dan bawah masih terlihat jelas.

Berdasarkan hasil semua pengukuran di atas, keempat hasil pengukuran menunjukkan bahwa sinyal pada akrilik bagian atas dan bawah sama-sama dapat terbaca dengan jelas seperti yang ditunjukkan pada S0 dan S1 pada gambar, sedangkan S2 yang merupakan objek pengamatan berupa besi *stainless* hanya dapat terlihat pada kemiringan 10° dan 20° saja dan tidak terlihat pada sudut di atasnya.

Berdasarkan hukum Snellius tentang pembiasan dan pemantulan suatu gelombang sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa besar sudut datang sama dengan besar sudut pantulnya dihitung dari

garis normalnya, artinya antara sudut garis gelombang datang dengan garis normal dan garis gelombang pantul dengan garis normal memiliki sudut yang sama.

Hal ini diilustrasikan pada Gambar 27 di mana pada point (a) objek diletakkan tegak lurus dengan *transducer* sehingga membuat sinyal datang yang ditunjukkan dengan area warna merah akan dipantulkan semua secara sempurna kembali ke *transducer* seperti yang ditunjukkan dengan area warna biru, berbeda jika objek dimiringkan dengan sudut tertentu, pada point (b) objek dimiringkan dengan kemiringan  $10^\circ$  yang membuat garis normal dari objeknya juga tidak miring dan tidak tegak lurus dengan permukaan *transducer*, hal ini membuat gelombang datang yang sama yang ditunjukkan dengan area berwarna merah akan menghasilkan sinyal pantul yang sedikit melenceng keluar dari permukaan *transducer*.

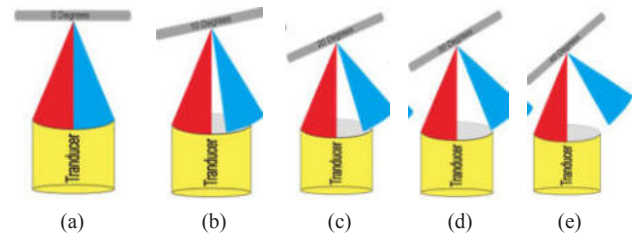
Hal ini menyebabkan sinyal *echo* yang kembali ke *transducer* tidak maksimal yang membuat pembacaan sinyal menjadi lebih kecil. Pada Gambar 23 hasil percobaan menunjukkan bahwa sinyal *echo* dari objek masih terbaca, namun tentu saja tidak sebagus pada hasil percobaan ketika objek diletakkan tegak lurus terhadap *transducer*.

Semakin besar sudut kemiringan dari objek terhadap *transducer* maka garis normal objek juga akan semakin jauh dari *transducer* yang tentunya akan membuat sinyal pantulnya akan semakin melenceng keluar jauh dari permukaan *transducer* yang membuat sedikit bahkan tidak satupun sinyal *echo* yang kembali ke *transducer* yang membuat pembacaan sinyal terhadap objek menjadi sangat kecil bahkan tidak ada. Gambar 27 (b) masih terdapat sedikit sinyal pantul yang kembali ke *transducer* di mana hal ini membuat hasil pengukuran terhadap objek yang dimiringkan  $20^\circ$  menghasilkan sinyal yang sangat kecil seperti yang ditampilkan pada Gambar 21. Namun semakin besar sudut kemiringan dari objek akan membuat sinyal pantul dari objek tidak kembali ke *transducer* yang menyebabkan hasil pengukuran terhadap objek tidak terbaca seperti yang ditampilkan pada Gambar 25 dan Gambar 26.

Namun, berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat kita lihat bahwa terdapat 2 sinyal di awal yaitu S0 dan S1 di setiap pengukuran selalu ada dan tempatnya tidak berubah. S0 merupakan sinyal dari permukaan bawah akrilik dan S1 adalah sinyal dari permukaan atas akrilik yang digunakan sebagai wadah dalam pengukuran ini. Akrilik ini diletakkan tegak lurus dengan *transducer* sehingga di setiap pengukuran kedua sinyal ini selalu ada dan tempatnya tidak berubah, perbedaan hanya terlihat jelas pada objek S2 yang merupakan variabel dari pengukuran ini

### C. Hasil Pengukuran Akhir

Tampilan B-Mode ini menunjukkan struktur permukaan dari objek yang telah dilakukan *scanning* dengan perbedaan warna. Dalam penelitian ini kami menggunakan warna dengan amplitudo sinyal tertinggi berwarna putih dan sinyal dengan amplitudo terendah



Gambar 27. Perbandingan hasil hukum Snellius berdasarkan sudut (a)  $0^\circ$ , (b)  $10^\circ$ , (c)  $20^\circ$ , (d)  $30^\circ$ , dan (e)  $40^\circ$

berwarna biru.

Pada Gambar 28 menunjukkan tampilan B-Mode dari objek yang diukur. Tampilan B-Mode yang dibuat pada penelitian ini menitikberatkan pada tampilan struktur permukaan bawah dari objek tidak untuk menampilkan ketebalan dari objek yang diukur dikarenakan keterbatasan kemampuan dari hardware yang digunakan yang tidak mampu menampilkan sinyal permukaan atas dari objek yang diukur.

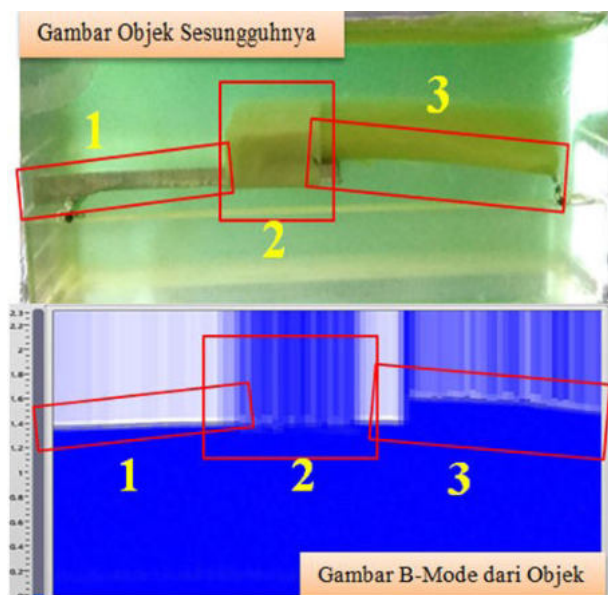
Secara garis besar terdapat 3 poin analisis dalam hasil pengukuran yang telah dilakukan sesuai pada Gambar 28. Poin 1 adalah objek logam *stainless*. Berdasarkan objek aslinya, logam *stainless* ini diletakkan dengan sedikit miring di bagian sisi kirinya sehingga membuat hasil tampilan di B-Mode-nya juga miring.

Hal ini menunjukkan bahwa tampilan B-Mode yang dibuat dapat merepresentasikan objek yang sebenarnya. Untuk posisi kedalaman dari logam *stainless* diukur dari posisi ujung kiri menggunakan alat ukur penggaris menghasilkan 1,43 cm sedangkan hasil pada B-Mode terbaca 1,35 cm dengan demikian didapatkan *error* pembacaan sebesar 5,92%.

Untuk poin nomor 2 pada Gambar 28 menunjukkan gambar sambungan antara tulang dengan logam *stainless*. Penyambungan ini dilakukan dengan menindihkan tulang di atas logam *stainless* lalu ditempel menggunakan isolasi kertas.

Pada tampilan B-Mode gambar mengalami kerusakan di mana objek tidak terlihat jelas bentuknya. Hal ini wajar terjadi, karena terdapat benda asing yang terdapat pada objek pengukuran yaitu isolasi kertas. Isolasi kertas memiliki kecepatan suara yang berbeda dari tulang dan juga logam *stainless* yang membuat pembacaan sinyal dari objek mengalami kekacauan, sehingga masalah ini dianggap wajar terjadi.

Untuk poin 3 pada Gambar 28 merupakan objek tulang. Pada gambar objek yang sesungguhnya, struktur permukaan dari tulang adalah sedikit melengkung dan menurun di mana sisi tengahnya lebih tinggi dari pada sisi bagian samping kanan. Hal ini juga sesuai seperti yang ditampilkan pada gambar hasil B-Mode yang dibuat yang menunjukkan tampilan B-Mode yang dibuat dapat merepresentasikan objek yang sebenarnya. Pengukuran kedalaman dilakukan sama dengan pengukuran kedalaman pada sisi logam *stainless*, di mana sisi samping kanan dari tulang diukur menggunakan alat ukur berupa penggaris dan menghasilkan 1,58 cm dan pada tampilan B-Mode terbaca 1,50 cm, sehingga diperoleh nilai *error* sebesar 5,33%.



Gambar 28. Hasil tampilan B-Mode pada pengukuran objek

## V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini *transducer* yang terbaik untuk digunakan adalah jenis *transducer* ultrasonik *single transducer* dengan permukaan cekung daripada *transducer* yang sama dengan permukaan datar. *Transducer* dengan permukaan cekung memiliki hasil pengukuran yang lebih detail dengan persentase *error* yang lebih kecil daripada *transducer* pembandingnya. *Transducer* ultrasonik dengan permukaan cekung memiliki area *focal length* yang merupakan titik dimana *transducer* dapat memaksimalkan transmisi gelombangnya. Posisi objek mempengaruhi hasil pengukuran, objek yang diletakkan tegak lurus membuat sinyal *echo* yang didapatkan semakin baik karena sinyal pantul dari objek dapat kembali ke *transducer* secara maksimal. Sudut kemiringan maksimal agar sinyal *echo* terbaca sebesar 20°, lebih dari itu akan membuat sinyal *echo* dari objek tidak dapat terbaca. Kesesuaian antara hasil pengukuran dalam tampilan B-Mode dengan kondisi sebenarnya pada objek menghasilkan *error* kurang dari 6% yang membuat sistem yang dibuat merepresentasikan objek yang sebenarnya.

## REFERENSI

- [1] <https://www.klikdokter.com/tanya-dokter/read/2708883/pengaruh-x-ray>, Diakses pada 2 Agustus 2018.
- [2] D. Segal, E. Palmanovich, A. Faour, E. Marom, V. Feldman, E. Yaacobi, O. Slevin, B. K. dan Y. S. Brin, "Routine early post-operative X-ray following internal fixation of intertrochanteric femoral fractures is unjustified: a quality improvement study", *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-6, Juli 2018.
- [3] O. Lubovsky, M. Liebergall, Y. Mattan, Y. Weil, R. Mosheiff, "Early diagnosis of occult hip fractures MRI versus CT scan", *Injury*, Vol. 36, No. 6, pp. 788-792, Juni 2005.
- [4] <http://siui-ndt.ru/assets/files/UT-Probe.pdf>, Diakses pada 25 Juli 2018.
- [5] L. R. Galván, R. R. Ruiz, dan E. S. Gómez, "C-Mode Ultrasonic System Based in Piezoelectric Ceramics and PVDF Polymers for Several Acoustic Impedances", *Electrical and Electronics Engineering*, pp. 1-4, Desember 2006.
- [6] <http://teachersinstitute.yale.edu/curriculum/units/1983/7/83.07.05.x.html>, Diakses pada 30 Juli 2018.
- [7] <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>, Diakses pada 2 Agustus 2018.
- [8] J. Blahuta, T. Soukup, P. Čermák, dan M. Večerek, "Computer analysis and evaluation of ultrasound B-images universally usable due to principle of B-MODE and its displaying in grayscale", *Communications, Signal Processing, and their Applications*, pp. 1-6, April 2015.
- [9] J. Aerssens, S. Boonen, G. Lowet, dan J. Dequeker, "Interspecies Differences in Bone Composition, Density, and Quality: Potential Implications for in Vivo Bone Research", *Endocrinology*, Vol. 139, No. 2, pp. 663-670, Februari 1998.
- [10] A. Pearce, R. Richards, S. Milz, E. Schneider dan S. Pearce, "Animal Models For Implant Biomaterial Research In Bone: A Review", *European Cells and Materials*, Vol. 13, pp. 1-10, Maret 2007.
- [11] M. S. Taljanovic, M. D. Jones, J. T. Ruth, J. B. Benjamin, J. E. Sheppard, dan T. B. Hunter, "Fracture Fixation", *RadioGraphic*, Vol. 23, No. 6, pp. 1569-1590, November 2003.
- [12] A. I. Gunawan, N. Hozumia, K. Takahashia, S. Yoshidab, Y. Saijoc, K. Kobayashid, dan S. Yamamotoe, "Numerical analysis of acoustic impedance microscope utilizing acoustic lens transducer to examine cultured cells", *Ultrasonics*, Vol. 63, pp. 102-110, Desember 2015.
- [13] A. I. Chen, M. L. Balter, M. I. Chen, D. Gross, S. K. Alam, T. J. Maguire, dan M. L. Yarmush, "Multilayered tissue mimicking skin and vessel phantoms with tunable mechanical, optical, and acoustic properties", *Medical Physics*, Vol. 43, No. 6, pp. 3117-3131, Juni 2016.
- [14] J. R. Cook, R. R. Bouchard, dan S. Y. Emelianov, "Tissue-mimicking phantoms for photoacoustic and ultrasonic imaging", *Biomedical Optics Express*, Vol. 2, No. 11, pp. 3193-3206, November 2011.
- [15] E. B. Prastika, A. I. Gunawan, B. S. B. Dewantara, C. E. Prianto, dan N. Hozumi, "The Enhancement of 3 MHz Ultrasonic Echo Signal for Conversion Curve Development for Acoustic Impedance Estimation by Using Wavelet Transform," *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, Vol. 6, No. 1, pp. 105-123, June 2018.
- [16] T. Namas, dan M. Dogruel, "A Feasible and Accurate Technique for Determining the Time-of-Flight in Ultrasonic Distance Measurements", *Electronics in Marine*, Vol. 2, pp. 337-340, September 2008.

# Metode Sederhana untuk Mengendalikan Inverter 5-Tingkat Berbasis Algoritma $\frac{1}{4} \lambda$

Leonardus Heru Pratomo  
Universitas Katolik Soegijapranata  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, 50234  
e-mail: leonardus@unika.ac.id

**Abstrak**—*Inverter* dengan harmonisa tegangan rendah pada sisi keluaran merupakan topik yang menarik dan banyak diteliti. Salah satu solusinya adalah *inverter 5-tingkat: Dual Buck DC-DC Converter - H Bridge Inverter (DBC-HBI)*. Metoda pengendalian *inverter* berbasis modulasi lebar pulsa digital sinusoidal (MLPDS) pada umumnya beralgoritma satu atau setengah panjang gelombang ( $\lambda$ ). Akan tetapi, satu periode dapat dikonstruksi dengan menggabungkan empat buah algoritma  $\frac{1}{4} \lambda$ . Pada makalah ini diteliti terkait algoritma MLPDS berbasis  $\frac{1}{4} \lambda$  untuk mengendalikan *inverter*. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan kesederhanaan kendali dan besaran memori yang digunakan. Sebagai verifikasi metode yang diusulkan dilakukan pengujian kinerja *inverter* berbasis algoritma panjang gelombang di laboratorium. Berdasarkan hasil ujicoba: algoritma berbasis  $1 \lambda$  memiliki algoritma sederhana akan tetapi menggunakan memori yang besar, sebaliknya algoritma  $\frac{1}{4} \lambda$  memiliki algoritma relatif lebih sulit tetapi menggunakan memori lebih sedikit.

**Kata kunci:** *inverter 5-tingkat, algoritma, panjang gelombang*

**Abstract**—The inverter with low voltage harmonics on the output side is a very interesting topic, and widely studied. One of these solutions is a 5-levels inverter: Dual Buck DC-DC Converter - H Bridge Inverter (DBC-HBI). The inverter control methods based on digital sinusoidal pulse width modulation (DSPWM) are commonly implemented by one or a half of the wavelength algorithm ( $\lambda$ ). However, one period could be constructed by combining four algorithms by  $\frac{1}{4} \lambda$ . In this paper, an algorithm of DSPWM based on a  $\frac{1}{4} \lambda$  algorithm is investigated. The aim of this research is the simplest control and capacities of memory. Finally, a verification of the proposed method was carried out by the experiment in the laboratory. Based on the laboratory tests:  $1 \lambda$  algorithm has a simple algorithm, but uses large memory, whereas a  $\frac{1}{4} \lambda$  algorithm more complicated but uses less memory.

**Keywords:** *5-level inverter, algorithm, wavelength*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

*Inverter* merupakan alat konversi energi listrik dalam bentuk besaran listrik DC ke besaran listrik AC. Pemanfaatan *inverter* ini banyak dijumpai pada aplikasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mandiri [1]; [2]. Berdasarkan bentuk gelombang, *inverter* tipe sinusoidal memiliki beberapa keuntungan antara lain minimnya harmonisa pada sisi keluaran [3]–[5]. *Inverter 5-tingkat tipe Dual Buck DC-DC Converter-H Bridge Inverter (DBC-HBI)* memiliki struktur topologi yang sederhana dan terbukti memiliki THD tegangan yang kecil [6]–[9], maka pada makalah ini dipilih *inverter* tipe DBC-HBI. Metode pengendalian *inverter* dengan bentuk gelombang sinusoidal dapat diimplementasi menggunakan sistem analog dan digital. Pada perkembangannya sistem digital lebih banyak diminati dari pada sistem analog karena beberapa faktor: sederhana dan kompak [9]–[17].

Beberapa peneliti telah mengembangkan teknik pengendalian digital berbasis *micro-controller* [18], [9], [11] dan berbasis *Digital Sinyal Prosesor (DSP)* [12]; [19];

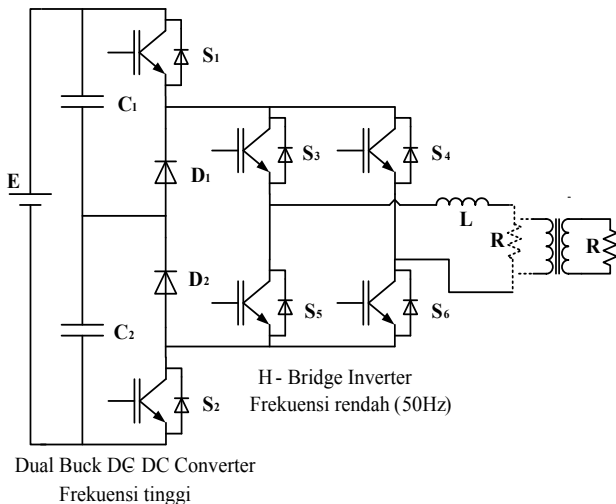
[20] atau *Field Programmable Gate Array (FPGA)* [13]–[17]. Pengendalian berbasis *micro-controller* memiliki keterbatasan terkait memori dan kecepatan pengolahan sinyal karena algoritma yang sulit [8]–[10], solusinya menggunakan DSP dan FPGA. Pemanfaatan DSP dan FPGA mampu mengimplementasi algoritma yang sulit, misal gelombang sinusoidal diimplementasi secara langsung di dalamnya dan sistem ini dilengkapi dengan memori yang besar akan tetapi harganya mahal [19], [12]–[17]. Peneliti terkait algoritma berbasis panjang gelombang ( $\lambda$ ) yaitu  $\frac{1}{2} \lambda$  telah dikembangkan dengan teknik pengendalian digital yang diimplementasi menggunakan DSP tipe dsPIC304012 [20] dengan memodifikasi gelombang sinusoidalnya. Sistem ini diaplikasikan pada *inverter* dengan sistem *loop* terbuka akan tetapi algoritma yang digunakan masih dianggap sulit dan harga DSP yang mahal. Penelitian lain [18] menerapkan algoritma satu gelombang penuh menggunakan modulasi lebar pulsa digital sinusoidal (MLPDS) terprogram, sistem ini diimplementasi menggunakan *micro-controller* tipe 89S52, karena keterbatasan memori maka dikembangkan metode

yang lain. Metode algoritma  $\frac{1}{2} \lambda$  [9] dikembangkan untuk mengatasi masalah ini. Data MLPDS diprogram dalam ATmega 8535 untuk kemudian dimanfaatkan mengerakkan saklar daya. Pada penelitian menggunakan algoritma  $\frac{1}{2} \lambda$  menggunakan MLPDS terprogram. Data MLPDS didapatkan dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *Power Simulator* (PSIM). Hasil simulasi PSIM memuat beberapa file salah satunya adalah file \*.txt. File ini memuat data MLPDS hasil simulasi. Hasil ini dapat langsung digunakan untuk mengoperasikan *inverter* dengan mencacah sebanyak data MLPDS. Metode ini memiliki algoritma sederhana karena hanya memanfaatkan pencacah untuk mengamati memori dan dapat langsung digunakan untuk mengerakkan saklar daya, lebih lanjut akan diuraikan di bagian II.

Metode baru diusulkan pada makalah ini yaitu algoritma pengendalian *inverter* dengan memanfaatkan MLPDS  $\frac{1}{4} \lambda$ . Metode baru ini akan dibandingkan dengan metode-metode yang pernah ada. Sebagai tahap lanjut akan dianalisis algoritma MLPDS berbasis panjang gelombang. Sebagai tahap akhir dilakukan verifikasi pengujian di laboratorium untuk menguji masing-masing algoritma untuk mendapatkan rekomendasi algoritma yang paling sederhana dan memori yang sekecil mungkin.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

*Inverter* 5-tingkat tipe DBC-HBI [6]–[9] memiliki topologi seperti pada Gambar 1. *Inverter* tipe DBC-HBI pada prinsipnya terdiri dari dua buah konverter yaitu: dua buah konverter tipe *Buck* untuk membentuk tingkatan yang dioperasikan pada frekuensi tinggi dan *inverter* tipe jembatan yang lazim disebut *H-Bridge* yang dioperasikan pada frekuensi jala-jala sebagai pembalik polaritas tegangan. *Inverter* ini memiliki dua teknik modulasi lebar pulsa [8] yaitu: menggunakan sinyal pembawa bertingkat dan sinyal pembawa tergeser  $180^\circ$ . Pada saat sinyal pembawa bertingkat digunakan keseimbangan tegangan pada kapasitor *bulk* perlu penanganan khusus akan tetapi jika menggunakan sinyal pembawa tergeser  $180^\circ$  tegangan



Gambar 1. Inverter 5-tingkat tipe DBC-HBI

Tabel 1. Tegangan keluaran *inverter* 5-tingkat tipe DBC-HBI terhadap suatu fungsi pensaklaran

| Vo   | S1  | S2  | S3  | S4  | S5  | S6  | D1  | D2  |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E    | On  | On  | On  | Off | Off | On  | Off | Off |
| E/2  | On  | Off | On  | Off | Off | On  | Off | On  |
| E/2  | Off | On  | On  | Off | Off | On  | On  | Off |
| 0    | Off | Off | On  | Off | Off | On  | On  | On  |
| 0    | Off | Off | Off | On  | On  | Off | On  | On  |
| -E/2 | Off | On  | Off | On  | On  | Off | On  | Off |
| -E/2 | On  | Off | Off | On  | On  | Off | Off | On  |
| E    | On  | On  | Off | On  | On  | Off | Off | Off |

di kapasitor *bulk* akan seimbang secara otomatis [6]. Pada Tabel 1 terlihat tegangan keluaran *inverter* 5-tingkat terhadap suatu fungsi pensaklaran dalam satu periode.

Saat setengah siklus positif pada kondisi  $0 \leq m_1 \leq 1/2$ , tegangan keluaran *inverter* sebesar  $E/2$  (arus induktor naik), berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 E - V_c &= v_L + V_o \\
 \frac{E}{2} &= L \frac{di_L}{dt} + V_o \\
 L \frac{di_L}{dt} &= \frac{E}{2} - V_o \\
 L \Delta i_L &= \left( \frac{E}{2} - V_o \right) \Delta t = \left( \frac{E}{2} - V_o \right) t_{on} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Saat setengah siklus positif, tegangan keluaran *inverter* sebesar  $0 E$  (arus induktor turun), berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 v_L &= V_o - v_d \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_o - 0 \\
 L \Delta i_L &= V_o \Delta t = V_o t_{off} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Sinyal pembawa yang digunakan adalah tergeser  $180^\circ$ , sehingga waktu  $t_{on}$  dan  $t_{off}$  ada dua kondisi dalam satu periode, maka persamaan (1) disubstitusikan ke persamaan (2) didapatkan:

$$V_o = \frac{E}{2} \frac{2t_{on}}{T_s} = m_1 E \quad (3)$$

Saat setengah siklus positif pada kondisi  $1/2 \leq m_2 \leq 1$ , tegangan keluaran *inverter* sebesar  $E$  (arus induktor naik) berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 E &= v_L + V_o \\
 E &= L \frac{di_L}{dt} + V_o \\
 L \frac{di_L}{dt} &= E - V_o \\
 L \Delta i_L &= (E - V_o) \Delta t = (E - V_o) t_{on} \quad (4)
 \end{aligned}$$

Saat setengah siklus positif, tegangan keluaran *inverter* sebesar  $E/2$  (arus induktor turun) berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
 v_L &= V_o - (E - V_c) \\
 L \frac{di_L}{dt} &= V_o - \frac{E}{2}
 \end{aligned}$$

$$L\Delta i_L = \left( V_o - \frac{E}{2} \right) \Delta t = \left( V_o - \frac{E}{2} \right) t_{off} \quad (5)$$

Sinyal pembawa yang digunakan adalah tergeser  $180^\circ$ , sehingga waktu  $t_{on}$  dan  $t_{off}$  ada dua kondisi dalam satu periode, maka persamaan (4) disubstitusikan ke persamaan (5) didapatkan:

$$V_o = \frac{E}{2} \frac{2t_{on}}{T_s} = m_2 E \quad (6)$$

Jika  $m_1$  merupakan indeks modulasi saat sinyal informasi berada pada kondisi  $0 \leq m_1 \leq 1/2$  dan  $m_2$  merupakan indeks modulasi saat sinyal informasi berada pada kondisi  $1/2 \leq m_2 \leq 1$  maka persamaan umum *inverter* pada kondisi satu gelombang penuh dapat diturunkan sebagai berikut:

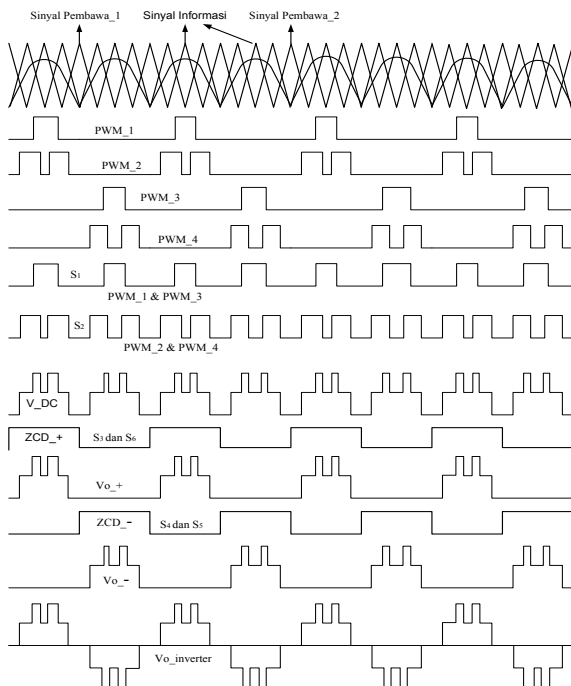
$$V_o = m E \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat diintegrasikan dengan transformator sebagai penguat tegangan, seperti pada Gambar 1 didapatkan persamaan:

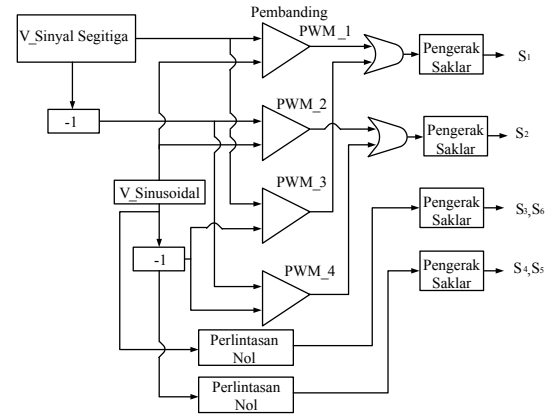
$$V_o = \frac{N_s}{N_p} m E \quad (8)$$

Dimana  $m$  (indeks modulasi) merupakan gabungan dari  $m_1$  dan  $m_2$ . Berdasarkan fungsi pensaklaran dapat dibuat strategi pengendalian berbasis sinyal pembawa tergeser  $180^\circ$  seperti pada Gambar 2 dan diagram blok kendali seperti pada Gambar 3.

Pola MLPDS didapatkan dari simulasi PSIM secara langsung. Suatu simulasi *inverter* 5-tingkat tipe DBC-HBI seperti Gambar 1 dikendalikan dengan MLPDS seperti Gambar 2 akan menghasilkan empat buah file yaitu: \*.txt, \*.smv, \*.csv dan \*.sch. File \*.txt berisikan MLPDS



Gambar 2. Strategi pengendalian inverter 5-tingkat berbasis sinyal pembawa tergeser  $180^\circ$

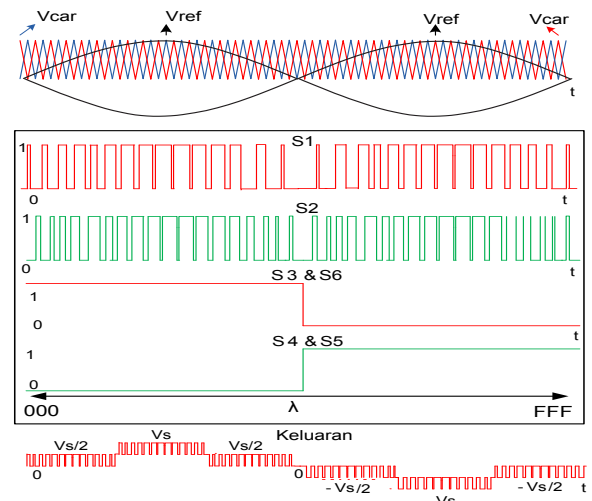


Gambar 3. Diagram blok kendali MLPDS

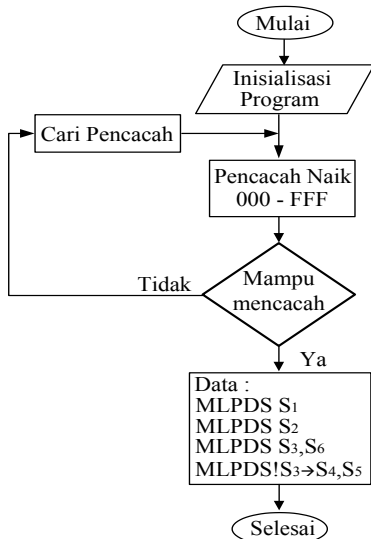
yang diinginkan, untuk memperoleh logika pensaklaran “0” (off) dan “1” (on) maka dilakukan modifikasi data menggunakan *Microsoft excel*. Data MLPDS dari *Microsoft excel* (.xls) kemudian dimasukkan ke dalam *flash memory micro-controller*. Suatu gelombang sinusoidal didapatkan dengan tiga cara yaitu: membaca satu gelombang penuh, membaca setengah gelombang (setengah siklus positif) kemudian gelombang itu dibaca secara terbalik (setengah siklus negatif) untuk mendapatkan satu gelombang penuh dan seperempat gelombang kemudian dibaca mundur (setengah siklus positif) untuk mendapatkan gelombang setengahnya lagi dilakukan pembacaan kebalikan dari semula (setengah siklus negatif).

#### A. Algoritma 1 $\lambda$

Pola pensaklaran MLPDS dengan menggunakan  $1 \lambda$  seperti terlihat pada Gambar 4. Pola ini menggunakan satu periode penuh gelombang sinusoidal sebagai gelombang informasi yang akan dimodulasi oleh *inverter* DBC-HBI. Berdasarkan algoritma pemrograman  $1 \lambda$  dari Gambar 4 dapat dibuat suatu diagram alir pemrograman seperti pada Gambar 5. Data MLPDS selalu dialamati oleh suatu pencacah naik, seperti terlihat pada Gambar 5 yaitu



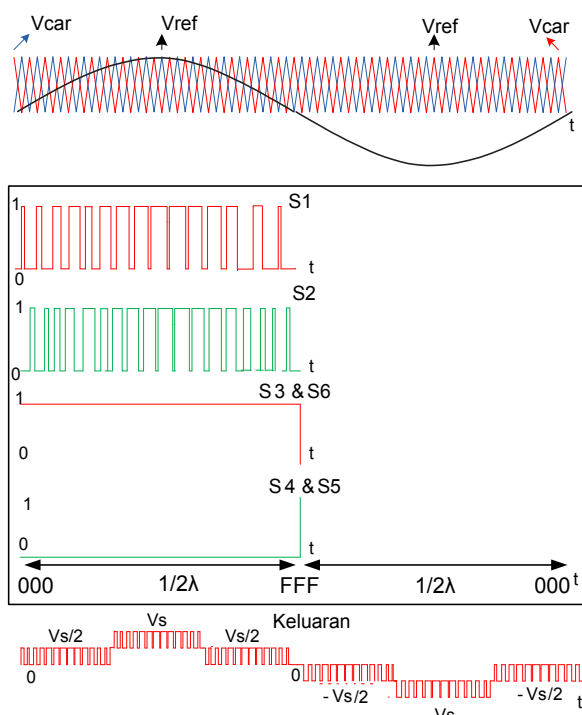
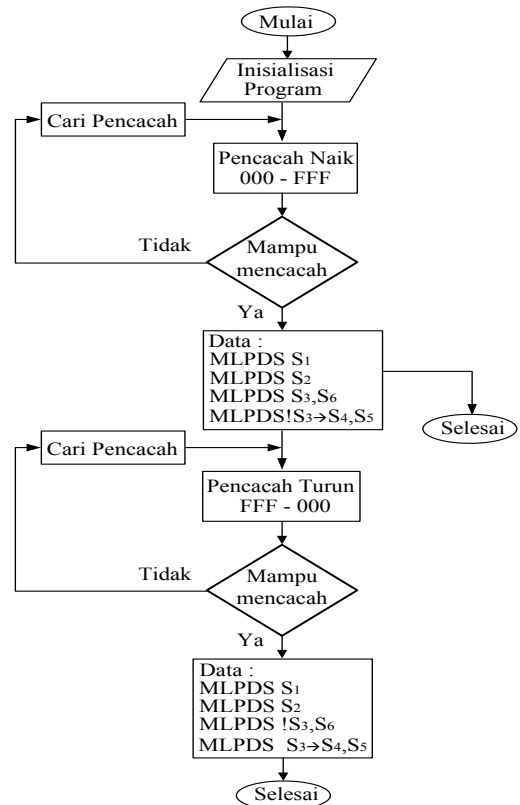
Gambar 4. Algoritma pemrograman  $1 \lambda$

Gambar 5. Diagram alir pemrograman  $1\lambda$ 

menggunakan pencacah naik dari 000 sampai FFF.

### B. Algoritma $\frac{1}{2}\lambda$

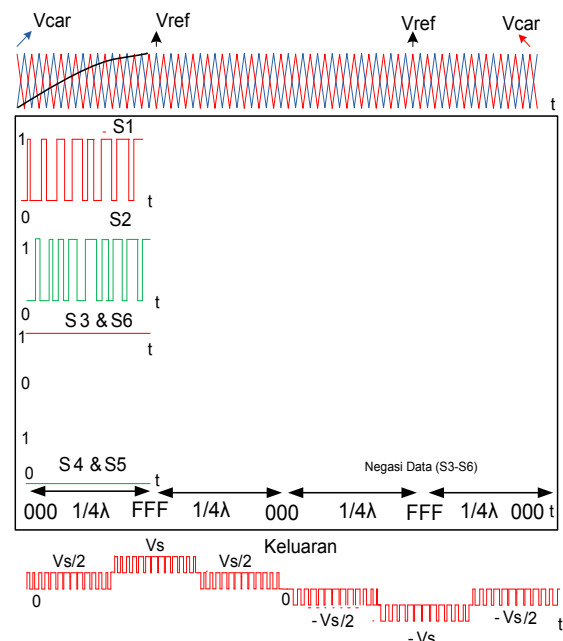
Pola pensaklaran MLPDS dengan menggunakan  $\frac{1}{2}\lambda$  seperti terlihat pada Gambar 6. Pola ini menggunakan setengah periode penuh gelombang sinusoidal sebagai gelombang informasi yang akan dimodulasi oleh *inverter* DBC-HBI. Berdasarkan algoritma pemrograman  $\frac{1}{2}\lambda$  dari Gambar 6 dapat dibuat suatu diagram alir pemrograman seperti pada Gambar 7. Data MLPDS selalu dialamati oleh suatu pencacah naik dan pencacah turun, seperti pada Gambar 7 yaitu menggunakan pencacah naik dari 000 sampai FFF kemudian dilanjutkan dari FFF sampai 000

Gambar 6. Algoritma pemrograman  $\frac{1}{2}\lambda$ Gambar 7. Diagram alir pemrograman  $\frac{1}{2}\lambda$ 

untuk membentuk satu periode.

### C. Algoritma $\frac{1}{4}\lambda$

Pola pensaklaran MLPDS yang berikutnya adalah yang diusulkan dan telah diteliti yaitu menggunakan  $\frac{1}{4}\lambda$  seperti terlihat pada Gambar 8. Pola ini menggunakan seperempat periode penuh gelombang sinusoidal sebagai gelombang informasi yang akan dimodulasi oleh *inverter*

Gambar 8. Algoritma pemrograman  $\frac{1}{4}\lambda$

Tabel 2. Parameter eksperimen

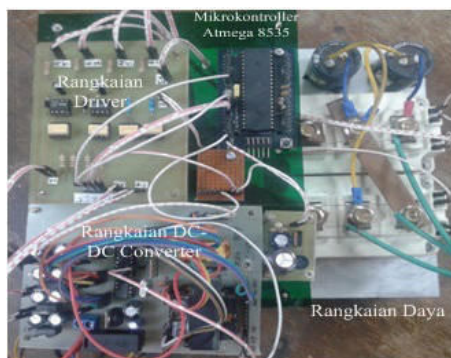
| No  | Parameter                                   | Nilai                          |
|-----|---------------------------------------------|--------------------------------|
| 1.  | Tegangan DC                                 | 60 Volt                        |
| 2.  | Kapasitor                                   | 220uF/450V                     |
| 3.  | Induktor                                    | 1,8 mH                         |
| 4.  | Beban                                       | 500 Watt                       |
| 5.  | Frekuensi pensaklaran $1 \lambda$           | 5KHz                           |
| 6.  | Frekuensi pensaklaran $\frac{1}{2} \lambda$ | 10KHz                          |
| 7.  | Frekuensi pensaklaran $\frac{1}{4} \lambda$ | 20KHz                          |
| 8.  | Saklar                                      | Infineon IGBT tipe FF100R12K24 |
| 9.  | Indeks modulasi                             | 0,9                            |
| 10. | Transformator step up                       | 1 : 5,25                       |

DBC-HBI. Berdasarkan algoritma pemrograman  $\frac{1}{4} \lambda$  dari Gambar 8 dapat dibuat suatu diagram alir pemrograman seperti pada Gambar 9. Data MLPDS selalu dialamati oleh suatu pencacah naik (000 sampai FFF), pencacah turun (000 sampai FFF), pencacah naik (000 sampai FFF) dan pencacah turun (000 sampai FFF), untuk membentuk satu periode. Algoritma yang diusulkan ini memiliki data digital lebih sedikit sehingga memori yang tersimpan juga  $\frac{1}{4}$  lebih sedikit dari pada algoritma pemrograman  $1 \lambda$ .

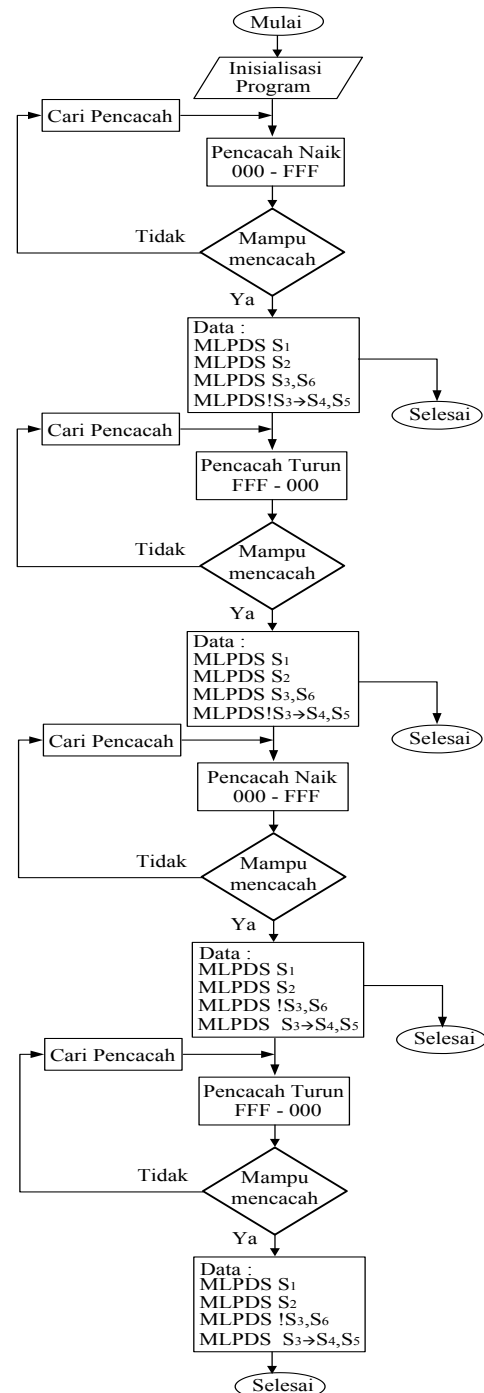
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah analisis pengendalian MLPDS berbasis panjang gelombang dilakukan, tahap selanjutnya dilakukan uji coba di laboratorium. Suatu *micro-controller* tipe ATmega 8535 digunakan sebagai alat kendali untuk masing-masing saklar daya dan catu daya penggerak saklar daya menggunakan *DC-DC converter* tipe *push-pull* yang diimplementasi seperti pada Gambar 10. Berikut ini adalah Tabel 2 parameter yang digunakan dalam uji coba.

Pada pengujian yang pertama dilakukan dengan menggunakan algoritma  $1 \lambda$  dengan menggunakan frekuensi pensaklaran sebesar 5 KHz dan banyaknya data yang dapat diperoleh sebanyak 1024 data serta kapasitas memori yang digunakan sebesar 10 Kbyte, maka untuk pemrograman  $\frac{1}{2} \lambda$  dan  $\frac{1}{4} \lambda$  juga akan menggunakan kapasitas yang sama, sehingga untuk pemrograman  $\frac{1}{2} \lambda$  akan digunakan frekuensi pensaklaran sebesar dua kali frekuensi pensaklaran  $1 \lambda$  sebesar 10 KHz dan untuk  $\frac{1}{4} \lambda$



Gambar 10. Rangkaian uji coba di laboratorium

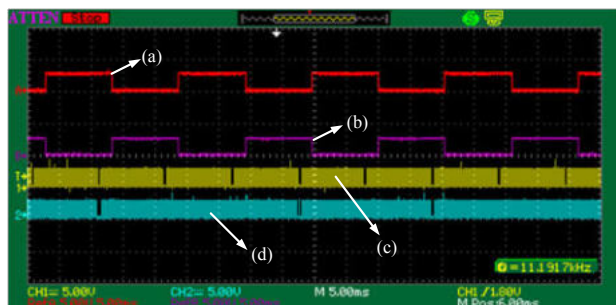


Gambar 9. Algoritma pemrograman  $\frac{1}{4} \lambda$

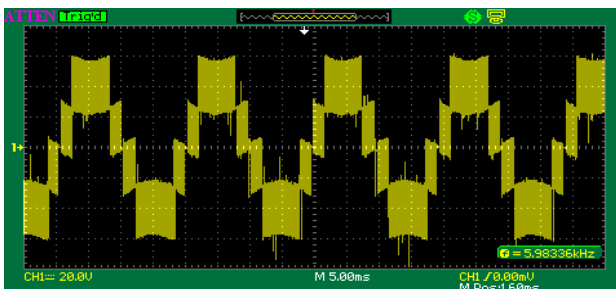
$\lambda$  akan digunakan frekuensi pensaklaran sebesar empat kali frekuensi pensaklaran  $1 \lambda$  sebesar 20 KHz. Dari pemanfaatan kapasitas memori yang sama tetapi frekuensi pensaklaran akan meningkat, sehingga kinerja *inverter* juga akan meningkat.

Berdasarkan Gambar 4, memori  $1 \lambda$  yang digunakan akan dua kali lebih banyak daripada memori  $\frac{1}{2} \lambda$  (Gambar 6) dan empat kali lebih banyak daripada memori  $\frac{1}{4} \lambda$  (Gambar 8). Gambar 11 adalah hasil pengukuran di tiap saklar daya.

Setelah didapatkan hasil pengukuran di tiap saklar daya, maka dilanjutkan pengukuran di tiap lengan *inverter*



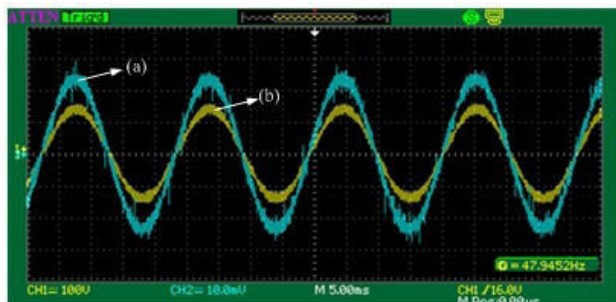
Gambar 11. Hasil pengukuran di tiap saklar daya untuk pemrograman  $1\lambda$ , (a) saklar S3 dan S6, (b) saklar S4 dan S5, (c) saklar S1, (d) saklar S2



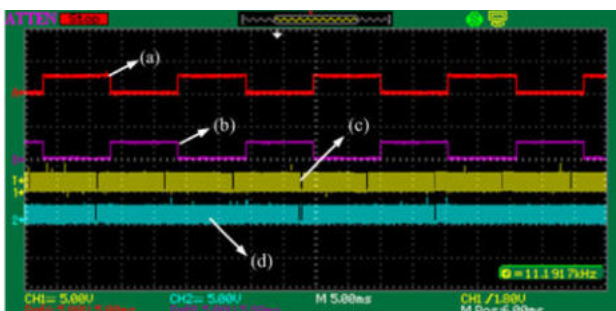
Gambar 12. Keluaran inverter tipe DBC-HBI di lengan inverter H-bridge untuk pemrograman  $1\lambda$

H- bridge seperti pada Gambar 12. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *inverter* yang diuji coba mampu menghasilkan keluaran sebanyak 5-tingkat.

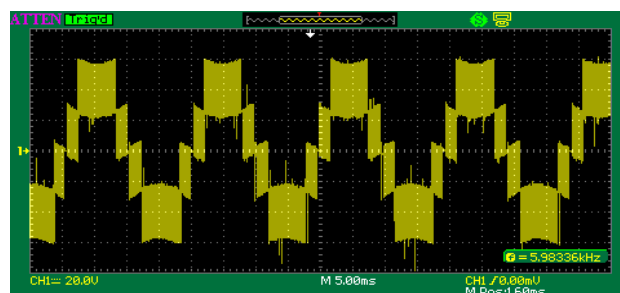
Uji coba dilanjutkan dengan mengukur besarnya THD tegangan keluaran pada beban resistif dengan alat ukur *Power Meter* Hioki tipe 3268-20, didapatkan nilai sebesar 2,4%. Berikut ini Gambar 13 merupakan gambar bentuk



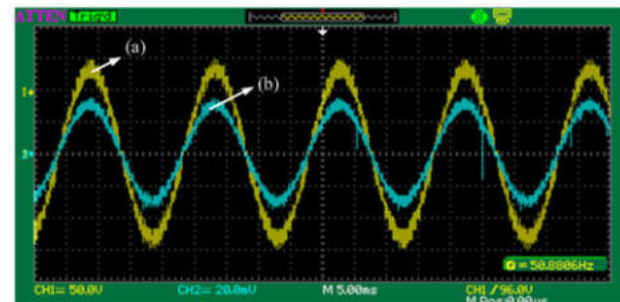
Gambar 13. Gelombang keluaran inverter tipe DBC-HBI setelah dikuatkan dan ditapis untuk pemrograman  $1\lambda$ , (a). Gelombang tegangan, (b). Gelombang arus



Gambar 14. Hasil pengukuran di tiap saklar daya untuk pemrograman  $\frac{1}{2}\lambda$ , (a) saklar S3 dan S6, (b) saklar S4 dan S5, (c) saklar S1, (d) saklar S2



Gambar 15. Keluaran inverter tipe DBC-HBI di lengan inverter H-bridge untuk pemrograman  $\frac{1}{2}\lambda$



Gambar 16. Gelombang keluaran inverter tipe DBC-HBI setelah dikuatkan dan ditapis untuk pemrograman  $\frac{1}{2}\lambda$ , (a). Gelombang tegangan, (b). Gelombang arus

arus dan tegangan keluaran *inverter* DBC-HBI dengan menggunakan pemrograman  $1\lambda$ .

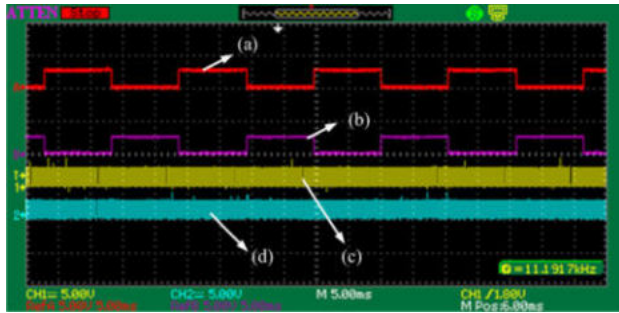
Pada pengujian yang kedua dilakukan dengan menggunakan algoritma  $\frac{1}{2}\lambda$ , dilakukan dengan cara meningkatkan frekuensi pensaklaran sebesar 10 KHz dan banyaknya data yang diperoleh sebanyak 1024 data (dua kali dari uji coba pertama). Berikut ini adalah Gambar 14, hasil pengukuran di tiap saklar daya.

Setelah didapatkan hasil pengukuran di tiap saklar daya, maka dilanjutkan pengukuran di tiap lengan *inverter* H- bridge seperti pada Gambar 15. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *inverter* yang diuji coba mampu menghasilkan keluaran sebanyak 5-tingkat.

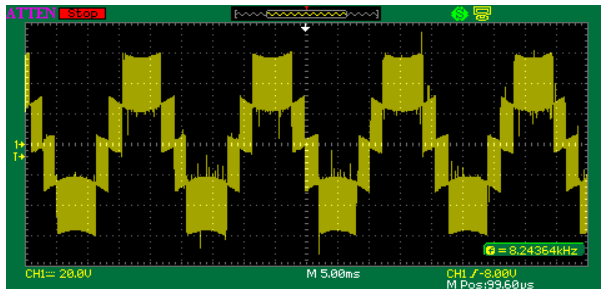
Ujicoba dilanjutkan dengan mengukur besarnya THD tegangan keluaran, didapatkan nilai sebesar 1.2 %. THD ini lebih kecil karena menggunakan frekuensi pensaklaran dua kali lipat dari uji coba yang pertama walaupun menggunakan jumlah data yang sama. Berikut ini Gambar 16 merupakan gambar bentuk arus dan tegangan keluaran *inverter* DBC-HBI dengan menggunakan pemrograman  $\frac{1}{2}\lambda$ .

Pada pengujian yang ketiga dilakukan dengan menggunakan algoritma yang diusulkan yaitu  $\frac{1}{4}\lambda$ , dilakukan dengan meningkatkan frekuensi pensaklaran sebesar 20 KHz dan banyaknya data yang diperoleh sebanyak 1024 data (empat kali dari ujicoba pertama). Berikut ini adalah Gambar 17, hasil pengukuran di tiap saklar daya.

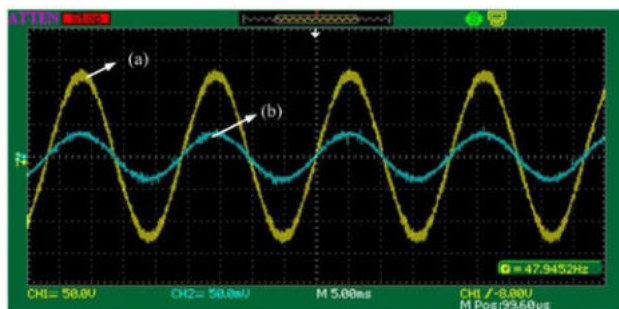
Setelah didapatkan hasil pengukuran di tiap saklar daya, maka dilanjutkan pengukuran di tiap lengan *inverter* H- bridge seperti pada Gambar 18. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *inverter* yang diuji coba mampu



Gambar 17. Hasil pengukuran di tiap saklar daya untuk pemrograman  $\frac{1}{4} \lambda$ , (a) saklar S3 dan S6, (b) saklar S4 dan S5, (c) saklar S1, (d) saklar S2



Gambar 18. Keluaran inverter tipe DBC-HBI di lengan inverter H-bridge untuk pemrograman  $\frac{1}{4} \lambda$



Gambar 19. Gelombang keluaran inverter tipe DBC-HBI setelah dikuatkan dan ditapis untuk pemrograman  $\frac{1}{4} \lambda$ , (a). Gelombang tegangan, (b). Gelombang arus

menghasilkan keluaran sebanyak 5-tingkat.

Uji coba dilanjutkan dengan mengukur besar THD tegangan keluaran, yaitu sebesar 0,42%. THD ini lebih kecil karena menggunakan frekuensi pensaklaran empat kali lipat dari uji coba yang pertama walaupun menggunakan jumlah data yang sama. Gambar 19 merupakan gambar bentuk arus dan tegangan keluaran inverter DBC-HBI dengan menggunakan pemrograman  $\frac{1}{4} \lambda$ .

Dari hasil uji coba algoritma pemrograman berbasis panjang gelombang terlihat bahwa pemrograman beralgoritma  $\frac{1}{4} \lambda$  dimungkinkan untuk dilakukan. Besarnya penentuan waktu time step pada simulator PSIM akan berpengaruh pada frekuensi segitiga yang digunakan dan juga banyaknya data yang digunakan. Terlihat bahwa dengan jumlah data (memori) yang sama tetapi frekuensi yang berbeda (lebih tinggi) akan menghasilkan nilai keluaran yang jauh lebih baik yaitu dengan pemrograman beralgoritma  $\frac{1}{4} \lambda$ .

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pengujian di laboratorium, algoritma MLPDS berbasis panjang gelombang dapat diterapkan di inverter 5-tingkat yang diimplementasikan menggunakan inverter tipe DBC-HBI. Hasil ujicoba algoritma berbasis  $1 \lambda$  memiliki algoritma sederhana akan tetapi menggunakan memori yang besar, sebaliknya algoritma  $\frac{1}{4} \lambda$  memiliki algoritma relatif lebih sulit tetapi menggunakan memori lebih sedikit. Pada pengujian THD tegangan didapatkan sebesar 2,4% untuk algoritma  $1 \lambda$ , 1,2% untuk algoritma  $\frac{1}{2} \lambda$  dan 0,42% untuk algoritma  $\frac{1}{4} \lambda$ . Algoritma pemrograman MLPDS berbasis algoritma  $\frac{1}{4} \lambda$  dapat diimplementasi dan terbukti dengan jumlah memori yang sama tetapi hasilnya lebih baik karena jumlah data yang diambil lebih banyak.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (RISTEKDIKTI) dalam skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi tahun anggaran 2019.

#### REFERENSI

- [1] S. Daher, J. Schmid, and I. M. Antunes, "Multilevel Inverter Topologies for Stand-Alone PV Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 55, pp. 2703-2712, Jul 2008.
- [2] A. Nouaiti, A. Saad, A. Khafallah, A. Mesbahi, and K. Chikh, "Simple Single Phase Five Level Inverter for PV Applications", *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol 4, pp. 5245-5252, Jun 2015.
- [3] C. A. Espinosa, "Minimization of THD and Angle calculation for Multilevel Inverters", *International Journal of Engineering & Technology*, Vol 12, pp. 83-86, Oct 2012.
- [4] A. A. Joshi, and R. M. Nagarale, "Resonant Controller to Minimize THD for PWM Inverter", *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol 10, pp. 49-53, 2015, May-Jun 2015.
- [5] Effendi1, Ira Devi Sara, dan Rakhmad Syafutra Lubis, "Disain SPWM Multilevel Inverter Satu Fasa Lima Belas Level", *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 12, No. 2, hal. 60-66, Agustus 2016.
- [6] L. H. Pratomo, F. D. Wijaya, and E. Firmansyah, "A Simple Strategy of Controlling a Balanced Voltage Capacitor in Single Phase Five-Level Inverter", *International Journal of Power Electronics and Drive System*, Vol 6, pp. 160-167, March 2015.
- [7] J. M. Shen, L. H. Jou, C. J. Wu, and D. K. Wu, "Five-Level Inverter for Renewable Power Generation System", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol 28, pp. 257-266, June 2013.
- [8] L. H. Pratomo, *Metode Pengiriman Daya Maksimal dari Modul Surya ke Grid satu Fase Menggunakan Inverter 5-Tingkat*. Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada, 2016.
- [9] Y. Ivandra dan L. H. Pratomo, "Implementasi MLDS  $\frac{1}{2} \lambda$  pada ATmega 8535 untuk aplikasi inverter 5-Tingkat", *Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, Okt. 2016, pp 52-56.
- [10] C. Buccella, C. Cecati, and H. Latafat, "Digital control of power converters-a survey", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol 8, pp. 437-447, Agt 2010.

- [11] T. A. B. Ismail, A. Saad, M. Isa, and C. Hadzer, "Development of a single phase spwm microcontroller-based inverter", *Power and Energy Conference*, Nov 2006, hal. 437–440.
- [12] F. M. Tajuddin, N. G. Daut, and B. Ismail, "Implementation of dsp based spwm for single phase inverter", *Conference: Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion*, June, 2010, pp 1129 –1134.
- [13] A. Afarulrazi, M. Zafari, W. Utomo, and A. Zar, "Fpga implementation of unipolar spwm for single phase inverter", *International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, Dec. 2010, pp. 671 –676.
- [14] E. Monmasson, and M. Cirstea, "FPGA design methodology for industrial control systems—A review", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 54, pp. 1824–1842, Agt 2007.
- [15] M. Hamouda, F. H. Blanchette, K. Al-Haddad, and F. Fnaiech, "An efficient DSP-FPGA-based real-time implementation method of SVM algorithms for an indirect matrix converter", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 58, pp 5024-5031, Nov 2011.
- [16] S. Y. Kung, and H. M. Tsai, "FPGA-based speed control IC for PMSM drive with adaptive fuzzy control", *IEEE Transactions Power Electronics*, Vol 22, pp. 2476-2486, Nov 2007.
- [17] A. Agarwal, & V. Agarwal, "Field programmable gate array-based delta-modulated cycloinverter", *IET Power Electronics*, Vol 5, pp. 1793-1803, Nov 2012.
- [18] L. H. Pratomo, "Pemanfaatan Mikrokontroler Tipe 89S52 Sebagai pengendali Multilevel Inverter", *Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, Agt. 2009, pp hal. 137-141.
- [19] O. Pop, C. Chindris, and A. Dulf, "Using DSP technology for true sine PWM generators for power inverters", *27th International Spring Seminar on Electronics Technology: Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress*, May. 2004, pp 141 -146.
- [20] Y. F. Sidik, F. D. Wijaya, dan E. Firmansyah, "Sinusoidal Pulse Width Modulation Berbasis Lookup Table untuk Inverter Satu Fasa Menggunakan 16 Bit Digital Sinyal Conditioner", *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknik Informasi*, Vol 2, pp. 47-50, Mei 2013.

# Prototipe Pengukuran Kadar Gula dalam Tubuh Manusia Melalui Urin

Mohammad Hafiz Hersyah, Budi Rahmadya, dan Gentha Wijaya  
Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas  
Kampus Limau Manis Padang, 25163  
e-mail: budi-r@fti.unand.ac.id

**Abstrak**—Dalam penelitian ini kami membuat sebuah prototipe untuk pengujian kadar gula dalam tubuh manusia setelah dilakukan uji *benedict* terlebih dahulu pada urin. Sistem ini terdiri atas dua komponen utama yaitu alat identifikasi dan *smartphone* Android yang digunakan oleh user. Alat identifikasi terdiri dari sensor warna TCS3200 dan Raspberry Pi. Sensor warna TCS3200 berfungsi untuk membaca perubahan warna urin serta menentukan kategori warna dan tingkat kadar gula dari urin. Raspberry Pi berfungsi sebagai alat pemrosesan data yang diperoleh dari sensor warna. Penelitian ini menggunakan metode logika *fuzzy* Tsukamoto. Dari penelitian yang telah dilakukan didapat bahwa sensor warna TCS3200 mengidentifikasi warna urin sebagai pedoman identifikasi kadar gula darah dengan persentase keberhasilan 100% dan hasil pemrosesan pengolahan *fuzzy logic control* pada Raspberry Pi untuk pengambilan keputusan identifikasi kadar gula melalui urin dengan persentase sebesar 90%. Dari hasil keseluruhan diperoleh *error* sebesar 5,6%.

**Kata kunci:** *kadar gula, sensor warna TCS3200, raspberry pi, logika fuzzy tsukamoto*

**Abstract**—In this research, we propose a prototype to measure glucose index in human body after applying benedict reagen into urine samples. This system divides into two main components that are identification device and android smartphone. The identification device consists of TCS3200 colour sensor and a raspberry pi. The TCS3200 colour sensor's function is to predict the alteration of urine sample and determine the colour category according to the benedict rule and to measure the glucose in the sample. The Raspberry pi function is to process the data that acquired from the colour sensor. By optimizing with Tsukamoto Fuzzy Logic Control, the research successfully identifies the glucose by achieving 100% and the result of fuzzy logic control on Raspberry Pi as decision making by urine in 90% and by conflicting minimum error in 5.6%.

**Keywords:** *sugar levels, TCS 3200 colour sensor, raspberry pi, tsukamoto fuzzy logic*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Urin adalah salah satu objek yang bisa digunakan dalam mendeteksi penyakit pada tubuh manusia. Warna urin yang berbeda-beda telah menjadi sebuah objek yang bisa diambil untuk mendeteksi kondisi tubuh manusia [1]. Seperti halnya penyakit diabetes mellitus, penyakit ini biasa juga dikenal dengan sebutan kencing manis. Gejala awal dari penyakit ini bisa kita ketahui melalui kadar gula yang terdapat pada urin manusia. Menurut data dari WHO diabetes mellitus adalah bahagian dari penyakit bawaan, meningkatnya glukosa dalam darah, dapat merusak banyak sistem tubuh, khususnya pembuluh darah dan saraf [2].

Perkembangan diabetes mellitus bisa dalam hitungan minggu atau bulan, terutama pada seorang anak yang menderita penyakit *diabetes mellitus* tipe 1. Hal ini berbeda dengan penderita *diabetes mellitus* tipe 2, umumnya mereka tidak mengalami berbagai gejala seperti di atas. Dan adakalanya mereka tidak mengetahui telah menderita diabetes mellitus [3]. Metode bayes juga salah

satu pendekatan yang bisa dijadikan dalam mendiagnosa diabetes dengan merujuk ke parameter aturan yang telah ditentukan [4]. Algoritma heuristik *Gravitational Search Algorithm* (GSA) dan *Artificial Neural Network* (ANN) telah menjadi model penelitian lain dalam mendeteksi penyakit Infeksi Saluran Kemih (ISK) pada manusia [4].

Salah satu metode yang bisa digunakan dalam akurasi data dalam pengambilan keputusan adalah *fuzzy logic* [5-6]. Banyak peneliti menggunakan metode ini untuk akurasi seperti dalam menentukan pilihan calon penghuni asrama [7]. Selain itu metode *fuzzy logic* juga sudah dimanfaatkan dalam pengambilan keputusan sistem jual beli saham dengan memperkenalkan *fuzzy rule based evidential reasoning* dan *c-means clustering* [8].

Dalam hal identifikasi kesehatan pada manusia, metode *fuzzy logic* ini juga telah menjadi prioritas utama untuk digunakan seperti pengolahan citra untuk deteksi sel kanker payudara [9]. Metode *evanescent* juga telah diperkenalkan dalam mendeteksi kadar gula darah dalam urin. Metode ini memanfaatkan pelemahan gelombang *evanescent*,

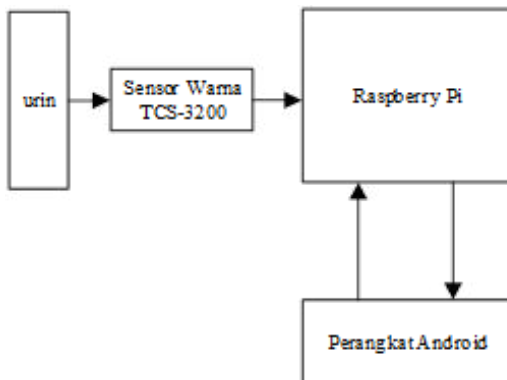
mikrokontroler Arduino UNO, laser dioda, serat optik, dan foto dioda. Peneliti memanfaatkan intensitas cahaya dalam interaksi molekul glukosa pada urin [10].

Berdasarkan penjelasan pada paragraf di atas dan referensi yang telah dibahas penulis mengusulkan sebuah prototipe yang lebih efisien dalam penggunaan bagi tenaga medis. Konsep kerja dari prototipe yang diusulkan ini memanfaatkan hasil uji benedict urin yang tidak di gunakan pada referensi [11]. Selain itu, akurasi yang baik dalam menentukan kadar gula pada tubuh manusia juga menjadi pembahasan utama pada prototipe yang dibuat. Prototipe terhubung ke aplikasi *smartphone* dalam menentukan tingkat kadar gula yang terdapat di dalam tubuh melalui pemeriksaan warna urin (perempuan dan laki-laki). Prototipe ini akan menentukan tingkat kadar gula berdasarkan warna urin setelah dilakukan pengujian *benedict*. Prototipe ini menggunakan sensor warna TCS-3200 untuk membaca perubahan warna urin dan menggunakan metode logika *fuzzy* tsukamoto untuk menentukan akurasi kategori warna dan tingkat kadar gula dari warna urin hasil uji *benedict* tersebut serta menampilkan hasilnya pada aplikasi *smartphone* sehingga lebih efisien dalam penggunaan untuk mendeteksi kadar gula dalam tubuh bagi tenaga medis.

## II. METODE

Kebutuhan fungsional dari sistem identifikasi dan pengukuran kadar gula melalui urin ini adalah sistem mampu membedakan warna urin hasil uji *benedict* dan menampilkan hasil kadar gula berdasarkan kategori warna uji *benedict*. Data uji yang digunakan untuk implementasi adalah data sampel urin acak dan sampel urin penderita Diabetes Mellitus. Rancangan dari sistem yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 7 *flowchart system*.

Sensor Warna berfungsi untuk membedakan warna urin hasil uji *benedict*. Selanjutnya data dari sensor berupa nilai R, G, dan B sebagai variabel masukan *fuzzy* akan diolah pada *board* Raspberry Pi. Hasil pengolahan *fuzzy* berupa jenis warna akan menentukan tingkat kadar gula yang selanjutnya ditampilkan melalui *smartphone* Android. Data hasil pengolahan Raspberry Pi dikirim ke server melalui *smartphone* Android yang terhubung ke



Gambar 1. Rancangan sistem



Gambar 2. Rancangan database

*localhost* dan data yang terdapat didalam *database* server dapat ditampilkan pada aplikasi *Android* dalam bentuk riwayat pemeriksaan.

Pada penelitian ini data pemeriksaan tersimpan pada basis data yang terdiri dari tabel *user* dan tabel *riwayat*. Rancangan *database* dapat dilihat pada Gambar 2.

Perangkat keras yang digunakan sebagai pembaca warna urin adalah sensor warna TCS3200 dan Raspberry Pi sebagai alat pemrosesan data. Pengembangan perangkat lunak dilakukan dengan Android Studio, Python IDLE, basis data MySQL. Variabel *fuzzy* Tsukamoto yang digunakan yaitu R, G, dan B. Untuk menghitung derajat keanggotaan *fuzzy* Tsukamoto (naik dan turun) menggunakan rumus sebagai berikut.

- Derajat keanggotaan naik dengan menggunakan formula:

$$\frac{x - \text{nilai awal}}{\text{nilai akhir} - \text{nilai awal}} \quad (1)$$

- Derajat keanggotaan turun dengan menggunakan formula:

$$\frac{\text{nilai akhir} - x}{\text{nilai akhir} - \text{nilai awal}} \quad (2)$$

Fungsi keanggotaan warna R, G dan B ditentukan dengan melihat perubahan nilai R, G dan B pada rentang tertentu. Berikut fungsi keanggotaan untuk variabel input warna R, G, dan B.

### A. Variabel R

- Sangat Sedikit

$$\mu_{\text{SangatSedikit}}(x) = \begin{cases} 1, & x < 46 \\ \frac{55 - (x)}{55 - 46}, & 46 \leq x \leq 55 \\ 0, & x > 55 \end{cases} \quad (3)$$

- Sedikit

$$\mu_{\text{Sedikit}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 46 \text{ atau } x > 110 \\ \frac{x - 46}{55 - 46}, & 46 \leq x \leq 55 \\ 1, & 55 < x \leq 101 \\ \frac{110 - x}{110 - 101}, & 101 \leq x \leq 110 \end{cases} \quad (4)$$

c. Sedang

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x < 101 \text{ atau } x > 165 \\ \frac{x-101}{110-101}, & 101 \leq x \leq 110 \\ 1, & 110 < x \leq 156 \\ \frac{165-x}{165-156}, & 156 \leq x \leq 165 \end{cases} \quad (5)$$

d. Banyak

$$\mu_{Banyak}(x) = \begin{cases} 0, & x < 156 \text{ atau } x > 220 \\ \frac{x-156}{165-156}, & 156 \leq x \leq 165 \\ 1, & 165 < x \leq 211 \\ \frac{220-x}{220-211}, & 211 \leq x \leq 220 \end{cases} \quad (6)$$

e. Sangat Banyak

$$\mu_{SangatBanyak}(x) = \begin{cases} 0, & x < 211 \\ \frac{x-211}{220-211}, & 211 \leq x \leq 220 \\ 1, & x > 220 \end{cases} \quad (7)$$

## B. Variabel G

a. Sangat Sedikit

$$\mu_{SangatSedikit}(x) = \begin{cases} 1, & x < 46 \\ \frac{55-(x)}{55-46}, & 46 \leq x \leq 55 \\ 0, & x > 55 \end{cases} \quad (8)$$

b. Sedikit

$$\mu_{Sedikit}(x) = \begin{cases} 0, & x < 46 \text{ atau } x > 110 \\ \frac{x-46}{55-46}, & 46 \leq x \leq 55 \\ 1, & 55 < x \leq 101 \\ \frac{110-x}{110-101}, & 101 \leq x \leq 110 \end{cases} \quad (9)$$

c. Sedang

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x < 101 \text{ atau } x > 165 \\ \frac{x-101}{110-101}, & 101 \leq x \leq 110 \\ 1, & 110 < x \leq 156 \\ \frac{165-x}{165-156}, & 156 \leq x \leq 165 \end{cases} \quad (10)$$

d. Banyak

$$\mu_{Banyak}(x) = \begin{cases} 0, & x < 156 \text{ atau } x > 220 \\ \frac{x-156}{165-156}, & 156 \leq x \leq 165 \\ 1, & 165 < x \leq 211 \\ \frac{220-x}{220-211}, & 211 \leq x \leq 220 \end{cases} \quad (11)$$

e. Sangat Banyak

$$\mu_{SangatBanyak}(x) = \begin{cases} 0, & x < 211 \\ \frac{x-211}{220-211}, & 211 \leq x \leq 220 \\ 1, & x > 220 \end{cases} \quad (12)$$

## C. Variabel B

a. Sangat Sedikit

$$\mu_{SangatSedikit}(x) = \begin{cases} 1, & x < 46 \\ \frac{55-(x)}{55-46}, & 46 \leq x \leq 55 \\ 0, & x > 55 \end{cases} \quad (13)$$

b. Sedikit

$$\mu_{Sedikit}(x) = \begin{cases} 0, & x < 46 \text{ atau } x > 110 \\ \frac{x-46}{55-46}, & 46 \leq x \leq 55 \\ 1, & 55 < x \leq 101 \\ \frac{110-x}{110-101}, & 101 \leq x \leq 110 \end{cases} \quad (14)$$

c. Sedang

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x < 101 \text{ atau } x > 165 \\ \frac{x-101}{110-101}, & 101 \leq x \leq 110 \\ 1, & 110 < x \leq 156 \\ \frac{165-x}{165-156}, & 156 \leq x \leq 165 \end{cases} \quad (15)$$

d. Banyak

$$\mu_{Banyak}(x) = \begin{cases} 0, & x < 156 \text{ atau } x > 220 \\ \frac{x-156}{165-156}, & 156 \leq x \leq 165 \\ 1, & 165 < x \leq 211 \\ \frac{220-x}{220-211}, & 211 \leq x \leq 220 \end{cases} \quad (16)$$

e. Sangat Banyak

$$\mu_{SangatBanyak}(x) = \begin{cases} 0, & x < 211 \\ \frac{x-211}{220-211}, & 211 \leq x \leq 220 \\ 1, & x > 220 \end{cases} \quad (17)$$

Output dari fuzzy Tsukamoto berupa nama warna berdasarkan kombinasi himpunan nilai R, G, dan B dari output sensor.

f. Biru Langit

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{0.5-(x)}{0.5-0}, & 0 \leq x \leq 0.5 \\ 0, & x \geq 0.5 \end{cases} \quad (18)$$

g. Hijau

$$\mu H(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.5 \text{ atau } x \geq 1.0 \\ \frac{x-0.5}{0.75-0.5}, & 0.5 \leq x \leq 0.75 \\ 1, & x = 0.75 \\ \frac{1.0-x}{1.0-0.75}, & 0.75 \leq x \leq 1.0 \end{cases} \quad (19)$$

h. Kuning

$$\mu K(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1.0 \text{ atau } x \geq 2.0 \\ \frac{x-1.0}{1.5-1.0}, & 1.0 \leq x \leq 1.5 \\ 1, & x = 1.5 \\ \frac{2.0-x}{2.0-1.5}, & 1.5 \leq x \leq 2.0 \end{cases} \quad (20)$$

i. Jingga

$$\mu J(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2.0 \text{ atau } x \geq 3.5 \\ \frac{x-2.0}{2.75-2.0}, & 2.0 \leq x \leq 2.75 \\ 1, & x = 2.75 \\ \frac{3.5-x}{3.5-2.75}, & 2.75 \leq x \leq 3.5 \end{cases} \quad (21)$$

j. Merah Bata

$$\mu M(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 5.0 \\ \frac{(x)-3.5}{5.0-3.5}, & 3.5 < x < 5.0 \\ 0, & x \leq 3.5 \end{cases} \quad (22)$$

Pada tahap defuzzifikasi digunakan metode *weight of average*. Metode ini berfungsi untuk mendapatkan nilai output (Z) dari *fuzzy logic*. Formula yang digunakan untuk mendapatkan nilai Z yaitu:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (23)$$

Dengan  $\mu_i$  adalah a predikat ke-I, dan  $z_i$  adalah output pada anteseden aturan ke-i.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini kami mendesain sebuah *box* yang berfungsi untuk mensimulasikan/meletakkan sampel urin di dalam *box*. Rangkaian alat mikrokontroller raspberry pi dan sensor berada dalam *box*. Gambar 3 adalah desain *box*



Gambar 3. Desain box system

Tabel 1. Pengujian TCS3200 pada warna merah

| No | Nilai R | Nilai G | Nilai B |
|----|---------|---------|---------|
| 1  | 207     | 98      | 93      |
| 2  | 204     | 104     | 92      |
| 3  | 211     | 103     | 96      |
| 4  | 208     | 99      | 90      |
| 5  | 209     | 103     | 95      |

Tabel 2. Pengujian TCS3200 pada warna hijau

| No | Nilai R | Nilai G | Nilai B |
|----|---------|---------|---------|
| 1  | 62      | 139     | 131     |
| 2  | 58      | 134     | 129     |
| 3  | 68      | 126     | 120     |
| 4  | 60      | 135     | 131     |
| 5  | 62      | 141     | 131     |

Tabel 3. Pengujian TCS3200 pada warna biru

| No | Nilai R | Nilai G | Nilai B |
|----|---------|---------|---------|
| 1  | 47      | 164     | 206     |
| 2  | 45      | 161     | 203     |
| 3  | 48      | 166     | 209     |
| 4  | 45      | 173     | 210     |
| 5  | 47      | 169     | 197     |

system dan aplikasi *smartphone*.

Berdasarkan hasil pengujian pembacaan warna yang dilakukan dapat dinyatakan bahwa sensor warna mampu mengidentifikasi warna merah, hijau, dan biru sesuai dengan data pada Tabel 1, 2 dan 3.

Dalam penelitian ini pengujian metode logika *fuzzy* tsukamoto dilakukan dengan menggunakan data yang diperoleh dari pembacaan nilai RGB menggunakan sensor warna dan selanjutnya dilakukan tahap defuzzifikasi dengan menggunakan persamaan *weight of average*:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} & \frac{0(3.5)+0(3.5)+1(5.0)+0(3.5)+0(2.75)+0(2.75)+0(2.75)+0(2.75)+0(1.5)+0(1.5)+0(1.5)+0(0.75)+0(0.75)+0(0.75)+0(0.75)+0(0.5)+0(0.5)+0(0.5)+0(0.5)}{0+0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0} \\ & = \frac{1(5.0)}{1} = 5.0 \end{aligned}$$

dan untuk nilai kadar gula menggunakan perhitungan manual:

$$\begin{aligned} \text{Kadar gula} &= \frac{(x - \text{input}_{\min}) * (\text{output}_{\max} - \text{output}_{\min})}{(\text{input}_{\max} - \text{input}_{\min})} \\ &+ \text{output}_{\min} \\ &= ((x - 3.5) * (1000 - 301) / (5 - 3.5)) + 301 \\ &= ((5.0 - 3.5) * (699) / 1.5)) + 301 \\ &= 1000 \text{ mg / dl} \end{aligned} \quad (25)$$

*Pengujian Sistem Keseluruhan*

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan



Gambar 4. Verify U120 urin analyzer

membandingkan alat dengan *Verify U120 Urin Analyzer* yang digunakan pada Rumah Sakit Tentara Ganting Padang. *Verify U120 Urin Analyzer* ini digunakan sebagai alat uji kadar gula pada urin dengan menggunakan *strips* yang telah dicelupkan ke dalam sampel urin. Gambar 4 adalah *Verify U120 urin analyzer*.

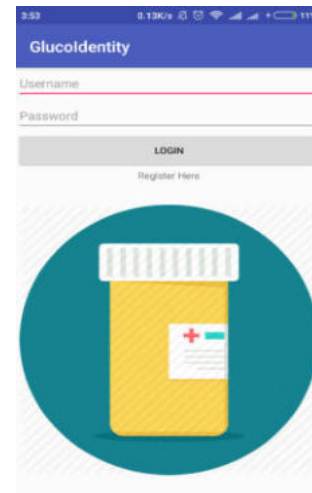
Pengujian dilakukan pada sepuluh *user* dengan kondisi lima sampel urin acak dan lima sampel urin penderita diabetes mellitus, seperti yang terlihat pada Tabel 4. Pengujian dimulai dari *user login* pada aplikasi *mobile* sesuai dengan Gambar 5. Berikutnya urin hasil uji benedict yang terdapat pada botol sampel diletakkan diatas sensor warna TCS3200 dalam *box*, seperti yang terlihat pada Gambar 6. Pada Gambar 5, *user* dapat melakukan perintah untuk pemeriksaan dengan menekan tombol *check* pada aplikasi. *Output* yang diberikan Raspberry Pi berupa pengiriman kategori warna dan kadar gula sesuai dengan nilai R, G, dan B yang diperoleh dari urin ke aplikasi.

Kategori warna merupakan variabel output logika *fuzzy tsukamoto* yang didapatkan berdasarkan aturan dengan variabel *input* yaitu nilai R, G dan B. Data hasil pemeriksaan dapat disimpan ke *database* dengan menekan tombol *simpan* pada aplikasi. Berdasarkan Gambar 8c, *user* dapat melihat riwayat pemeriksaan sebelumnya, data pemeriksaan yang telah disimpan pada *database* dapat ditampilkan di halaman riwayat beserta waktu pemeriksaan.

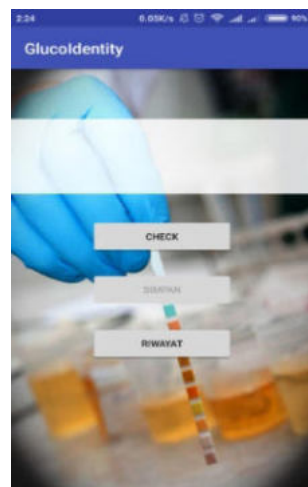
Untuk menghitung nilai *error* pengukuran alat menggunakan rumus sebagai berikut:

Tabel 4. Error pengujian keseluruhan

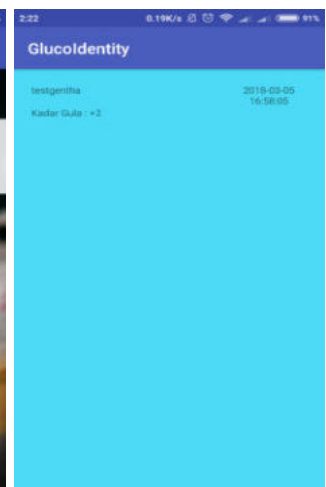
| Data ke-                 | Kadar gula yang dibaca alat | Verify U120 Urin Analyzer | Error |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------|
| 1                        | 25,5 mg/dl                  | 24,3 mg/dl                | 4,7%  |
| 2                        | 0 mg/dl                     | negatif                   | 0 %   |
| 3                        | 13,1 mg/dl                  | 12,4 mg/dl                | 5,3%  |
| 4                        | 0 mg/dl                     | negatif                   | 0%    |
| 5                        | Tidak Terdefinisi           | negatif                   | 0%    |
| 6                        | 5,87 mg/dl                  | 5,2 mg/dl                 | 11,4% |
| 7                        | 9,68 mg/dl                  | 9,4 mg/dl                 | 2,8%  |
| 8                        | 908 mg/dl                   | 702,2 mg/dl               | 22,6% |
| 9                        | 21,6 mg/dl                  | 21,0 mg/dl                | 2,7%  |
| 10                       | 657 mg/dl                   | 613,7 mg/dl               | 6,5%  |
| Rata – rata <i>error</i> |                             |                           | 5,6%  |



(a)



(b)



(c)

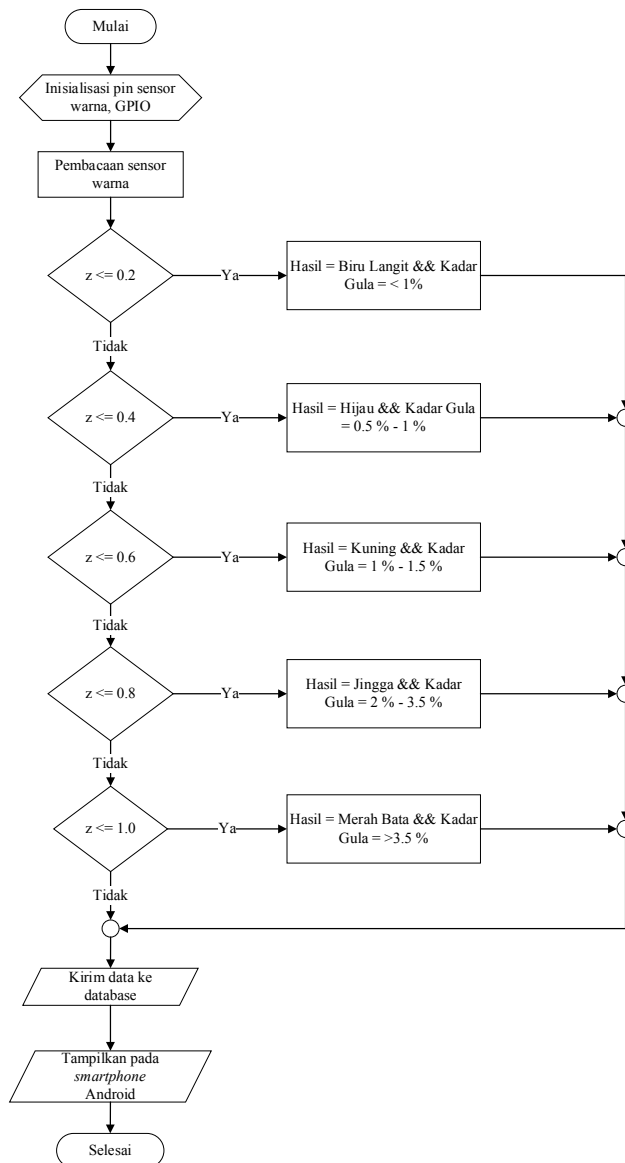
Gambar 5. Aplikasi smartphone android, (a). Halaman login; (b). Halaman utama; (c). Halaman riwayat

$$\begin{aligned}
 \text{Error}(\%) &= \left| \frac{\text{Data}_{\text{alatdirancang}} - \text{Data}_{\text{Verify Urine Analyzer}}}{\text{Data}_{\text{alatdirancang}}} \right| \times 100\% \quad (26) \\
 &= \left| \frac{25.5 - 24.3}{25.5} \right| \times 100\% = 4.7\%
 \end{aligned}$$

Dari data hasil pengujian keseluruhan, maka dapat diperoleh *error* pengukuran seperti terlihat pada Tabel 4. Didapatkan rata-rata *error* sebesar 5,6 %. Maksimum *error* ditunjukkan pada sampel ke-8 sebesar 22,6%. Minimum *error* ditunjukkan pada sampel ke-2, 4, dan 5 sebesar 0%.



Gambar 6. Urin hasil uji benedict



Gambar 7. Flowchart system

Untuk tingkat keberhasilan yang diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

Tingkat keberhasilan:

$$\begin{aligned}
 &= 100\% - \text{total error pengujian} \\
 &= 100\% - 5,6\% \\
 &= 94,4\%
 \end{aligned}$$

Dalam pengujian yang telah dilakukan terdapat kondisi tidak terdefinisi yaitu pada pengujian ke-5 yang disebabkan karena warna urin tidak terdefinisi pada *rules fuzzy* sehingga sistem tidak dapat mengenali warna dan tingkat kadar gula dari sampel tersebut.

Dari segi efektifitas sistem ini, sensor warna mampu membaca warna urin dengan menggunakan metode *fuzzy logic control*. Agar fungsionalitas sistem dapat tercapai dengan baik, maka sensor TCS3200 harus terhindar dari pengaruh cahaya matahari atau cahaya lampu. Rincian pengujian secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 5.

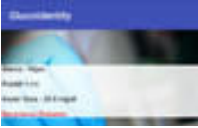
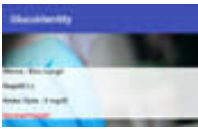
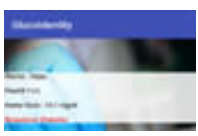
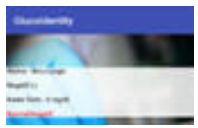
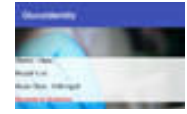
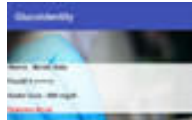
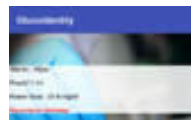
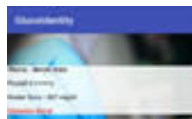
#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan metode logika *fuzzy tsukamoto* dan didukung oleh uji benedict. Sistem dapat mengetahui tingkat kadar gula dari urin hasil uji *benedict* melalui aplikasi android yang dibuat. Dari penelitian yang telah dilakukan didapat bahwa sensor warna TCS3200 mengidentifikasi warna urin sebagai pedoman identifikasi kadar gula darah dengan persentase keberhasilan 100% dan hasil pemrosesan pengolahan *fuzzy logic control* pada Raspberry Pi untuk pengambilan keputusan identifikasi kadar gula melalui urin dengan persentase keberhasilan sebesar 90%. Dari hasil keseluruhan diperoleh *error* sebesar 5,6%. Pengembangan penelitian lebih lanjut, sistem akan menerapkan teknologi *Internet of Things (IoT)* dengan memperhatikan performa alat dalam menyajikan data yang lebih akurat serta sesuai dengan kebutuhan pasien/dokter.

#### REFERENSI

- [1] Andrizar, A. Hidayat, T. Angraini, Yefriadi, Rusfandi, dan R. Chadry, "Pembuatan Histogram Dan Pola Data Warna Urin Berdasarkan Urinalisis Menggunakan Mini PC," Jurnal RESTI, Vol. 2 No. 3 (2018) 722 – 727.
- [2] <https://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs138/en/>.
- [3] N. Fatimah, dan Restyana, "Diabetes Melitus Tipe 2," Universitas Lampung 2015.
- [4] H. T. Sihotang, "Perancangan Aplikasi Sistem Pakar Diagnosa Diabetes dengan Metode Bayes", Jurnal Mantik Penusa, Volume 1 No. 1 Juli 2017.
- [5] D. S. Wibowo, Y. Yanitasari, dan Dedih, "Sistem Pakar Diagnosis Potensi Penyebaran Penyakit pada Tanaman Cabai Menggunakan Fuzzy Mamdani", Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, 6(2), 2018, 71-75.
- [6] Ipriadi, G. W. Nurcahyo, dan J. Santony, "Pendeteksi Volume Air Secara Otomatis Menggunakan Fuzzy," Jurnal RESTI, Vol. 3 No. 1 (2019) 11–16.
- [7] A. Izah., R. V. H. Ginardi, dan A. Saikhu, "Pendekatan Algoritma Heuristik dan Neural Network untuk Screening Test pada Urinalysis," Jurnal Cybermatika Vol. 1 No. 2 Desember 2013.
- [8] A. A. Syahidi., F. Biabdillah, dan F. A. Bachtar, "Perancangan dan Implementasi Fuzzy Inference System (FIS) Metode Tsukamoto Pada Penentuan Penghuni Asrama," Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK), Vol. 6, No. 1, Februari 2019, hlm. 55-62.
- [9] M. L. Sulthon A. S., A. B. Prasetyo, dan M. Somantri, "Pendeteksi Sinyal Jual/Beli Saham dengan Fuzzy Rule-Based Evidential Reasoning dan C-means Clustering," Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi JNTETI, Vol. 7, No. 3, Agustus 2018.
- [10] D. Tuwohinggide., dan C. Fatchah, "Spatial Fuzzy C-means dan Rapid Region Merging untuk Pemisahan Sel Kanker Payudara," Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), Vol. 6, No. 1, Februari 2017.
- [11] N. Fridayanti., and Muldarisnur, "Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gula Darah pada Urin dengan Metode Evanescent," Jurnal POSITRON Vol. 8, No. 2 (2018), hal. 1-6.

Tabel 5. Pengujian sistem keseluruhan

| Data Ke- | Gambar                                                                              | Nama             | Volume Sampel (ml) | Warna Hasil Uji Benedict | Warna yang dibaca sensor TCS3200                                                    | Kadar Gula yang dibaca alat (mg/dl) | Verify U120 Urin Analyzer (mg/dl) | Output         | Tampilan riwayat android                                                              |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        |    | Gentha Wijaya    | 10                 | Hijau (Positif 1)        |    | 25.5                                | 24.3                              | Berhasil       |    |
| 2        |    | Rahmat Zaitul    | 10                 | Biru Langit (Negatif)    |    | 0                                   | negatif                           | Berhasil       |    |
| 3        |    | Sabrun Jamil     | 10                 | Hijau (Positif 1)        |    | 13.1                                | 12.4                              | Berhasil       |    |
| 4        |   | Zedrianov Dimas  | 10                 | Biru Langit (Negatif)    |   | 0                                   | negatif                           | Berhasil       |   |
| 5        |  | Yodi Yulistiawan | 10                 | Biru Langit (Negatif)    | Tidak Terdefinisi                                                                   | Tidak Terdefinisi                   | negatif                           | Tidak Berhasil |  |
| 6        |  | Linawati         | 10                 | Hijau (Positif 1)        |  | 5.87                                | 5.2                               | Berhasil       |  |
| 7        |  | Marini S         | 10                 | Hijau (Positif 1)        |  | 9.68                                | 9.4                               | Berhasil       |  |
| 8        |  | Zulhamdi         | 10                 | Merah Bata (Positif 4)   |  | 908                                 | 702.2                             | Berhasil       |  |
| 9        |  | Roni A           | 10                 | Hijau (Positif 1)        |  | 21.6                                | 21.0                              | Berhasil       |  |
| 10       |  | Ardika           | 10                 | Merah Bata (Positif 4)   |  | 657                                 | 657                               | Berhasil       |  |

# Reduksi Osilasi Daya pada MPPT Panel Surya dengan Metode Kombinasi PNO dan Fuzzy

Suriadi<sup>1,2</sup>, Intan Nurul Fajri<sup>1</sup>, Rizal Munadi<sup>1,2</sup> dan Mansur Gapy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer

Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111

e-mail: suriadimali@unsyiah.ac.id

**Abstrak**—Panel surya merupakan bagian penting dari sistem perangkat sumber listrik yang menerima energi cahaya untuk diproses menjadi energi listrik dengan keluaran arus searah (DC). Permasalahan utama dalam penggunaan panel surya adalah keluaran daya pada panel surya yang tidak konstan disebabkan oleh suhu dan radiasi sinar matahari yang berubah-ubah. Daya yang tidak konstan ini mengakibatkan daya keluaran panel surya berfluktuasi dan menjadi tidak stabil. Daya keluaran ini akan digunakan pada pemrosesan menggunakan metode *MPPT Perturb and Observe (PNO)* untuk mencari titik penerimaan maksimum panel surya. Metode *PNO* ini menggunakan dua parameter masukan serta dapat diterapkan untuk semua jenis panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk mereduksi osilasi daya keluaran dari *MPPT* menggunakan simulasi daya elektronik pada konverter *boost* tiga tingkat dengan mengkombinasikan metode *MPPT PNO* dan *Fuzzy*. Metode *Fuzzy* pada penelitian ini menggunakan metode Mamdani inference, dimana menggunakan 2 input dan 1 output. Konverter *boost* tersebut diuji dengan menggunakan simulasi pada beberapa kondisi sinar matahari yang diterima oleh panel surya. Hasil simulasi menunjukkan keluaran daya dari metode *MPPT PNO* dan *Fuzzy* dapat mereduksi osilasi lebih optimal yaitu 78,57%.

**Kata kunci:** panel surya, *PNO*, *MPPT*, konverter *boost*, *fuzzy*

**Abstract**—Solar panels are an essential part of a system of electrical source devices that receives light energy to be processed into electrical energy with direct current (DC) output. The main problem in the use of solar panels is that the production of power in solar panels is not constant due to the temperature and solar radiation changes. This non-constant power causes the solar panel output power to fluctuate and become unstable. This output power will be used in processing using the *MPPT Perturb and Observe (PNO)* method to obtain the maximum solar panel receiving point. This *PNO* method uses two input parameters and can be applied to all types of solar panels. This study aims to reduce the oscillation of the output power of *MPPT* using electronic power simulations on a three-level boost converter by combining *PNO* and *Fuzzy MPPT* methods. The *Fuzzy* method in this study uses the Mamdani inference method, which uses two inputs and one output. The boost converter was tested using a simulation on several conditions of sunlight received by solar panels. The simulation results show that the power output from the *MPPT PNO* and *Fuzzy* methods can reduce oscillation more optimally, 78.57%.

**Keywords:** solar panel, *PNO*, *MPPT*, boost converter, *fuzzy*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Matahari merupakan sumber energi yang selalu tersedia setiap harinya terutama di negara yang berada di daerah khatulistiwa. Potensi energi ini, menjadi perhatian yang serius dari berbagai negara dan ramah lingkungan. Untuk mendapatkan energi cahaya, peran panel surya untuk menyerap energi cahaya adalah sangat penting. Energi ini kemudian diubah menjadi energi listrik dengan tegangan keluaran arus searah (DC). Dalam penggunaan panel surya sangat dipengaruhi kualitas sel PV yang diimplementasikan. Akibatnya, keluaran daya pada panel surya dapat menjadi tidak konstan disebabkan oleh intensitas suhu dan radiasi sinar matahari yang berubah-

ubah. Hal ini berdampak pada daya keluaran menjadi tidak stabil dan berfluktuasi. Untuk mengatasinya, keluaran daya ini dapat dimaksimalkan dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* yang dikombinasikan dengan konverter *boost* tiga tingkat [1].

Metode *MPPT Perturb and Observe (PNO)* banyak digunakan pada pencarian titik maksimum panel surya, tetapi algoritma *PNO* ini mempunyai kekurangan disebabkan cara kerjanya yang mengganggu tegangan pada panel serta mengobservasi daya agar daya dari panel surya dapat tetap maksimal. Proses ini dapat berdampak pada daya keluaran dengan metode *MPPT PNO*, tegangan berosilasi saat mencapai nilai tegangan maksimum. Untuk mengurangi osilasi daya keluaran *MPPT PNO*, diajukan

kombinasi metode *MPPT PNO Fuzzy* yang diaplikasikan pada konverter *boost* tiga tingkat untuk mendapatkan nilai osilasi daya yang lebih kecil dan daya diharapkan dapat terserap secara maksimal ke beban.

## II. STUDI PUSTAKA

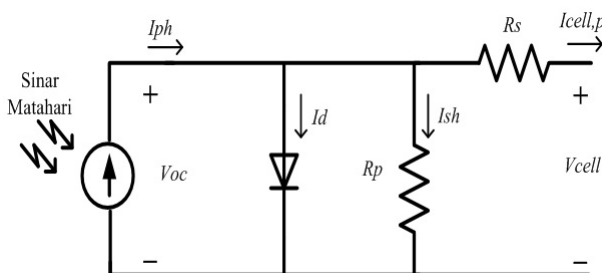
### A. Panel Surya

Sel surya didefinisikan sebagai teknologi yang menghasilkan listrik *DC* dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan oleh cahaya. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya maka sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya maka sel surya berhenti menghasilkan energi listrik. Panel surya dibentuk dari kumpulan bagian-bagian kecil yang disebut sel surya yang terkoneksi secara seri dan paralel untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan sesuai dengan keinginan [2]. Adapun rangkaian ekuivalen sel surya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Panel surya adalah sumber energi listrik yang memiliki beberapa parameter tergantung dari beberapa faktor eksternal seperti sudut paparan sinar, bayang-bayang, suhu material, dan lain-lain. Beberapa dari faktor ini tidak dapat diprediksi dan untuk alasan ini diperlukan evaluasi dari parameter sel panel surya yang digunakan. Parameter yang paling diketahui dari panel surya adalah tegangan pada rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus pada rangkaian tertutup ( $I_{sc}$ ) [3]. Nilai ini mendefinisikan dimana gambar kurva  $I(V)$  pada panel adalah saling memotong dua buah sumbu (sumbu  $I$  dan  $V$ ), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

### B. Metode Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Setiap titik dari kurva  $I-V$  memiliki nilai tertentu dan nilai  $I_R$  yang didefinisikan sebagai daya, dimana  $P_R = V_R \times I_R$ . Untuk titik tertentu dari kurva  $I-V$  hanya memiliki satu poin yang berhubungan dengan daya optimal, ini dinamakan *Maximum Power Point (MPP)* [3]. Untuk semua sumber energi alangkah baiknya apabila memberikan suplai energi listrik kepada beban pada nilai di sekitar nilai MPP ini. Untuk nilai beban resistif  $R_L$ , karakteristik dari  $I.R_L(V)$  diberikan oleh persamaan  $I = V/R_L$ . Garis ini akan berpotongan dengan karakteristik panel dimana bisa dekat ataupun jauh dari nilai MPP seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Mengacu pada



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen sel surya [2]

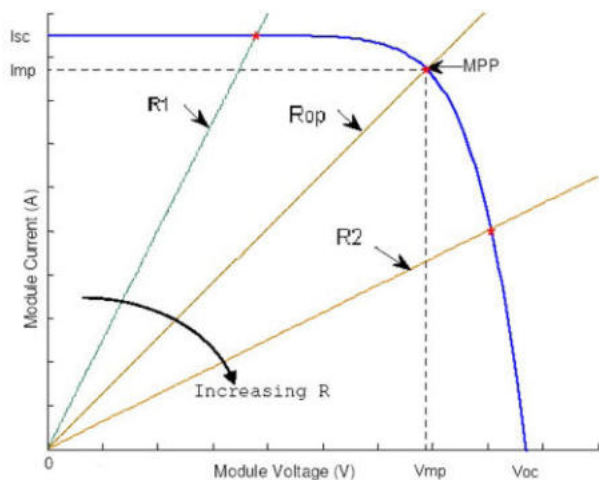
posisi ini, energi ditransferkan ke beban hanya pecahan dari energi yang dapat didukung panel pada MPP. Untuk memperbaiki ketidakseimbangan ini dan mencegah kehilangan energi yang berlebihan yang seharusnya dapat digunakan maka dibuat suatu metode pemanfaatan yang biasa disebut dengan *MPPT* [3]. Titik kerja panel surya akan berubah sesuai dengan perubahan nilai hambatan beban dan titik kerja optimal dapat dicapai apabila mendapatkan nilai hambatan beban yang sesuai, sehingga didapatkan daya maksimal.

Prinsip kerja dari *MPPT* adalah menaikkan dan menurunkan tegangan kerja panel surya. Apabila dalam sistem panel surya tegangan kerja jatuh pada daerah di sebelah kiri  $V_{mp}$  (tegangan kerja lebih kecil daripada tegangan  $V_{mp}$ ), maka tegangan kerja panel surya akan dinaikkan sampai mencapai  $V_{mp}$ , begitu juga sebaliknya apabila tegangan kerja panel surya lebih besar daripada, maka tegangan kerja panel surya akan diturunkan sampai mencapai  $V_{mp}$ . Setelah mencapai tegangan *maximum point*, secara otomatis daya keluaran pada panel surya juga akan menjadi maksimal.

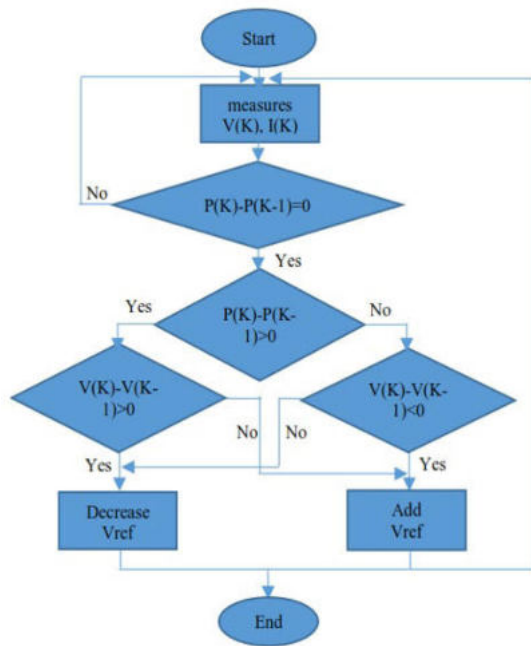
### C. MPPT Menggunakan Metode PNO

Penelitian ini menggunakan kontrol *MPPT* metode *PNO* untuk mencari titik daya maksimum. Metode *PNO* adalah salah satu metode *MPPT* yang mempunyai keunggulan yaitu tidak memerlukan karakteristik dari panel surya. Metode ini juga termasuk metode yang mudah untuk digunakan karena memiliki algoritma yang sederhana dan hanya membutuhkan beberapa parameter pengukuran [4]. Prinsip dari metode *PNO* dalam penelitian ini adalah mengindikasikan kenaikan ataupun penurunan yang terjadi pada kurva hasil perkalian tegangan dan arus panel surya yang terukur. Kenaikan dan penurunan yang disebabkan oleh perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya tersebut akan digunakan untuk mengatur *duty cycle* pada pensaklaran konverter *boost* tiga tingkat [5], [6].

*PNO* terdiri dari dua bagian yaitu *perturb* yang mempengaruhi perubahan tegangan dari hasil arus referensi *solar cell* kemudian di-*observe*. Untuk melakukan



Gambar 2. Kurva titik kerja panel surya akibat perubahan beban [7]



Gambar 3. Algoritma metode MPPT PNO [2]

observasi daya yang diperoleh dari *perturb*, perbandingan daya sebelum dan sesudah proses *perturb* dilakukan dengan cara menambah atau mengurangi tegangan acuan untuk selanjutnya mendapatkan titik MPP-nya.

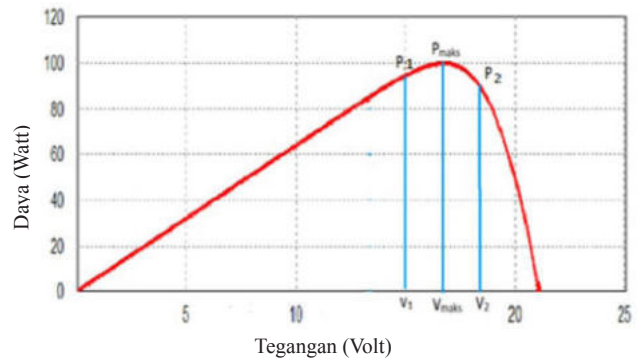
Pada Gambar 3 ditunjukkan algoritma proses pencapaian daya maksimum yang dimulai dengan mengukur tegangan  $V(k)$  dan arus  $I(k)$  untuk memperoleh  $P(k)$ . *Perturb*  $d(V)$  diberikan untuk meng-*observe* nilai daya *output*  $P(k-1)$ . Nilai  $P(k-1)$  kemudian dibandingkan dengan nilai  $P(k)$ . Jika nilai  $P(k-1)$  lebih besar dibandingkan  $P(k)$  dapat disimpulkan bahwa nilai *perturb* yang dilakukan adalah benar. Sebaliknya jika nilai  $P(k-1)$  lebih kecil dari  $P(k)$  maka *perturb* harus dilakukan dalam arah sebaliknya, dengan demikian nilai *Maximum Power Point (MPP)* diperoleh. Adapun algoritma dari metode *PNO* dapat dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.

Prinsip kerja dari metode *MPPT PNO* seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Dimana daya maksimum berada pada posisi selisih  $P_{maks}$  dan  $V_{maks}$  sebelum atau sesudahnya sama dengan nol. Saat  $P_2$  daya lebih kecil dari  $P_{maks}$  dan tegangan  $V_2$  lebih besar dari  $V_{maks}$  maka sistem akan menaikkan *duty cycle* kontrol dan sebaliknya saat  $P_1$  selisih dengan  $P_{maks}$  lebih besar dan  $V_2$  lebih kecil dari  $V_{maks}$ , maka sistem akan menurunkan *duty cycle* kontrol.

Metode *MPPT PNO* ini banyak digunakan untuk melacak kekuatan maksimum Panel surya karena dalam algoritmanya hanya menggunakan beberapa parameter dan struktur umpan balik yang sederhana. Metode *PNO* dipilih karena memiliki kinerja yang baik dalam pelacakan *MPPT* dan selalu membuat titik operasi beresilasi dekat *MPPT* serta memiliki waktu respon juga lebih baik [2].

#### D. MPPT Menggunakan Metode Fuzzy

MPPT digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan



Gambar 4. Diagram daya maksimum menggunakan algoritma PNO

dan arus yang optimal sehingga didapatkan daya keluaran yang maksimum dari suatu sistem panel surya. Prinsip dari MPPT adalah menaikkan dan menurunkan tegangan kerja *PV*. *MPPT fuzzy* controller didasarkan pada penerapan logika *fuzzy* yang terdiri dari tiga bagian yaitu *fuzzyfikasi*, *rule base* dan *defuzzyfikasi*. *Fuzzy* controller pada *MPPT* dapat digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dan ketidaktelitian nilai yang dihasilkan oleh panel surya[7], [8].

Metode yang digunakan adalah *Mamdani inference* dimana metode ini sangat sederhana karena hanya menggunakan 2 input. Untuk mendapatkan output diperlukan 3 tahapan, yaitu:

1. Pembentukan himpunan *fuzzy* (*Fuzzyfikasi*): variabel input maupun output dibagi menjadi satu atau lebih fungsi keanggotaan. Pada penelitian ini *input* untuk *fuzzy logic* adalah suhu dan irradiansi cahaya matahari, dan *output* pada *fuzzy logic* adalah *pulse width modulation (PWM)*
2. Komposisi aturan: ada tiga metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy* yaitu Metode *Max*, Metode *Additive*, Metode *Probabilistik*.
3. Penegasan (*defuzzifikasi*): input dari *defuzzifikasi* adalah suatu fungsi keanggotaan yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan konstan.

Secara keseluruhan proses *MPPT* menggunakan metode *fuzzy* dijelaskan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 5.

### III. METODE SIMULASI PANEL SURYADENGAN METODE KOMBINASI PNO-FUZZY

Analisis dilakukan dengan rangkaian simulasi menggunakan software power elektronik. Dalam pengerjaannya dibutuhkan 5 (lima) tahapan secara berurutan seperti yang terlihat pada Gambar 6. Dalam *software* ini akan dibuat sebuah model konverter *boost* tiga tingkat yang akan diimplementasikan dalam sistem listrik panel surya dengan *MPPT PNO*.

Berdasarkan Gambar 6, maka tahapan yang dilakukan dalam merancang konfigurasi menggunakan *software* power elektronik adalah:

### A. Pemilihan Panel Surya

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini sebagai acuan data simulasi merupakan panel surya *solarland polycrystalline* 100WP. Data Panel surya pada kondisi *Standard Test Commissioning* (STC) yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

### B. Perancangan Konverter Boost

Setelah mendapatkan semua parameter awal dari konverter maka selanjutnya menghitung besar komponen utama pembentuk konverter *boost* terutama komponen induktor (L) dan kapasitor (C). Adapun perhitungan komponen dari konverter *boost* di bawah ini dengan tegangan *output* 24V, tetapi karena adanya toleransi dalam tegangan maka nilai tegangan *output* yang digunakan 28V.

Menghitung nilai *duty cycle* dari kontrol *switching* berdasarkan perbandingan tegangan masukan dan keluaran konverter *boost* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle } D &= 1 - V_{pv} / V_{out} \\ &= 1 - \frac{(17,2V)}{(28V)} \\ &= 0,38 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung arus maksimum dari panel surya saat daya maksimum sebagai sumber masukan konverter *boost* berdasarkan data pada Tabel 1 dimana besar daya panel surya 100 Watt dengan tegangan daya maksimum 17,2 Volt maka besar arus maksimum dari panel surya adalah:

$$\begin{aligned} I_{maks} PV &= P_{maks} PV / V_{maks} PV \\ &= (100Watt) / (17,2Volt) \\ &= 5,81 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Adapun besar arus keluaran dari konverter *boost* saat  $I_{maks} PV$  adalah sebesar:

$$I_{boost} = 5,81 A \times \frac{17,2V}{(28+0,7)} = 3,48 \text{ Ampere}$$

Dengan mengasumsi besar *ripple* arus maksimum pada induktor sebesar 10% maka besar selisih arus pada induktor adalah:

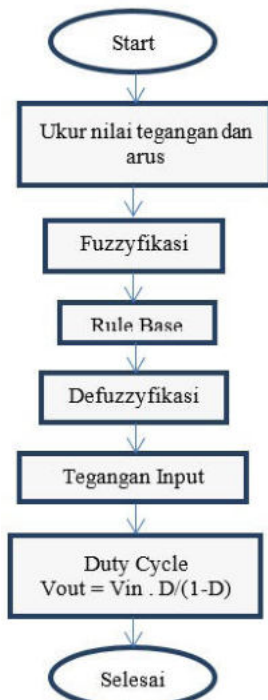
$$\begin{aligned} \Delta I_L &= 0,1 \times I_{boost} \frac{V_{boost} + V_{Dioda}}{V_{PV}} \\ &= 0,1 \times 3,48 \times (28V + 0,7V) / 17,2V \\ &= 0,58 \text{ A.} \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung nilai induktor berdasarkan parameter di atas:

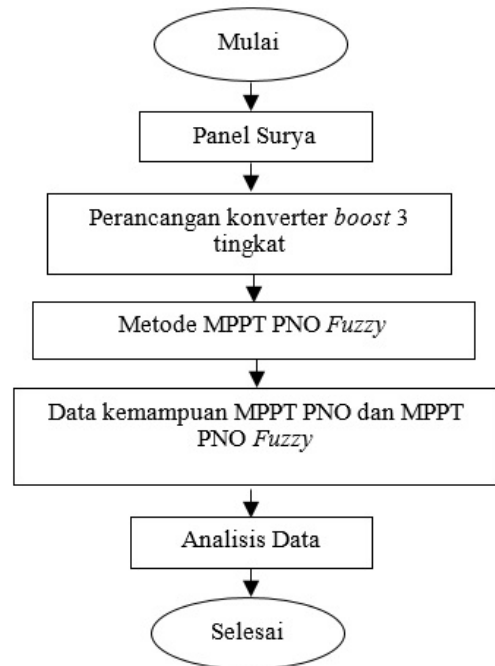
$$\begin{aligned} L &= \frac{I_{maks} PV \times (V_{boost} + V_{Dioda} - V_{PV})}{\Delta I_L \times f \times (V_{Boost} + V_{Dioda})} \\ &= \frac{5,81 \times (28 + 0,7 - 17,2)}{0,58 \times 35000 \times (28 + 0,7)} \\ &= 114,7 \mu H. \end{aligned}$$

Arus rata-rata yang melalui dioda konverter *boost* sebesar:

$$\begin{aligned} I_{Drms} &= I_{Dpeak} \times \sqrt{D} \\ &= \left( \frac{I_{boost}}{D} \right) \times \sqrt{D} = 3,48 / 0,38 \times \sqrt{0,38} \\ &= 5,64 \text{ A.} \end{aligned}$$



Gambar 5. Diagram alir sistem logika *fuzzy* [9]



Gambar 6. Diagram alir metode kombinasi MPPT PNO-Fuzzy

Tabel 1. Karakteristik panel surya pada kondisi STC

| Merk                                    | Solarland         |
|-----------------------------------------|-------------------|
| Teknologi                               | Polycrystalline   |
| Maximum power (Pmax)                    | 100 Wp            |
| Voltage at Pmax (Vmp)                   | 17.2 V            |
| Current at Pmax (Imp)                   | 5.81 A            |
| Open-circuit voltage (Voc)              | 21.6 V            |
| Short-circuit current (Isc)             | 6.46 A            |
| Temperature coefficient of Voc          | -(80±10) mV/°C    |
| Temperature coefficient of Isc          | (0.065±0.015)%/°C |
| Temperature coefficient of power        | -(0.5±0.05)%/°C   |
| NOCT (Air 20°C; Sun 0.8kW/m² wind 1m/s) | 47±2°C            |
| Operating temperature                   | -40 °C to +85 °C  |
| Maximum system voltage                  | 1000 V DC         |
| Power tolerant                          | ± 5%              |

Setelah didapatkan parameter arus yang melalui dioda dan arus konverter *boost*, maka selanjutnya menghitung arus pengisian kapasitor rata-rata:

$$I_{Crms} = \sqrt{I_{Drms}^2 - I_{boost}^2}$$

$$= \sqrt{5,64^2 + 3,48^2} = 6,63 \text{ A.}$$

Dengan arus pengisian kapasitor maka didapatkan nilai kapasitor konverter *boost* dengan memberi asumsi *ripple* 0,5% maka:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_{boost}} = \frac{I_{Crms} \times D \times T}{\Delta V_{boost}}$$

$$= \frac{6,63 \times 0,38 \times \left( \frac{1}{35000 \text{ Hz}} \right)}{0,005 \times 28 \text{ V}}$$

$$= 514,2 \text{ } \mu\text{F.}$$

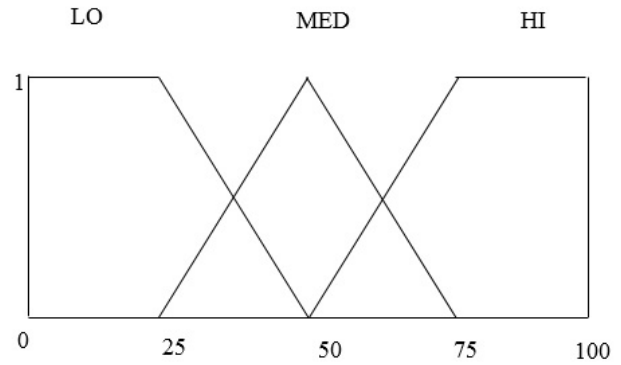
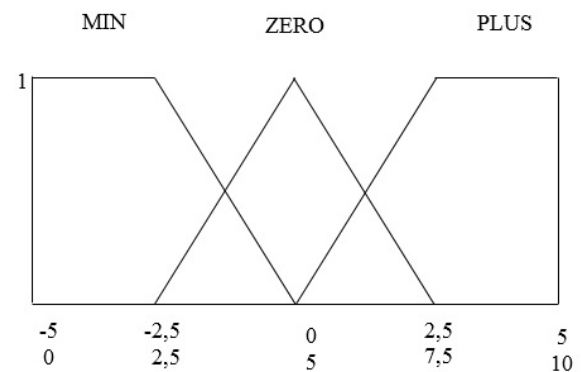
Beban Resistansi pada keluaran konverter *boost* didapat dengan menganggap konverter *boost* ideal maka besar beban resistansinya adalah:

$$R_L = \frac{V_{Boost}^2}{P_{maks} PV} = \frac{28^2 \text{ Volt}}{100 \text{ Watt}}$$

$$= 7,84 \text{ } \Omega.$$

### C. Membuat Program Kombinasi PNO fuzzy

Implementasi *MPPT PNO Fuzzy* dari diagram *membership function rule fuzzy* yang dalam bentuk simulasi ditunjukkan pada Gambar 7. Diagram ini memperlihatkan setiap langkah urutan dalam pembuatan program *fuzzy*-nya. Karena metode yang digunakan

Gambar 7. Membership function dari input  $P_{maks} PV$ Gambar 8. Membership function dari input  $\Delta error$ 

adalah *mamdani inference* maka terdiri dari 2 (dua) input dan 1 (satu) output. Input pertama yang digunakan adalah  $P_{maks} PV$ , input ini berasal dari nilai luaran daya panel surya. Nilai maksimal yang didapat adalah 100Wp, maka nilai maksimum yang digunakan *Membership function* adalah 100.

Input yang lainnya yang digunakan adalah input dari nilai  $\Delta error$ . Input ini berasal dari nilai daya keluaran  $P_{boost}$  pada saat penggunaan *MPPT PNO*. Nilai ini digantikan dengan nilai osilasi daya  $P_{boost}$  saat osilasi dianggap  $\pm 5$  watt. Walaupun nilai osilasi lebih dari  $\pm 5$  Watt, maka akan tetap terbaca  $\pm 5$  watt, nilai ini diasumsikan agar lebih mudah dalam pembuatan algoritma. Karena dalam pembacaan pemrograman dimana nilai -5 tidak terbaca, maka digantikan dengan *range* nilai 0 sampai 10 seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Selanjutnya untuk nilai output dalam simulasi ini digunakan nilai *duty cycle*. Nilai output ini yang nantinya akan menaikkan atau menurunkan nilai sinyal yang dihasilkan. Pengaturan sinyal PWM ini akan menggerakkan mosfet untuk pensaklaran konverter *boost*. Nilai PMW dibagi dalam beberapa bagian dengan pemberian inisial REN, SE, dan TIN. Penentuan dari nilai input yang sebelumnya diberikan akan menentukan besarnya nilai PWM yang akan diberikan kemudian. Untuk penentuan nilai itu dapat dilihat pada Gambar 9.

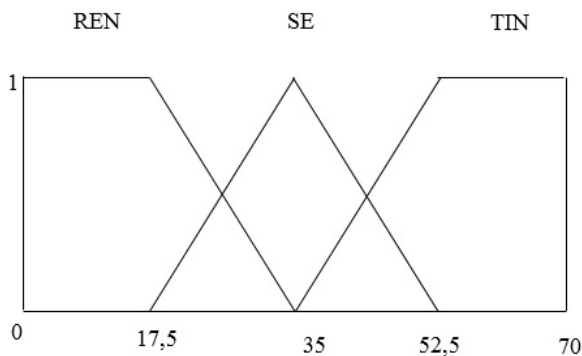
Setelah menentukan *Membership function*, selanjutnya yang dilakukan adalah membuat tabel *rule fuzzy*. Tabel ini berguna untuk perintah di dalam program *fuzzy* yang

akan dibuat. Cara menentukan perintah output yang akan diberikan yaitu dengan melihat nilai dari input yang diberikan. Ketika nilai input rendah, maka PWM yang diberikan *TIN* sebesar nilai yang dapat menyebabkan nilai keluaran daya  $P_{boost}$  yang rendah menjadi naik, berdasarkan sinyal keluaran awal dari penggunaan metode *MPPT PNO*. Begitu juga sebaliknya ketika nilai  $P_{boost}$  tinggi atau input maksimal, maka output *PWM* diberikan *SE* agar nilai output  $P_{boost}$  turun. Sedangkan nilai *PWM REN* tidak digunakan. Ini karena ketika pemberian nilai *PWM REN* maka nilai keluaran  $P_{boost}$  menjadi kecil atau turun. Dengan demikian proses membuat perintah dalam program *fuzzy* seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil simulasi pengujian panel surya dengan konfigurasi konverter *boost* tiga tingkat menggunakan metode *MPPT PNO* seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Data ini akan dianalisa dan dibandingkan dengan metode *MPPT PNO Fuzzy* dalam merespon osilasi daya.

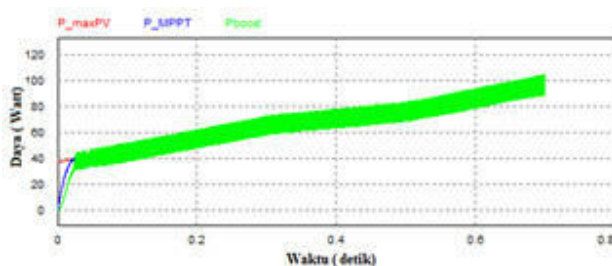
Gambar 10 menunjukkan sinyal keluaran pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dengan menggunakan metode *MPPT PNO*. Besarnya daya yang dihasilkan sudah mendekati nilai yaitu 100W. Tetapi osilasi sinyal  $P_{boost}$  masih terlalu besar. Nilai ini dapat dilihat pada Gambar 11 yaitu hasil gambar



Gambar 9. Membership function dari output PWM

Tabel 2. Inisial rule fuzzy

|      | LO  | MED | HI  |
|------|-----|-----|-----|
| MIN  | TIN | SE  | TIN |
| ZERO | TIN | SE  | SE  |
| PLUS | TIN | SE  | TIN |



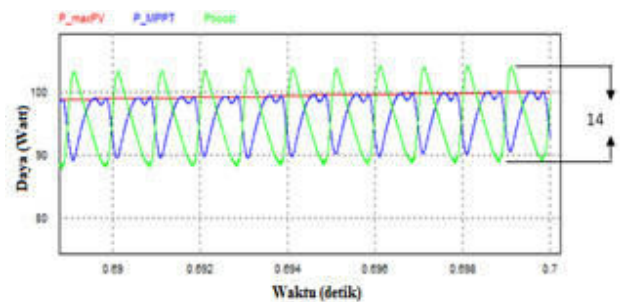
Gambar 10. Hasil simulasi dengan metode MPPT PNO pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$

pembesaran osilasi sinyal  $P_{boost}$ . Nilai yang didapat pada hasil pembesaran sinyal adalah 14 W.

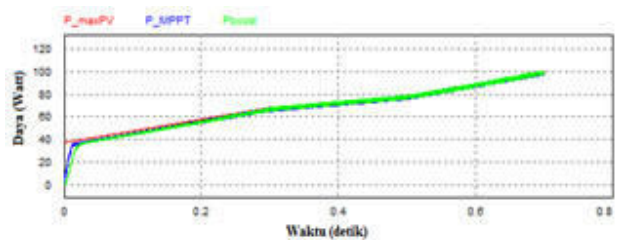
Sedangkan hasil simulasi dengan menggunakan metode kombinasi *MPPT PNO Fuzzy* pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ , dapat dilihat osilasi sinyal  $P_{boost}$  sudah mulai mengecil. Ini dapat dilihat pada Gambar 12 dan nilai  $P_{boost}$  mendekati nilai  $P_{maxPV}$ . Proses ini berlaku karena sistem menaikkan dan menurunkan *Duty cycle* kontrol serta *Fuzzy* controller pada *MPPT* sudah mengatasi ketidakpastian nilai yang dihasilkan oleh panel surya. Untuk lebih jelasnya dengan melihat hasil gambar pembesaran sinyal pada Gambar 13, dimana nilai osilasi sudah mulai mengecil sampai dengan 3 W.

Saat pengujian dilakukan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  maka nilai osilasi daya dengan menggunakan *MPPT PNO* masih terlihat sama dengan pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan nilai  $P_{maxPV}$  tidak sampai dengan 100 W atau sebesar 90 W.

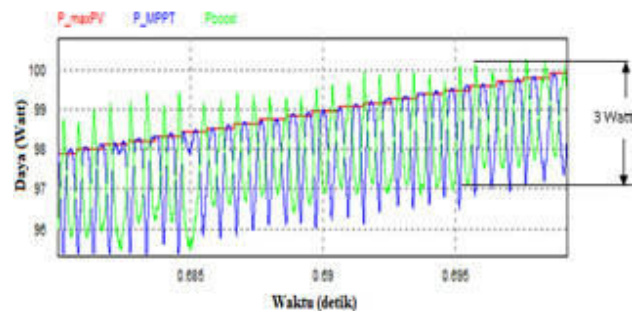
Sedangkan dengan menggunakan metode kombinasi *MPPT PNO fuzzy* pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ , nilai osilasi sudah terlihat mengecil, dan nilai  $P_{maxPV}$  nya sudah mencapai 95 W seperti yang terlihat pada Gambar 14. Berdasarkan gambar pembesaran sinyal maka nilai osilasi sebesar 2 W, seperti ditunjukkan pada Gambar 15.



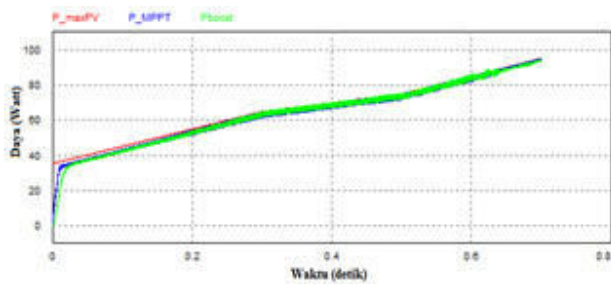
Gambar 11. Pembesaran hasil gambar simulasi dengan metode MPPT PNO pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$



Gambar 12. Hasil simulasi dengan metode kombinasi MPPT PNO Fuzzy pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$



Gambar 13. Pembesaran hasil gambar simulasi dengan metode kombinasi MPPT PNO Fuzzy pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$



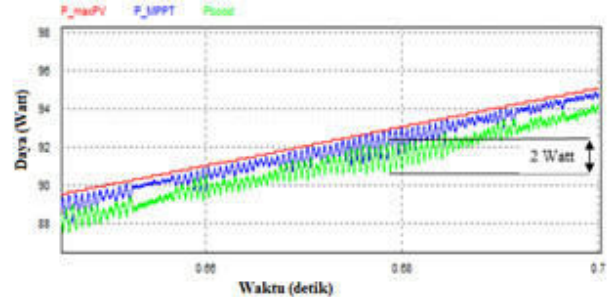
Gambar 14. Hasil simulasi dengan metode kombinasi MPPT PNO Fuzzy pada suhu 30°C

## V. KESIMPULAN

Dari data hasil simulasi menunjukkan bahwa metode kombinasi *MPPT PNO Fuzzy* dapat mengurangi lebih dari 78,57% osilasi daya dari yang hanya menggunakan metode MPPT PNO. Dengan penggunaan metode kombinasi *MPPT PNO Fuzzy* ini didapatkan bahwa daya dari panel surya mendekati sepenuhnya terserap ke beban. Ini dapat dilihat dari hasil  $P_{maks}^{PV}$  (keluaran panel surya) dan (keluaran dari konverter *boost*) yang nilainya mendekati 100 Watt.

## REFERENSI

- [1] Sera, D. Mathe, L.T. Kerekes, "On the Perturb and Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for photo voltaic Systems", IEEE Journal of photovoltaics, vol.3, pp. 1070-1078, 2013.
- [2] Soedibyo, M. Ashari, B. Amri, "The Comparative Study of Buck-Boost, Cuk, Sepic and Zeta Converters for Maximum Power Point Tracking Photovoltaic Using P&O Method". In Proc. 2<sup>nd</sup> IEEE Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering, Oct 2015, pp. 327-332.
- [3] J. S. Kumari, C. S. Babu, A. K. Babu, "Design and analysis of P&O and IP&O MPPT Techniques for Photovoltaic System, "International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol.2, pp. 2174-2180, 2012.



Gambar 15. Pembesaran hasil gambar simulasi dengan metode kombinasi MPPT PNO Fuzzy pada suhu 30°C

- [4] A. H. Muhammad, "Desain Sistem Photovoltaic Inverter Terkoneksi Ke Grid Dan Implementasi Konverter *Boost* Menggunakan *MPPT* Berbasis Metode *Modified Regula Falsi*," Tesis Magister, Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [5] Fakhruddin, "Studi komparasi konfigurasi konverter boost satu tingkat dengan konverter boost tiga tingkat pada pencarian titik operasi maksimum panel surya," Tesis Magister, Bidang Keahlian Manajemen Energi Listrik, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2018.
- [6] F. Widiyanto, D. C. Riawan, dan V. L. Budiharto Putri, "Desain dan Simulasi *Boost Converter* Tiga Tingkat dengan Kontrol MPPT pada Sistem Panel surya untuk Pembangkit Tersebar," Jurnal POMITS Vol. 1, pp. 1-6, 2013.
- [7] P. C. Cheng, B. R. Peng, Y. H. Liu, Y. S. Cheng, and J. W. Huang, "Optimization of a Fuzzy Logic Control Based MPPT Algorithm Using the Particle Swarm Optimization Technique," Journal of Energies, vol.8, pp. 5338-5360, June 2015.
- [8] P. Takun, S. Kaitwanidvilai and C. Jettanasen, "Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic systems," Proc. IMECS, vol.2, Hong Kong, march 2011, pp. 986-990.
- [9] R. F. Idham, E. Kurniawan, dan K. B. Adam, "Perancangan Dan Implementasi Maximum Power Point Tracking Pada Photovoltaic Dengan Kontroller Logika Fuzzy," e-Proceeding of Engineering: Vol.3, Agustus 2016.

# Kajian Aspek Kecepatan dan Ketepatan pada Sun Tracker Dua Sumbu Berbasis Sensor Berbentuk Tetrahedron

Saddam Azmi, Yuwaldi Away, dan Ira Devi Sara  
Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Banda Aceh, 23111  
e-mail: saddam.azmi123@gmail.com

**Abstrak**—*Sun tracker* dua sumbu berbentuk geometri tetrahedron yang sudah dikembangkan memiliki tingkat persentase *error* akurasi sebesar 31,26% dan kecepatan 0,063 m/s. Nilai akurasi dan kecepatan tersebut masih rendah untuk melacak cahaya matahari pada kondisi ruang terbuka. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki tingkat akurasi dan *sun tracker* tetrahedron tersebut. Metode yang digunakan untuk memperoleh ketepatan pelacakan adalah dengan menerapkan sistem pengontrol yang membentuk sistem pelacak menggunakan kendali *proportional integral derivative* (PID) dan memodifikasi cahaya matahari dengan menambah *sun tracker* dan laser pada puncak struktur tetrahedron-nya. Selain itu, motor yang digunakan untuk mengukur keadaan sumbu horizontal dan vertikal adalah jenis Stepper DC. Hasil yang diperoleh menunjukkan tingkat *error* keakuratan dan kecepatan sistem pelacak *sun tracker* modifikasi adalah sebesar 0,650 pada sumbu X dan 0,540 pada sumbu Y dengan kecepatan sebesar 0,091 m/s. Dari hasil ini dapat disimpulkan *sun tracker* modifikasi mampu melacak cahaya matahari dengan tepat dan tingkat kesalahan rata-rata pelacak sebesar 0,78% pada sumbu X dan 4,67% pada sumbu Y.

**Kata kunci:** *sun tracker, kecepatan dan ketepatan, sensor tetrahedron dan motor stepper*

**Abstract**— The two-axis Sun tracker with the tetrahedron geometry that has been developed has an error percentage of 31.26% and a speed of 0.063 m/s. The value of the accuracy and speed is still considered low for tracking sunlight in open space conditions. The research aims to improve the accuracy and speed of the tetrahedron tracker sun. The method used to obtain tracking accuracy is to implement a control system that forms a tracking system using the proportional integral derivative (PID) control and modifies the sun's light by adding a sun tracker and laser to the top of the tetrahedron structure. In addition, the motor used to measure the state of the horizontal and vertical axes is the DC Stepper type. The results obtained indicate the level of accuracy of the modified sun tracker system is 0.650 on the X-axis and 0.540 on the Y-axis with a speed of 0.091 m / s. From these results, it can be concluded that the sun tracker modification is able to track sunlight properly with an average tracking error rate of 0.78% on the X-axis and 4.67% on the Y axis.

**Keywords:** *sun tracker, speed and accuracy, tetrahedron sensor and stepper motor*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

*Sun tracker* adalah sebuah peralatan yang berfungsi untuk menggerakkan panel surya mengikuti arah cahaya matahari. Umumnya, sebuah *sun tracker* terdiri dari sensor cahaya, aktuator, sensor sudut, alat pengendali, dan sumber energi listrik [1], [2]. *Sun tracker* menggunakan aktuator berupa dua buah motor *stepper* yang bergerak pada dua sumbu, yaitu sumbu X dan sumbu Y. Sensor cahaya yang digunakan yaitu LDR (*light dependent resistor*), dipasang secara *tetrahedron geometry* dengan masing-masing sensor bertanggung jawab untuk menggerakkan satu sumbu [3] – [6]. Sistem otomatis yang dimiliki *sun tracker* dapat membantu memprediksi perbedaan koordinat matahari yang berbeda-beda dalam pergerakannya dari

timur ke barat setiap hari. Oleh karena itu, pemasangan *sun tracker* pada sebuah panel surya dimaksudkan untuk memaksimalkan daya listrik keluaran panel surya tersebut [7] – [10].

Terdapat banyak jenis dan bentuk *sun tracker* yang dihasilkan untuk melacak dengan tepat posisi matahari, seperti beberapa penelitian sebelumnya yang terkait, di antaranya yaitu “*Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry*” yang merupakan penelitian dengan mengkombinasikan algoritma tertentu pada sensor yang diusulkan dengan bentuk piramida tiga sisi yang mampu menggerakkan dual-sumbu sistem *solar tracker* dan ketiga sisi piramida *geometry* memiliki sensor *amaximum wide FOV* [11]. Selain itu, penelitian serupa lainnya adalah “*Low cost two-axis solar tracker with high precision*

positioning” yang fokus pada pengkajian *sun tracker* untuk mendapatkan nilai presisi yang tinggi dengan menggunakan algoritma PID [12].

Dari kedua studi di atas, ditemukan bahwa sensor yang diujikan pada masing-masing penelitian tersebut telah menunjukkan kinerja yang menjanjikan. Namun demikian, masih ada yang harus dikembangkan dari penelitian tersebut, yaitu kajian aspek kecepatan dan ketepatan *sensor tetrahedron*. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan penelitian lanjutan, yang berfokus pada penyelidikan tingkat kecepatan dan ketepatan *sun tracker* 2 (dua) sumbu mengikuti arah sumber cahaya. Kinerja *sun tracker* diuji kemampuannya dalam mendapatkan posisi matahari yang tepat yaitu dengan sudut datang (*angle of incidence*) cahaya.

Hasil akhir yang berupa nilai kecepatan dan ketepatan *sun tracker* 2 (dua) sumbu dari penelitian ini dibandingkan dengan nilai kecepatan dan ketepatan pada penelitian sebelumnya. Dengan demikian, dalam penelitian ini menggunakan dua buah motor *stepper* dengan modifikasi *driver motor stepper* dari *unipolar* ke *bipolar* sebagai penggerak, sedangkan pada penelitian sebelumnya menggunakan motor *servo*. Prototipe ini merupakan modifikasi dari penelitian *sun tracker* sebelumnya. Penelitian ini mengkaji mengenai kinerja sistem *sun tracker* dengan menambahkan aspek kecepatan dan ketepatan sensor cahaya yang disusun secara *geometry tetrahedron*.

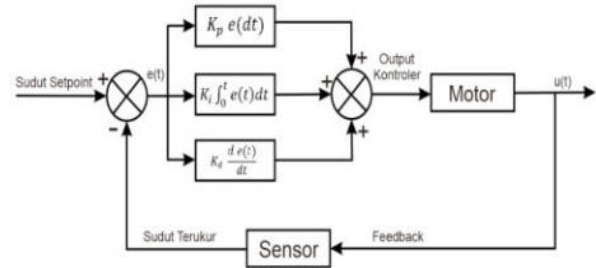
## II. STUDI PUSTAKA

*Proportional integral derivative* (PID) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Pengendali PID adalah pengendali konvensional yang sering dipakai pada suatu *project*, salah satunya pada *sun tracker*. Pada sistem ini menggunakan *control* PID digital [13]-[16].

Sistem kendali PID merupakan sistem kendali umpan balik yang menghitung nilai kesalahan secara kontinyu sebagai beda antara *setpoint* yang diinginkan dan variabel proses terukur. Kontroler mencoba untuk meminimalkan nilai kesalahan setiap waktu dengan penyetelan variabel kontrol. Nilai *error* didapat dari hasil pengurangan antara nilai dari sensor dengan nilai *setpoint*. Kontrol PID terdiri dari tiga buah parameter, yaitu: parameter *proportional* (P), *integral* (I), dan *derivative* (D). Ketiga jenis parameter tersebut dapat digabung menjadi PI, PD, atau PID, tergantung kebutuhan [14-16]. Berdasarkan Gambar 1, maka diperoleh tiga buah persamaan konstanta sebagai berikut.

$$P = K_p e(t) \quad (1)$$

Persamaan (1) merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan konstanta *proportional*. Konstanta *proportional* bertanggung jawab untuk nilai kesalahan saat ini. Contohnya, jika nilai kesalahan besar dan positif, maka keluaran kontrol juga besar dan positif.



Gambar 1. Diagram alir PID

$$I = K_i \int_0^t e(t) \quad (2)$$

Persamaan (2) merupakan persamaan untuk konstanta untuk mendapatkan konstanta *integral*. Konstanta *integral* bertanggung jawab untuk nilai kesalahan sebelumnya. Contoh, jika keluaran saat ini kurang besar, maka kesalahan akan terakumulasi terus menerus, dan kontroler akan merespon dengan keluaran lebih tinggi.

$$D = \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Persamaan (3) merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan konstanta *derivative*. Konstanta *derivative* bertanggung jawab untuk kemungkinan nilai kesalahan mendatang, berdasarkan rata-rata tiap waktu. Ketiga parameter tersebut dapat dijumlahkan sehingga persamaan kendali PID didapat sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

dimana  $u(t)$  adalah sinyal *output*,  $e(t)$  sinyal *error*,  $K_p$  konstanta *proportional*,  $K_i$  konstanta *integral*, dan  $K_d$  adalah konstanta *derivative*.

## III. METODE

### A. Perancangan Sistem Sun Tracker yang Diusulkan

Sistem *sun tracker* yang diusulkan menggunakan tiga buah sensor LDR diletakkan dengan posisi *geometry tetrahedron*. Masukan LDR yang diproses menggunakan kendali PID adalah masukan LDR 0 dan masukan LDR 1. Rancangan dibagi dua, yaitu perancangan *hardware* dan perancangan *software*. Pada bagian perancangan *hardware*, semua sensor seperti, *driver motor stepper*, *laser*, sensor cahaya dan LCD dihubungkan dan dikendalikan sepenuhnya oleh *arduino nano* sehingga hasil rancangan merupakan sebuah modul yang dapat bekerja. Penggerak *sun tracker* pada penelitian yang diusulkan menggunakan motor *stepper*. Pada kendali PID dibutuhkan fungsi transfer dari sistem agar dapat diperoleh nilai konstanta P, I, dan D. Diagram rangkaian sistem dapat dilihat pada Gambar 1. Agar memperoleh fungsi transfer, diperlukan perhitungan sistem mekanik pada *solar tracker*. Perhitungan sistem mekanik tersebut menggunakan rumus fisika dasar. Fungsi kontrol PID yang diperoleh seperti Gambar 1.

### B. Perhitungan Fungsi Transfer

Fungsi transfer didapat dari pembagian antara *input* sistem dengan *output* sistem. Persamaan untuk mendapatkan fungsi transfer adalah sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} \quad (5)$$

dimana  $G(s)$  adalah fungsi transfer,  $X(s)$  *output* sistem, dan  $U(s)$  *input* sistem.

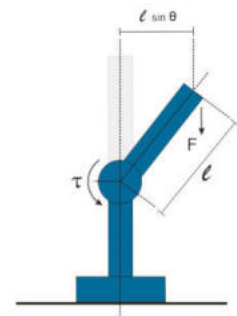
Konsep mekanik dari *sun tracker* sama seperti konsep lengan robot *degree of freedom*. Pada Gambar 2 merupakan bentuk sistem mekanik dari lengan robot *sun tracker*. Diperlukan rumus fisika dasar untuk melakukan perhitungannya. Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa *sun tracker* menggunakan beberapa aspek-aspek pada sistem mekaniknya, yaitu torsi, momen inersia, dan gaya. Dengan menggunakan Hukum I Newton, maka didapat persamaan berikut [17]:

$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \\ \tau - F.l \sin \theta &= 0 \\ I.\alpha - m.g.l \sin \theta &= 0 \\ I.\frac{d^2\theta}{dt^2} - m.g.l \sin \theta &= 0 \\ I.\ddot{\theta} - m.g.l \sin \theta &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

dimana  $F$  adalah gaya (N),  $\tau$  torsi (Nm),  $I$  momen inersia ( $\text{kgm}^2$ ),  $m$  massa (kg),  $g$  percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ), dan  $\theta$  adalah perpindahan sudut.

Model sistem yang diberikan pada persamaan (6) adalah sistem non-linear. Sistem non-linear merupakan sistem yang tidak tetap sehingga sulit untuk dikendalikan. Diperlukan linearisasi untuk mendapatkan sistem linear dari persamaan (6). Linearisasi dilakukan dengan mengasumsikan sudut  $= 0^\circ$  (representasi sudut terkecil) [20]. Linearisasi ini menggunakan deret Maclaurin dengan fungsi persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f(\theta) &= f(0) + \frac{f'(0)}{1!}(\theta-0) + \frac{f''(0)}{2!}(\theta-0)^2 + \dots \\ &+ \frac{f^{(n)}(0)}{n!}(\theta-0)^n \end{aligned} \quad (7)$$



Gambar 2. Sistem mekanik dari *sun tracker*

Melalui persamaan (8), deret fungsi bisa diperoleh dengan cara sebagai berikut.

$$f(x) = \sin(x)$$

maka

$$\begin{aligned} f(0) &= 0 \\ f'(0) &= 1 \\ f''(0) &= 0 \\ f'''(0) &= -1 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (3.3), didapat fungsi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f(\theta) &= 0 + \frac{1}{1!}(\theta-0) + \frac{0}{2!}(\theta-0)^2 + \frac{(-1)}{3!}(\theta-0)^3 + \dots \\ f(\theta) &= \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \dots \\ \sin \theta &\approx \theta \end{aligned}$$

Sedangkan untuk deret fungsi  $\cos(x)$ , bisa didapat dengan cara sebagai berikut.

$$f(x) = \cos(x)$$

maka

$$\begin{aligned} f(0) &= 1 \\ f'(0) &= 0 \\ f''(0) &= -1 \\ f'''(0) &= 0 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (7), didapat fungsi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f(\theta) &= 1 + \frac{0}{1!}(\theta-0) + \frac{(-1)}{2!}(\theta-0)^2 + \frac{0}{3!}(\theta-0)^3 + \dots \\ f(\theta) &= 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \dots \\ \cos \theta &\approx 1 \end{aligned}$$

Berdasarkan linearisasi dengan deret Maclaurin di atas, maka dapat diasumsikan bahwa nilai  $\sin \theta$  dan  $\cos \theta$  merupakan nilai suku pertamanya.

$$\begin{aligned} \sin \theta &\approx \theta \\ \cos \theta &\approx 1 \end{aligned} \quad (8)$$

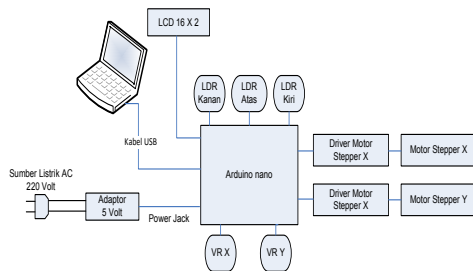
Persamaan (7) dapat diasumsikan pada persamaan (6)

$$I.\ddot{\theta} - m.g.l \theta = 0 \quad (9)$$

Persamaan gerak untuk *sun tracker* telah diperoleh pada persamaan (9). Fungsi transfer menggunakan domain waktu, sedangkan pada persamaan (9) belum dalam bentuk domain waktu. Maka dari itu, persamaan tersebut harus ditransformasikan menggunakan transformasi Laplace terhadap  $\theta$ .

$$I.s^2\theta(s) - m.g.l\theta(s) = U(s) \quad (10)$$

Sehingga fungsi transfer didapat sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram rangkaian sistem

$$\frac{U(s)}{\theta(s)} = I.s^2 - m.g.l$$

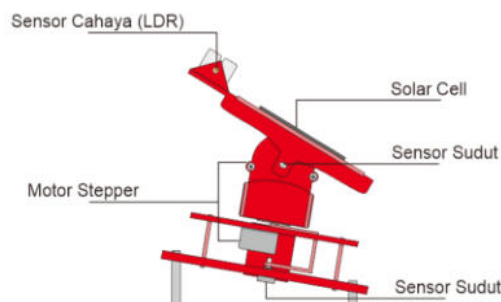
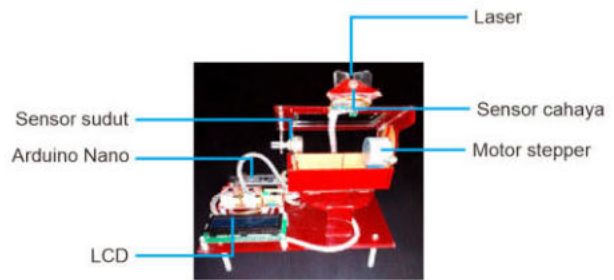
$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{1}{I.s^2 - m.g.l} \quad (11)$$

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Prototipe Sistem Sun Tracker yang Diusulkan

Konstruksi konfigurasi prototipe *sun tracker* yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa rangkaian arduino nano dihubungkan dengan komputer melalui kabel USB untuk melakukan proses *upload* program dan sekaligus men-supply daya untuk menyalakan sistem. Kabel USB ini juga difungsikan sebagai media untuk mengirimkan data melalui komunikasi *USB to serial* yang terdapat pada arduino nano. Selain menggunakan tegangan dari PC, arduino nano juga bisa dinyalakan dengan daya eksternal yaitu *adaptor* sumber listrik 220 VAC dan dihubungkan pada *power jack* 5 VDC arduino. Terlihat pada Gambar 5, arduino nano juga dihubungkan dengan sensor LDR, sensor sudut, LCD 16 X 2 karakter dan *driver motor stepper*.

Gambar 4 menunjukkan hasil rancangan *sun tracker* beserta penjelasan komponen-komponen yang digunakan. Sensor yang digunakan adalah *light dependent resistor* (LDR), yang berfungsi sebagai sensor cahaya. Sensor tersebut diletakkan di atas *sun tracker* dan disusun secara *geometry tetrahedron*. *Sun tracker* ini menggunakan dua buah motor *stepper* sebagai penggerak. Masing-masing motor *stepper* berfungsi untuk menggerakkan

Gambar 4. Hasil rancangan *sun tracker*Gambar 5. Prototipe *sun tracker*

satu sumbu. Sistem ini juga menggunakan sensor sudut sebagai pembaca sudut ekuivalen matahari, sehingga dapat diketahui posisi dari matahari. Pada bagian atas *sun tracker*, dipasang *solar cell* yang berfungsi sebagai pengubah cahaya matahari menjadi energi listrik.

##### B. Sistem Keseluruhan

Keseluruhan sistem *sun tracker* meliputi subsistem *input* yaitu sensor cahaya (LDR) dan sensor sudut, sub sistem proses yaitu arduino nano dan subsistem *output* yaitu motor *stepper*.

Komponen-komponen tersebut kemudian disusun menjadi sebuah prototipe *sun tracker* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 memperlihatkan perangkat “*Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry*” secara keseluruhan. Pada perangkat ini terdapat *solar cell* berukuran kecil sebagai perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, pada perangkat ini terdapat bagian-bagian komponen yaitu sensor LDR, sensor sudut, arduino nano, *driver motor stepper*; motor *stepper* jenis *bipolar* dan LCD 16 x 2 karakter.

##### C. Perbandingan dengan Sistem Terdahulu

Penelitian [11] membahas mengenai algoritma sistem kendali PID berbasis *tetrahedron geometry*. Namun penelitian di atas tidak berfokus pada kecepatan dan ketepatan *sun tracker*, sehingga daya yang dihasilkan oleh panel surya belum maksimal. Maka dari itu perlu perbaikan algoritma untuk mengakurasi *sun tracker* agar panel surya tepat menghadap matahari.

Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki algoritma dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini berfokus untuk memperoleh sistem *sun tracker* yang cepat dan tepat. Setelah diteliti dan dilakukan pengujian, maka diperoleh data kecepatan dan ketepatannya. Dengan begitu, dapat dilihat nilai perbandingan kedua sistem *sun tracker* antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya.

##### a. Perbandingan Kecepatan

Perbandingan kecepatan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya mengenai “*Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry*” [11].

Tabel 1. Perbandingan nilai kecepatan sudut

| Lampu |    | Penelitian yang diusulkan |                     | Penelitian Sebelumnya |                     |
|-------|----|---------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Dari  | Ke | Kecepatan X (rad/s)       | Kecepatan Y (rad/s) | Kecepatan X (rad/s)   | Kecepatan Y (rad/s) |
| 1     | 9  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 9     | 2  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 2     | 8  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 8     | 6  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 6     | 4  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 4     | 5  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 5     | 7  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 7     | 3  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |
| 3     | 1  | 0,16                      | 0,16                | 0,11                  | 0,11                |

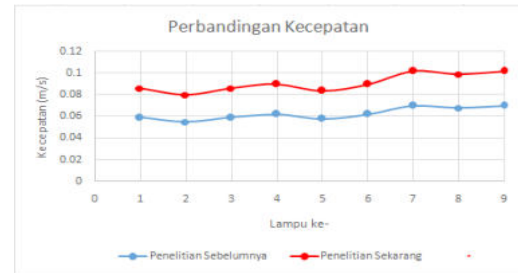
Pada penelitian yang diusulkan, penggerak *sun tracker* menggunakan motor *stepper*; sedangkan pada penelitian sebelumnya menggunakan motor *servo*. Hal ini akan mempengaruhi kinerja dari masing-masing *sun tracker*. Data hasil pengujian kecepatan sudut dan kecepatan linear pada penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk data kecepatan sudut dan kecepatan linear hasil pengujian pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 disebutkan perbandingan kecepatan sudut antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecepatan sudut pada penelitian yang diusulkan lebih cepat dibandingkan pada penelitian sebelumnya. Hal tersebut terjadi karena pada penelitian sebelumnya menggunakan penggerak berupa motor *servo*, dimana motor *servo* lebih lambat dibandingkan motor *stepper*. Kecepatan sudut rata-rata motor *servo* yaitu 0,11 rad/s dengan kecepatan linear rata-rata sebesar 0,063 m/s, sedangkan kecepatan rata-rata motor *stepper* yaitu 0,16 rad/s dengan kecepatan linear rata-rata sebesar 0,091 m/s.

Tabel 2 memperlihatkan data perbandingan kecepatan linear antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian

Tabel 2. Perbandingan nilai kecepatan linear

| Lampu | Jarak antara Sun Tracker dengan Lampu (m) | Penelitian yang diusulkan |                   | Penelitian Sebelumnya |                   |
|-------|-------------------------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
|       |                                           | Kec. Sudut (rad/s)        | Kec. Linear (m/s) | Kec. Sudut (rad/s)    | Kec. Linear (m/s) |
| 1     | 0,54                                      | 0,16                      | 0,086             | 0,11                  | 0,059             |
| 2     | 0,5                                       | 0,16                      | 0,08              | 0,11                  | 0,055             |
| 3     | 0,54                                      | 0,16                      | 0,086             | 0,11                  | 0,059             |
| 4     | 0,56                                      | 0,16                      | 0,09              | 0,11                  | 0,062             |
| 5     | 0,53                                      | 0,16                      | 0,084             | 0,11                  | 0,058             |
| 6     | 0,56                                      | 0,16                      | 0,09              | 0,11                  | 0,062             |
| 7     | 0,64                                      | 0,16                      | 0,102             | 0,11                  | 0,07              |
| 8     | 0,62                                      | 0,16                      | 0,099             | 0,11                  | 0,068             |
| 9     | 0,64                                      | 0,16                      | 0,102             | 0,11                  | 0,07              |



Gambar 6. Grafik perbandingan kecepatan

sebelumnya. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa kecepatan linear pada penelitian diusulkan lebih cepat dibandingkan pada penelitian sebelumnya. Hal tersebut terjadi karena pengaruh kecepatan sudut pada penelitian diusulkan lebih cepat daripada penelitian sebelumnya.

Gambar 6 menunjukkan perbandingan kecepatan linear *sun tracker* antara penelitian sebelumnya, dengan penelitian yang diusulkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa *sun tracker* pada penelitian diusulkan lebih cepat dibandingkan penelitian sebelumnya.

#### b. Perbandingan Ketepatan

Perbandingan ketepatan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja antara penelitian yang diusulkan dengan penelitian sebelumnya tentang “*Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry*” [11]. Pada penelitian yang diusulkan, penggerak *sun tracker* menggunakan motor *stepper*, sedangkan pada penelitian sebelumnya menggunakan motor *servo*. Hal ini akan mempengaruhi kinerja dari masing-masing *sun tracker*. Perbandingan dilakukan pada masing-masing sumbu pada *sun tracker*. Data hasil pengujian ketepatan sumbu X pada penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan untuk data hasil pengujian sumbu X pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil perbandingan dari kedua penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa penelitian yang diusulkan memiliki ketepatan yang akurat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini memiliki persentase rata-

Tabel 3. Nilai ketepatan sumbu X pada penelitian yang diusulkan

| Lampu | Rata-Rata Sudut X | Rata-Rata Output PID X | Error (derajat) | Error (%) |
|-------|-------------------|------------------------|-----------------|-----------|
| 1     | 72                | 72.54                  | 0,54            | 0,59      |
| 2     | 91                | 91,32                  | 0,54            | 0,35      |
| 3     | 109               | 108,62                 | 0,38            | 0,34      |
| 4     | 111               | 110,48                 | 0,52            | 0,46      |
| 5     | 89                | 89,61                  | 0,61            | 0,68      |
| 6     | 66                | 67,07                  | 1,07            | 1,62      |
| 7     | 63                | 64,01                  | 1,01            | 1,60      |
| 8     | 89                | 89,41                  | 0,41            | 0,46      |
| 9     | 113               | 114,04                 | 1,04            | 0,92      |

Tabel 4. Nilai ketepatan sumbu X pada penelitian sebelumnya

| Lampu | Sudut X | Output PID X | Error (derajat) | Error (%) |
|-------|---------|--------------|-----------------|-----------|
| 1     | 10      | 12           | 2               | 20        |
| 2     | 10      | 16           | 6               | 60        |
| 3     | 10      | 15           | 5               | 50        |
| 4     | 25      | 17           | 8               | 32        |
| 5     | 25      | 18           | 7               | 28        |
| 6     | 25      | 23           | 2               | 8         |
| 7     | 30      | 35           | 5               | 16,67     |
| 8     | 30      | 21           | 9               | 30        |
| 9     | 30      | 19           | 11              | 36,67     |

rata *error* pada sumbu X sebesar 0,78%. Sedangkan pada penelitian sebelumnya memiliki persentase rata-rata *error* pada sumbu X sebesar 31,26%. Hal tersebut membuktikan bahwa penelitian *sun tracker* yang diusulkan lebih tepat dan akurat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian yang sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan data pengujian yang ada pada Tabel 5 menunjukkan persentase rata-rata *error* pada sumbu Y sebesar 4,67%. Namun pada penelitian sebelumnya, pada Tabel 6, penggerak sumbu Y menggunakan motor *servo continuous*, sehingga sudut motor *servo* tidak dapat dikendalikan. Pada motor *servo continuous*, hanya arah putarannya saja yang bisa dikontrol, *clockwise* atau *counter clockwise*. Maka dari itu, nilai ketepatan pada sumbu Y tidak dapat disimpulkan.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan ketepatan *sun tracker* antara penelitian sebelumnya, yang ditunjukkan pada Tabel 6, dengan penelitian yang diusulkan, yang ditunjukkan pada Tabel 5. Berdasarkan data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa *sun tracker* pada penelitian yang diusulkan lebih tepat dibandingkan penelitian sebelumnya.

### c. Perbandingan Tegangan

Perbandingan tegangan ini dilakukan dengan meletakkan kedua *sun tracker* di bawah sinar matahari. Pengujian dilakukan mulai dari pukul 08.00 sampai

Tabel 5. Nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian yang diusulkan

| Lampu | Rata-rata Sudut Y | Rata-rata Output PID Y | Error (derajat) | Error (%) |
|-------|-------------------|------------------------|-----------------|-----------|
| 1     | 6                 | 6,59                   | 0,59            | 9,83      |
| 2     | 6                 | 5,84                   | 0,16            | 2,83      |
| 3     | 4                 | 4,67                   | 0,67            | 16,75     |
| 4     | 22                | 21,88                  | 0,12            | 0,54      |
| 5     | 25                | 25,79                  | 0,79            | 3,16      |
| 6     | 24                | 24,89                  | 0,89            | 3,70      |
| 7     | 43                | 42,89                  | 1,01            | 1,60      |
| 8     | 44                | 45,32                  | 1,32            | 3         |
| 9     | 39                | 39,25                  | 0,25            | 0,64      |

Tabel 6. Nilai ketepatan sumbu Y pada penelitian sebelumnya

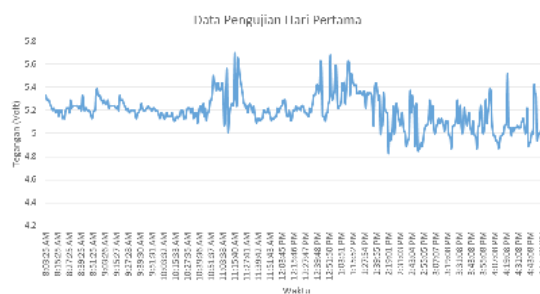
| Lampu | Nilai Output PID | Putaran                 |
|-------|------------------|-------------------------|
| 1     | 105              | <i>Counterclockwise</i> |
| 2     | 89               | <i>Stop</i>             |
| 3     | 88,1             | <i>Clockwise</i>        |
| 4     | 88,93            | <i>Clockwise</i>        |
| 5     | 88,53            | <i>Clockwise</i>        |
| 6     | 88,56            | <i>Clockwise</i>        |
| 7     | 88,02            | <i>Clockwise</i>        |
| 8     | 65               | <i>Clockwise</i>        |
| 9     | 88,2             | <i>Clockwise</i>        |

dengan pukul 17.00 selama tiga hari. *Sun tracker* dibiarkan bergerak mengikuti sinar matahari untuk diamati data tegangan yang dihasilkan. Pada pengujian hari pertama, diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Gambar 8 untuk *sun tracker* yang diusulkan dan Gambar 9 untuk *sun tracker* yang terdahulu.

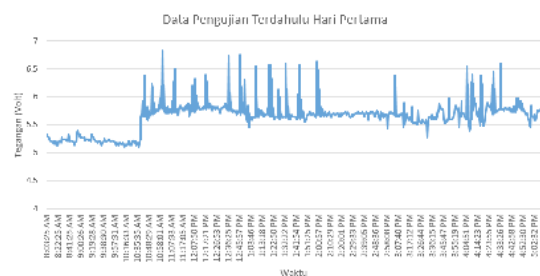
Berdasarkan pengambilan data pada hari pertama, diperoleh bentuk grafik data tegangan yang tidak konstan



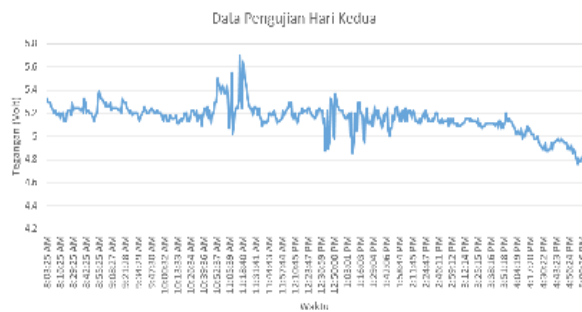
Gambar 7. Grafik perbandingan ketepatan



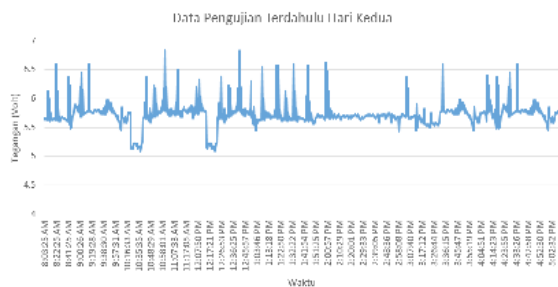
Gambar 8. Data hasil tegangan pada hari pertama dengan sun tracker yang diusulkan



Gambar 9. Data hasil tegangan pada hari pertama dengan sun tracker yang terdahulu



Gambar 10. Data hasil tegangan pada hari kedua dengan sun tracker yang diusulkan

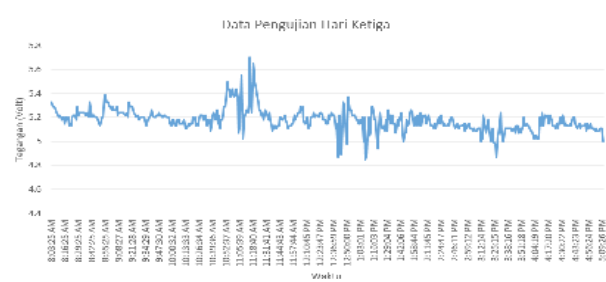


Gambar 11. Data hasil tegangan pada hari kedua dengan sun tracker yang terdahulu

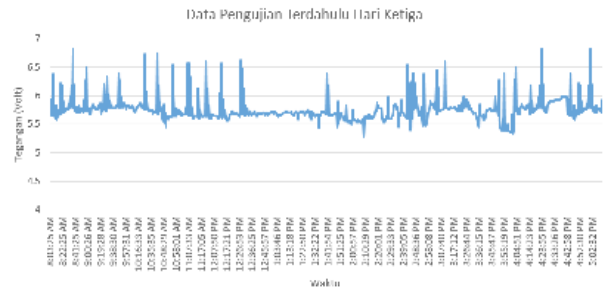
pada kedua *sun tracker*. Hal tersebut disebabkan karena cuaca pada saat ini sedang cerah tertutup awan, sehingga tegangan yang dihasilkan naik turun. Pada *sun tracker* yang diusulkan, diperoleh tegangan maksimal sebesar 5,7 Volt dan tegangan minimal sebesar 4,8 Volt. Sedangkan pada *sun tracker* terdahulu, tegangan maksimal yang diperoleh sebesar 6,8 Volt dan tegangan minimal yang diperoleh sebesar 5,1 Volt. Perbedaan tegangan itu disebabkan karena perbedaan luas penampang panel surya yang digunakan. Pada penelitian terdahulu menggunakan panel surya dengan ukuran 11 cm x 13 cm, Sedangkan pada penelitian yang diusulkan menggunakan panel surya dengan ukuran 11 cm x 7 cm.

Pada pengujian hari kedua, diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Gambar 10 untuk *sun tracker* yang diusulkan dan Gambar 11 untuk *sun tracker* yang terdahulu. Berdasarkan data hasil tegangan pada hari kedua diperoleh data tegangan yang cukup stabil dengan *sun tracker* yang diusulkan, sedangkan data yang berubah-ubah pada *sun tracker* yang terdahulu. Kondisi cuaca pada hari kedua ini cukup cerah, namun mendung pada sore hari. Nilai tegangan maksimal pada penelitian yang diusulkan diperoleh sebesar 5,7 Volt dan nilai minimal pada penelitian yang diusulkan sebesar 4,8 Volt. Nilai 4,8 Volt tersebut terjadi pada sore hari, pada saat cuaca sudah mulai mendung. Data tegangan tersebut konstan pada nilai 5,2 Volt dengan sedikit osilasi. Sedangkan nilai maksimal pada penelitian yang terdahulu sebesar 6,8 Volt dan nilai minimal pada penelitian yang terdahulu sebesar 5,1 Volt. Data tegangan tersebut konstan pada nilai 5,4 Volt dengan osilasi yang besar.

Pada pengujian hari ketiga, diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Gambar 12 untuk *sun tracker*



Gambar 12. Data hasil tegangan pada hari ketiga dengan sun tracker yang diusulkan



Gambar 13. Data hasil tegangan pada hari ketiga dengan sun tracker yang terdahulu

yang diusulkan dan Gambar 13 untuk *sun tracker* yang terdahulu.

Berdasarkan data tegangan yang diperoleh pada hari ketiga didapatkan data tegangan yang cukup stabil dengan sedikit osilasi. Kondisi cuaca pada hari ketiga cukup cerah, sehingga tegangan yang dihasilkan bisa maksimal. Nilai tegangan pada *sun tracker* yang diusulkan memiliki nilai maksimum sebesar 5,7 Volt dan nilai minimum sebesar 4,9 Volt. Nilai tersebut tidak terlalu stabil dan berubah-ubah. Sedangkan nilai tegangan maksimum pada *sun tracker* yang terdahulu sebesar 6,8 Volt dan nilai minimum sebesar 5,3 Volt. Data tegangan tersebut lebih stabil dibandingkan data-data pada hari-hari sebelumnya. Maka dapat disimpulkan bahwa aspek ketepatan dan kecepatan berpengaruh ke daya yang dihasilkan oleh panel surya.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian terhadap data yang telah diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa dengan rancangan konstruksi *sun tracker* dua sumbu pengujian dengan menggunakan algoritma PID di dapat nilai rata-rata *error* pada sumbu X sebesar 0,65° dan rata-rata *error* pada sumbu Y sebesar 0,54°. Dari pengujian prototipe *sun tracker* diperoleh nilai persentase rata-rata *error* pada sumbu X sebesar 0,78%. Sedangkan persentase rata-rata *error* pada sumbu Y sebesar 4,67%. Sedangkan hasil nilai tegangan maksimal yang diperoleh pada pengujian *sun tracker* yang diusulkan sebesar 5,7 Volt.

Hasil perbandingan kinerja dari aspek kecepatan dan ketepatan antara konstruksi *sun tracker* yang diusulkan lebih baik dari yang terdahulu. Nilai rata-rata kecepatan sudut yang diperoleh dari hasil pengujian *sun tracker*

sebesar 0,16 rad/s dan nilai rata-rata kecepatan linear sebesar 0,091 m/s. Pada penelitian sebelumnya, rata-rata kecepatan sudut sebesar 0,11 rad/s dan rata-rata kecepatan linear sebesar 0,063 m/s.

### REFERENSI

- [1] F. Afrin, T. Titirsha, S. Sanjidah, A.R.M. Siddique, A. Rabbani, "Installing dual axis solar tracker on rooftop to meet the soaring demand of energy for developing countries," *IEEE India Conf. (INDICON)*, 1–5, pp.13–15, Dec. 2013.
- [2] R. Tejjwani, C.S. Solanki, "360° sun tracking with automated cleaning system for solar PV modules," *IEEE PhotoVolt. Spec. Conf.* 002895–002898, pp. 20-25, June 2010.
- [3] D. Kho, "Pengertian LDR (Light Dependent Resistor) dan Cara Mengukurnya," *Komponen Elektronika*, 8 Maret 2016.
- [4] C.H. Tsai, S.C. Hu, C.H. Huang, Y.C. Tseng, "A sensor-based sun-tracking energy harvest system," *International Journal of Sensor Networks* 19.2, pp. 104–113, 2015.
- [5] Wilson, John, "Sensor Technology Handbook,". London: Newnes. 2005.
- [6] Fernando Briz, et al, "Speed Measurement Using Rotary Encoder for High Performance Ac Drives," *IEEE Trans*, vol.13, pp.538-542, October 1994.
- [7] U.S. Department Of Energy PhotoVoltaics Program, "Turning Sunlight into Electricity History: The PV Effect,"1998.
- [8] Sistem Off Grid, On Grid PLTS," *Solar Surya Indonesia*, April 2018
- [9] Centre for alternative technology, Machynlleth. History Of Photo Voltaic cells (PV).
- [10] A. Kassem, M. Hamad, "A microcontroller-based multi-function solar tracking system," *IEEE Int. Syst. Conf.* pp. 4-7, April 2011.
- [11] Y. Away and M. Ikhsan, "Dual-Axis Sun tracker Sensor Based on Tetrahedron Geometry," Elsevier: *Automation in Construction*, No. 73, pp. 175–183, 2017.
- [12] A. Yazidil, F. Betin, G. Notton, G.A. Capolinol, "Low cost two-axis solar tracker with high precision positioning," *First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area*, pp. 211-216, 2017.
- [13] M.S. Ait Cheikh, C. Larbes, G.F. Tchoketch Kebir and A. Zerguerras, "Maximum power point tracking using a PID control scheme - *Revue des Energies Renouvelables*," Vol. 10 N03, pp. 387 – 395, 2007.
- [14] Arduino PID Library, <http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary>.
- [15] S. Mohanty, B. Subudhi and P. K Ray, "A new MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique For PhotoVoltaic System Under partial Shading Conditions", *IEEE Transaction on Suistable Energy*, vol.7, pp.181-188, Jan 2016.
- [16] Kivrak, S., Gunduzalp, M. and Dincer, F., "Theoretical and experimental performance investigation of a two-axis solar tracker under the climatic condition of Denizli," Turkey. *Przegląd Elektro Techniczny (Electrical Review)*, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 2/2012.
- [17] A. H. Bin Abd Malik, *Sistem Pengawal Inverted Pendulum: Perbandingan Diantara Pengawal PID Dan Pengawal State Feedback*, Malaka: Universiti Teknikal Malaysia Melaka, 2008.

# Implementation of Event-Based Dynamic Authentication on MQTT Protocol

Rizka Reza Pahlevi, Parman Sukarno, and Bayu Erfianto  
School of Computing, Telkom University  
Bandung, Indonesia, 40257  
e-mail: rizkarezapahlevi@student.telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**—Artikel ini mengusulkan mekanisme otentikasi pada protokol MQ Telemetry Transport (MQTT). Pertukaran data dalam sistem IoT menjadi aktivitas penting. Pertukaran data ini dilakukan dengan komunikasi antar perangkat *Internet of Things* (IoT). Protokol MQTT adalah protokol komunikasi yang cepat dan ringan untuk IoT. Protokol MQTT menggunakan broker sebagai peladen untuk *publish/subscribe*. Salah satu masalah pada protokol MQTT adalah tidak adanya mekanisme keamanan pada pengaturan awal. Tahap registrasi client memiliki kerentanan terhadap serangan *client* palsu karena tidak adanya mekanisme otentikasi. Mekanisme otentikasi telah dibuat sebelumnya menggunakan *Transport Layer Security* (TLS). Namun, mekanisme TLS mengkonsumsi lebih dari 100 KB memori data dan tidak bersahabat untuk perangkat yang memiliki batasan. Oleh karena permasalahan tersebut diperlukan mekanisme otentikasi yang cocok untuk perangkat terbatas. Artikel ini mengusulkan protokol untuk mekanisme otentikasi berbasis kejadian dan dinamis untuk protokol MQTT. Penggunaan berbasis kejadian diajukan untuk mengurangi beban komputasi perangkat terbatas. Penggunaan dinamis ditujukan untuk memberikan properti otentikasi yang berbeda pada setiap sesi sehingga dapat meningkatkan keamanan otentikasi. Dari hasil evaluasi, protokol otentikasi dinamis berbasis kejadian berhasil diterapkan kepada perangkat terbatas mikrokontroler dan broker. Mikrokontroler sebagai *client* mampu melakukan proses untuk protokol yang diajukan. Broker mampu memilah *client* yang otentik dan perangkat terbatas mampu melakukan komputasi untuk melakukan proses mutual otentikasi kepada *client*. Mikrokontroler menggunakan 52% memori untuk protokol yang diajukan dan hanya mengkonsumsi 2% lebih tinggi dari protokol tanpa keamanan. Broker mampu memilah *client* yang otentik dan perangkat terbatas mampu melakukan komputasi untuk melakukan proses mutual otentikasi kepada *client*. Broker menggunakan real memori maksimum sebesar 4,3 MB dan penggunaan CPU maksimum 3,7%..

**Kata kunci:** *IoT, otentikasi, dinamis, berbasis kejadian, MQTT*

**Abstract**—This paper proposes an authentication mechanism on the MQ Telemetry Transport (MQTT) protocol. The exchange of data in the IoT system became an important activity. The MQTT protocol is a fast and lightweight communication protocol for IoT. One of the problems with the MQTT protocol is that there is no security mechanism in the initial setup. One security attack may occur during the client registration phase. The client registration phase has a vulnerability to accept false clients due to the absence of an authentication mechanism. An authentication mechanism has been previously made using Transport Layer Security (TLS). However, the TLS mechanism consumes more than 100 KB of data memory and is not suitable for devices that have limitations. Therefore, a suitable authentication mechanism for constraint devices is required. This paper proposes a protocol for authentication mechanisms using dynamic and event-based authentication for the MQTT protocol. The event-based is used to reduce the computing burden of constraint devices. Dynamic usage is intended to provide different authentication properties for each session so that it can improve authentication security. As results, the applied of the event-based dynamic authentication protocol was successful in the constraint devices of microcontrollers and broker. The microcontroller, as a client, is able to process the proposed protocol. The client uses 52% of the memory for the proposed protocol and only consumes 2% higher than the protocol without security. The broker can find authentic clients and constraint devices capable of computing to carry out mutual authentication processes to clients. The broker uses a maximum of 4.3 MB of real memory and a maximum CPU usage of 3.7%.

**Keywords:** *IoT, authentication, dynamic, event-based, MQTT*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. INTRODUCTION

Since the establishment of the internet, the development of hardware and software had increased. The increasing quality of internet services today creates

innovations. One of the innovation is the Internet of Things (IoT) [1]–[3]. The IoT makes physical devices in the environment (such as medical devices, vehicles, sensors) become part of computer networks and operate without human intervention [4], [5]. The architecture of

the IoT consists of four-layer: Sensing layer, Network layer, Service layer, and Applications layer [6]. The Sensing layer generally contains constraint devices as in RFC72278 [7]. The constraint device is used to convert environmental parameters into digital data. The use of constraint devices to the IoT is intended to be one of them for device mobilization and resource requirements.

The data from the sensing layer was sent to another layer using the communication protocol. The network layer provides a communication protocol between nodes. One of the communication protocol for the IoT is Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). The MQTT protocol is an open standard protocol that is issued by the Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) that can be used with devices that have limited memory, low data rates and are transmitted over the network [8]–[10]. The MQTT protocol works with the published/subscribed model. Figure 1 shows a scheme of communication between the client and the broker. That figure shows the MQTT protocol scheme which consists of publisher P1, P2, ..., Pn and subscriber S1, S2, ..., Sn. The task of the publisher is to send data to the MQTT broker through networks, and the subscriber is to receive messages from brokers through networks on certain topics. The clients use the topic to publish and subscribe.

However, from the advantages possessed by the MQTT protocol, the MQTT protocol has a threat [8], [9], especially at MQTT brokers. The activities such as registering and publishing are using the MQTT broker. The MQTT protocol does not have a security mechanism in the default setting [11], [8], [9]. Since the absences of the security mechanism in the MQTT protocol causes several problems, one of them is the authentication mechanism [6], [8], [9], [11]. The authentication mechanism is a method to prove the authenticity of the client, whether it is legitimate or not to the broker. Because the broker cannot verify the client, the broker can accept the connection message from any client. This phase has a vulnerability to the broker receiving a fake client. Unauthenticated clients can cause unauthorized access [6] that results in fake messages, malfunctions, or collapses.

Authentication issues in the MQTT protocol have been previously addressed. One mechanism is to use Transport Layer Security (TLS). The TLS is a security standard for communication between two parties. The TLS is providing symmetric, asymmetric, and hash encryption to accommodate integrity, confidentiality, and authentication.

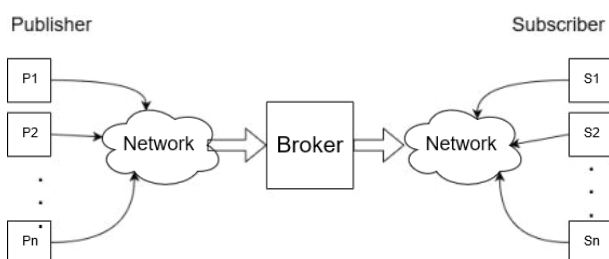


Figure 1. Existing MQTT Scheme [8], [6]

However, Sorcha Nolan [12] states that TLS added costs to the process, so it was not suitable for constraint devices. Gil Reiter [13] states that TLS used more than 100 KB of memory consumption, which is certainly not a problem for smartphone, but it is a problem for constraint devices to RFC7228. Miranda P. et al. [14] states that there was overhead energy for TLS. To deal with the problem of energy use in the TLS, Tae Ho Cho et al. [15] proposed the method. However, Tae Ho Cho et al. proposed method cannot handle the problem of memory usage [12].

The overconnected handling needed to overcome the authentication problems. Overconnected is caused by an end device that cannot prove the authenticity of the client. This research proposes an event-based authentication protocol mechanism. The authentication mechanism proposed in this research consists of two pillars, namely event-based and dynamic property pillars. The use of event-based control systems pillar performed when triggers occur, which potentially reduce computational and communication burdens and do not require additional synchronization to the server [16]. The dynamic pillar makes security attributes on each event change so that it can improve security. In this research succeeded in implementing event-based dynamic authentication on microcontroller devices, and brokers were able to authenticate clients.

The contribution of this research is to improve security in the MQTT protocol by using dynamic event-based authentication. In this research, it introduced a dynamic authentication security mechanism using an event-based control system that had not previously been studied on the IoT. This study proposes a security mechanism that simultaneously considers computing and memory on constraint devices such as microcontrollers. Previous research has tried to solve this problem, but as far as we know, it does not consider computing devices that have limitations either. Besides, previous research has not discussed authentication at the client level on the IoT system. Therefore, this study took part to improve authentication security.

## II. LITERATURE REVIEW

The MQTT protocol is a communication protocol that uses the publish/subscribe mechanism to requests/responses [17] [18] [11]. There are four properties at the MQTT protocol: IP, Payload, Topic, and Port [8]. The MQTT protocol, there are three agents: Publisher, Subscriber, and Broker. The Publisher works by connecting the client to the broker and sending messages to the broker. The subscriber works by connecting the client to the broker and receives messages on the desired topic. The broker work to exchange messages, receive messages and forward messages. The agents have relationships and are attached to certain attributes. The MQTT protocol, the topic is an inherent property that must exist.

Budi R. et al. [8] reviewed the security in the MQTT protocol. The Security required in MQTT includes

authentication, authorization, and access control. However, the MQTT protocol does not have it all. The MQTT protocol only provides authentication without encryption. The authentication process on the MQTT generally uses a username and password. The sending of the authentication message is not encrypted. Budi R. et al. [8] provides a demonstration of how the MQTT attacks are carried out on the network by obtaining an MQTT packet from the network. The attacker registers himself to the broker with the content from the obtained header data. Furthermore, the attacker gain access to the resources at the broker. S. N. Firdous et al. [9] provides categories of attacks and effects of attacks. The attack categories describes the denial of service, identity spoofing, information disclosure, elevation of privileges, and tampering data also explains how broker are attacked with unauthorized access.

The Transport Layer Security (TLS) security mechanism has been established to provide security mechanisms. TLS provides a secure communication channel through two hosts. TLS uses symmetric and asymmetric functions and hashes to provide authentication, encryption for data, and data integrity. TLS provides security for authentication, authorization, and encryption of data sent. TLS has become standard security for communication over the network. TLS in the MQTT protocol has been used to secure data and maintain the authenticity of the broker from the message received. However, P. Miranda et al. provides exposure to how TLS has overhead in computing [14]. The energy consumed depends on the amount of data to be sent. Gil Reiter explained that TLS needed at least 100 KB of memory [13]. The computation of TLS security mechanism that can be done by smart-phones and other devices that have much memory, but not for devices that have limitations such as those on RFC7228 [7].

Sorcha Nolan had provided another security mechanism at MQTT [12]. Sorcha Nolan provides an authentication mechanism on the MQTT protocol by providing encryption on the payload. This study aims to provide low computing and memory usage for the authentication process on the MQTT protocol payload. Sorcha Nolan succeeded in providing an authentication mechanism on MQTT content regarding clients that have limitations. However, this study does not pay attention to client authentication mechanism, where it is used to validate the clients that want to uses the broker resources.

The control system, there are two types, event-based and time-based. An event-based control system is a control system that updates its information when a particular event triggers the function. This control system computation carried out if certain events trigger the system. This control scheme is a solution where the device has a limit power usage [16]. An event-based control system performed when state changes occur, or there are triggers from other operations that potentially reduce the computing burden. In the case of IoT, because not all the IoT devices have the same delivery time, event-based control system more efficient. Also, the eventbased control scheme saves bandwidth because it does not require synchronization to

the server to update the property.

### III. METHODOLOGY AND SYSTEM DESIGN

#### A. Proposed Protocol Concept

The design of the proposed protocol for dynamic event-based authentication divided into two: event id and encryption. Pseudo-random number generator is used to create the event id. The pseudo-random number generator has a concept where the seed becomes a generator of current value. Each client owns a seed (each one), and the broker owns the entire list of client seeds. The event id is formed by clients who want to register and brokers to mutually authenticate. Moreover, the event id formed by the client is called  $Evk$  and the broker is called  $Evb$ . The encryption process, the value of the event id is added with random characters, and then processed with symmetric encryption using the Fisher Yates Shuffle. The Fisher-Yates shuffle uses key  $R$  as an individual scrambler. The Fisher-Yates was chosen because it fulfills unbiased permutation rules. It only requires a portion of time for a number of individuals, and does not require additional space [19] [20]. Moreover, the results of encryption from the client are called  $Ec(Evk)$ , and the broker is called  $Ec(Evb)$ . The  $Ec(Evk)$  is used by the client to register to the broker, and  $Ec(Evb)$  is used by brokers to provide mutual authentication to the client. Because the event id built with a pseudo-random number generator that is affected by the seed, the seed must be updated to ensure the dynamic event id. The update of the event id on the client done after the client sends a message to the broker. On the broker's side, the broker updates the related event id when the broker declares to accept the relevant client. Moreover, the entire system is described as in Figure 2.

#### B. Authentication Protocol Design

The proposed protocol, the client who register to the broker passes through the secure channel, is as shown in Figure 3. A security channel is formed to process client registering process to the broker. The client sends a registration message to the broker along with the  $Ec(Evk)$  security attribute through the CONNECT header. The MQTT broker receives CONNECT header from the clients and validates security properties  $Ec(Evk)$  from the clients. If the property  $Evk$  (from the  $Ec(Evk)$  decryption) from the client is accepted, then the broker gives a reply in the form of the security property  $Ec(Evb)$  to the client. The client receives a reply message  $Ec(Evb)$  from the broker and validates the broker security properties. If the client accepts  $Evb$  (from the  $Ec(Evb)$  decryption) from the broker, then the client believes that the sender is a legitimate broker. This scheme is used to validate the two-way broker and client authentication.

In the registration process, the client must be able to prove its authenticity, and the broker must also be able to verify its authenticity. To complete the registration

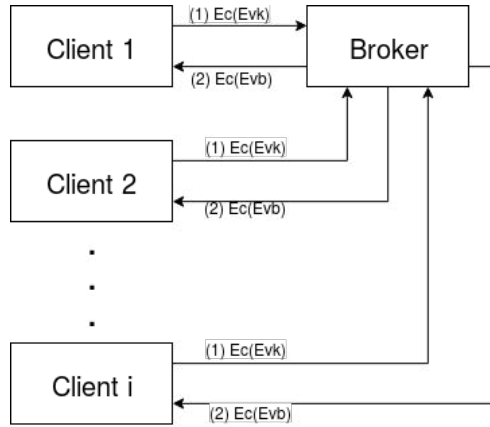


Figure 2. Proposed design protocol for MQTT

process, the client must form the event id  $Evk$ . The random characters added to the event id that built before. The random character addition is needed to increase the security strength of the Fisher-Yates Shuffle. Adding random characters to the event id is done until it meets the length  $m$ . After the event id has been added with random characters to the length  $m$ , it is processed with the Fisher-Yates shuffle so that it becomes  $Ec(Evk)$ . The client sends this result from  $Ec(Evk)$  to the broker. The broker who has received  $Ec(Evk)$  decodes to get  $Evk$ . If  $Evk$  is accepted, then the broker forming  $Evb$ , then random characters are added to have the length  $m$  and processed with the Fisher-Yates shuffle to form  $Ec(Evb)$ , then the  $Ec(Evb)$  is sent to the corresponding client. The related client that receives  $Ec(Evb)$  decode to gets  $Evb$ . If  $Evb$  is accepted, then the client has received a message from a legitimate broker.

### C. System Design

1. *Client Authentication:* The system design for the proposed protocol consists of two major parts, namely the formation of event id and encryption. The formation of event id based on the rules of the pseudo-random number generator [21]. All seeds used by the client for the pseudo-random number function are registered with the broker. Then the client forms the event id. The event id that has been formed by the client is added by random characters to the length  $m$  then encrypted with the Fisher-Yates Shuffle. Then the system design is depicted in Figure 4. The event id formed by the client goes through functions. The functions have properties that are only known by legitimate broker and clients. The product of these functions is a number that is influenced by the initial seed and functions properties. After the event id is done, a random character is added until it has a length of  $m$ . Both parties have agreed with this length of  $m$ . This  $m$  length is needed to improve security when performing the Fisher-Yates shuffle. The Fisher-Yates shuffle has the property that each has a probability  $1/m$  to move. With that probability, optimizing  $m$  can increase the reliability of individual locations. The event id that has been added with this random character is processed Fisher-Yates shuffle with key  $R$  for the random

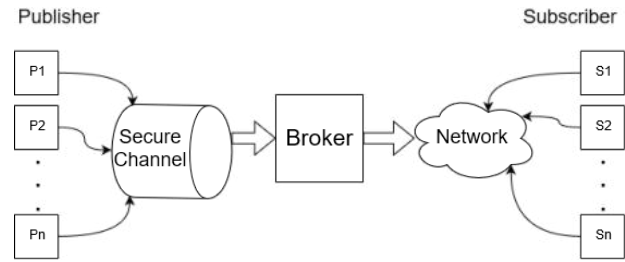


Figure 3. Proposed secure protocol for MQTT

factor. The key  $R$  consists of an array along  $m$  where each array has a value with a range of  $1 < m-1$ . The product of event id and random characters that have been subject to Fisher-Yates are called  $Ec(Evk)$ . The product  $Ec(Evk)$  is embedded in the CONNECT header along with the ID in the client registration process. The ID does not store any sensitive information.

2. *Broker Authentication:* After the broker receives a registration request from the client, the broker checks the provisions of the registration form. After the broker receives the CONNECT packet from the client, the broker checks whether there is a registration form in the header. If there is a registration form as specified, then the broker decodes the message. The broker decoding  $Ec(Evk)$  are pinned on the header using the key  $R$ . The product decoding  $Ec(Evk)$  produces event id and random characters. The broker sorts out event id and random characters and leaves only the event id  $Evk$ . This event id  $Evk$  is used by the broker to find out the authenticity of the client. If the relevant event id  $Evk$  is registered to the broker, then the broker processes the mutual authentication. The mutual authentication process carried out by the broker is useful to inform the client that the sender is a legitimate broker. After the broker receives an event id from a valid client, the broker updates the seed of the relevant event id. The broker was forming the event id  $Evb$  from the new seed. The event id that is added random characters to the length  $m$  and processed with Fisher-Yates shuffle with key  $R$ . The result of the process is called  $Ec(Evb)$ . The  $Ec(Evb)$  result sent to the related client to the PUBLISH header from the MQTT protocol. The system design is depicted in Figure 4.

3. *Mutual Authentication:* After the client receives a publish from the broker, the client checks the provisions of the authentication form. After the client receives the PUBLISH packet from the broker, the client checks whether there is an authentication form in the header. If there is an authentication form as specified, then the client decodes the message. After the client receives  $Ec(Evb)$  from the broker, the client decodes  $Ec(Evb)$  with key  $R$ . The result of the  $Ec(Evb)$  decoding process leaves the event id  $Evb$  and random characters. Then, the client sort the event id and random characters. After the event id  $Evb$  is found, the client matches the event id that the client-owned. If the event id  $Evb$  that is sent matches, then the client believes that the sender is a legitimate broker. If

the client states that he has a legitimate broker, then the client updates the previous seed. The event id that uses to register later becomes dynamic by updating the previous seed. The system design is illustrated in Figure 4

#### D. CPU and Real Memory Usage

The use of CPU and real memory is done to measure how much cost must be paid by the MQTT broker in performing the proposed and the existing protocols and how much additional memory is given to the constraint devices. The CPU and real memory measurements on the MQTT broker are measured by monitoring the process identifier (PID). This activity records the real memory and CPU usage of the PID used by the proposed and the existing protocols. After obtained the CPU and real memory usage data at the MQTT broker, the data is presented in a graph. Data samples taken were for 600 seconds (ten minutes) in each session. Measurement of additional memory on the constraint devices is done by compiling the code on the proposed and the existing protocols. The compiler used to compile the code in the Arduino IDE. The result from the compilation is the bytes size of the code being embedded in the constraint device. The subtraction in code size between the proposed protocol and the existing protocol give results in the amount of additional memory needed in the proposed protocol for the constraint device. The measurement of CPU and real memory usage on the MQTT broker and the addition of memory on the

constraint devices provide information on costs to be paid by the proposed protocol.

## IV. RESULT AND DISCUSSION

#### A. Proposed Protocol Algorithm

An algorithm is needed as a builder to build the proposed protocol on client and broker. The algorithm 1 and algorithm 2 described is used on clients and broker. In the client, the end result of this algorithm is  $Ec(Evk)$ , and the broker is  $Ec(Evb)$ . These algorithms are divided into two parts. The first part is an algorithm to build a pseudo-random number generator called  $Pr$ . The formation of the  $Pr$  refers to the seed. The clients use existing seeds to forming the  $Pr$  and the broker forming the  $Pr$  from the client seeds that owned. The second part is the formation of  $Ec$ . The formation of the  $Ec$  on the client is called  $Ec(Evk)$  then the broker is called  $Ec(Evb)$ .

---

**Algorithm 1:** The function used to form  $Pr$  from the previous seed

---

| Client                                    |                                               | Broker                                             |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Init Seed <sub>i</sub>                    |                                               | Init Seed <sub>i</sub>                             |
| compute $Pr_i$                            |                                               | compute $Pr_i$                                     |
| compute $Evki$                            |                                               | compute $Evbi$                                     |
| $rc \leftarrow \text{random characters}$  |                                               |                                                    |
| $Evki \leftarrow \text{concat}(Evki, rc)$ |                                               |                                                    |
| $Ec(Evki) \leftarrow \{Evki, R\}$         |                                               |                                                    |
|                                           | $\xrightarrow{\text{CONNECT}(ID, Ec(Evk_i))}$ |                                                    |
|                                           |                                               | $Evki \leftarrow \{Ec(Evki), R\}$                  |
|                                           |                                               | validate $Evki$ with $Evbi$                        |
| compute new Seed <sub>i+1</sub>           |                                               | compute new Seed <sub>i+1</sub> for related client |
| compute $Pr_{i+1}$                        |                                               | compute $Pr_{i+1}$                                 |
| compute $Evk_{i+1}$                       |                                               | compute $Evb_{i+1}$                                |
|                                           |                                               | $rc \leftarrow \text{random characters}$           |
|                                           |                                               | $Evbi+1 \leftarrow \text{concat}(Evb_{i+1}, rc)$   |
|                                           |                                               | $Ec(Evbi+1) \leftarrow \{Evb_{i+1}, R\}$           |
|                                           | $\xleftarrow{\text{PUBLISH}(Ec(Evb_{i+1}))}$  |                                                    |
|                                           | $\xleftarrow{\text{CONACK}}$                  |                                                    |
| $Evbi+1 \leftarrow \{Ec(Evbi+1), R\}$     |                                               |                                                    |
| validate $Evbi+1$ with $Evki+1$           |                                               |                                                    |
| compute new Seed <sub>i+2</sub>           |                                               | compute new Seed <sub>i+2</sub> for related client |

Figure 4. System design of the proposed protocol

---

```

function ProducePr (seed,q,groot,n);
Input : seed, q, qroot, n
Output:  $Pr_i$ 
 $Y_i$  : integer,  $T_i$  : integer,  $Pr_i$  : integer;
 $Y_i \leftarrow \text{power}(\text{seed}, \text{qroot}) \text{ modulo } q$ ;
 $T_i \leftarrow \text{power}(Y_i, (\text{qroot} \times n)) \text{ modulo } q$ ;
 $Pr_i \leftarrow T_i \times (\text{qroot} \times (q - n)) \text{ modulo } (Y_i \times q)$ ;
return  $Pr_i$ ;

```

---

The algorithm 1 provides exposure to pseudo-code to form of the  $Pr$ . The value  $q$  is the prime number, and  $qroot$  is the prime root of  $q$ , and the  $n$  is the integer. The first row forms the  $Y_p$ , then the  $T_p$ , and the last is the  $Pr$ . The last product in this algorithm is to return  $Pr$ . The product of the algorithm 1 it is combined with the algorithm 2 to forming  $Ec(Evk)$  (for the client) or  $Ec(Evk)$  (for the broker).

The algorithm 2 forms the last product in the registration process. The length of  $Pr$  is calculated, which used to specify the length of the random characters  $rc$  where is get from the length of  $m$  subtract the length of  $Pr$ . After the random character  $rc$  is formed, the random character  $rc$  to be combined with  $Pr$ . After merging is done, the function forming the value of key  $R$  as long  $m$  as the key to do Fisher-Yates. After getting the key  $R$ , the result of the merger between  $Pr$  and  $rc$  as  $Ev$  as subjected to the Fisher-Yates Shuffle by key  $R$ , which then produces  $Ec$ .

---

#### Algorithm 2: The procedure used to form $Ec$ procedure

---

```

ProduceEvConnect ();
Input: seed, q, qroot, n, m
Output :  $Ec(Evk)$ 
 $Pr$  : integer, lengthPr : integer, lengthrc : integer, rc :
char, Ev : char, R : list of integer, Ec : char;
 $Pr \leftarrow \text{ProducePr}(\text{seed}, q, \text{qroot}, n)$ ;
lengthPr  $\leftarrow \text{lengthof}(Pr)$ ;
lengthrc  $\leftarrow m - \text{lengthPr}$ ;
rc  $\leftarrow \text{randomstring}(rc, \text{lengthrc})$ ;
Ev  $\leftarrow \text{concat}(Pr, rc)$ ;
R  $\leftarrow \text{getkeyrandom}()$ ;
Ec  $\leftarrow \text{randomize}(Ev, R)$ ;

```

---

#### B. Authentication Testing

Protocol testing is carried out in two stages, namely client authentication to the broker and mutual authentication broker to the client.

1. *Client Authentication*: on testing the client to the broker, the attention is the validity of the client to forming  $Ec(Evk)$ . The test using  $m$  as long as 35. Figure 5 indicates that the client can form  $Ec(Evk)$ . The first line of the figure shows the event id  $Evk$  that was formed. Then the second line indicates the random character is formed, and the third line shows the merger between  $Evk$  with random characters. The fifth line indicates the results of the third row is subjected to the Fisher-Yates Shuffle. The sixth line

Figure 5. Microcontroller process the proposed protocol

Figure 6. Broker accept the client registre

Figure 7. MQTT packet mutual authentication from broker

Figure 8. The client receives mutual authentication

is the ID, and the seventh line is  $Ec(Evk)$  sent. Figure 5 indicates that the event id is hidden by using Fisher-Yates shuffle. After the broker receives a registration message, the broker performs the validation. Figure 6 indicates that the broker can receive the registration message from the client. This acceptance can be seen in Figure 6 on the last line. On this line states that sending CONNACK with the message (0,0). Message (0,0) in the MQTT manual states that 0x00 states the acceptance of the client [17]. From this process, it is stated that the broker can validate the event id sent by the client.

2. *Broker Authentication*: in the broker to the client testing, what the consideration is the client's ability to authenticate the broker. The broker formed an event id  $Evb$  from a new seed from the related client to carry out a mutual authentication process. Furthermore,  $Evb$  from the broker added random character so that it has a length of 35 and is subject to the Fisher-Yates shuffle. Figure 7 shows the final result of  $Ec(Evb)$  from the broker that sent to the relevant client. Figure 7 in the last row indicates that there is  $Ec(Evb)$ . After the corresponding client receives  $Ec(Evb)$ , the client proves the event id that was received. Figure 8 shows that the client can receive mutual authentication messages from the broker. The first line indicates the reception of  $Ec(Evb)$ . The second line indicates the decoding results of  $Ec(Evb)$ . The third and

```

1559378580: Squanix Broker version 1.5.4 from mosquitto starting
1559378580: This Broker built by Squanix fot Dynamic Event Based
1559378580: Using default config. (No Security Mechanism)
1559378580: Opening ipv4 listen socket on port 1883.
1559378580: Opening ipv6 listen socket on port 1883.
1559378582: New Client found 192.168.230.105 on port 1883.
1559378582: Client Send Connect
1559378582: Auth Failed, Drop Device From IP 192.168.230.105
1559378582: Not Authenticate User
1559378582: Sending CONNACK to Address 192.168.230.105 (0, 5)

```

Figure 9. The broker reject unauthenticated client

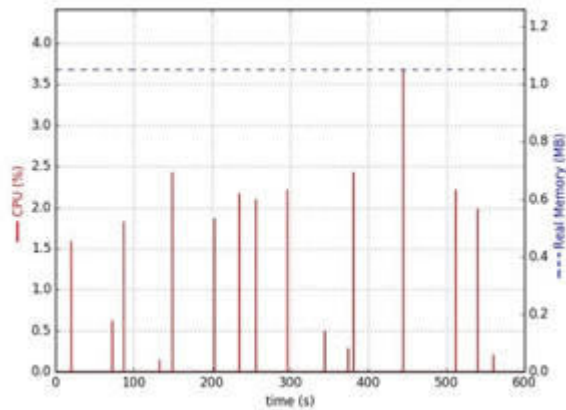


Figure 10. The broker memory and CPU usage in existing MQTT protocol

fourth line is the event id of the broker (*Evb*) and the event id of the client (*Evk*). Because *Evb* and *Evk* are the same, the client receives a broker. From this process stated that the client could validate the event id sent by the broker.

### C. Proposed Protocol Security Test

In this test, there are two invalid clients. This invalid client tries to register to the broker by using a random event id. Figure 9 indicates that the broker receives a registration message from the client. The figure indicates that the broker receives a registration request from the client. Then the broker performs a decoding process on the registration message sent. The results of the decoding process, the broker did not find a match between the event id that sent with the event id that owned. Furthermore, the broker gives an “Auth Failed” signal, which states the authentication failed to the relevant client. After it is declared not accepted, the broker sends a CONACK message to the related client with message content (0,5). As in the manual MQTT manual, the message (0,5) states that the contents of 0x05 inform the client that it is not authenticated [17].

### D. Client Memory Usage

In this test, it is intended to see the validity of the protocol built on the constraint device. This test uses ESP8266-12E as a client. This test uses the MQTT as the MQTT library for the ESP8266-12E and BigNumber as the library to support the mathematical process. The MQTT library accommodates all headers and rules on the MQTT protocol. The BigNumber library is required to provide pseudo-random numbers and other mathematical calculation processes. Using the Arduino IDE

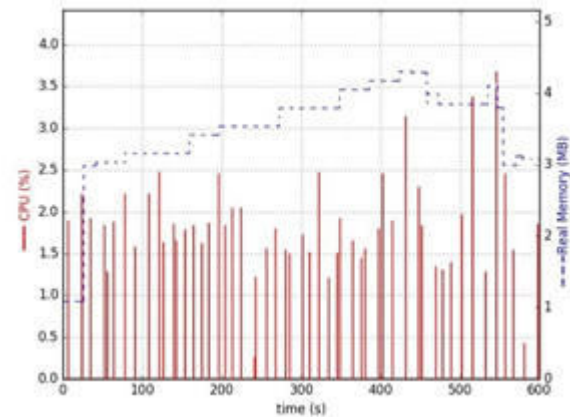


Figure 11. The broker real memory and CPU usage in the proposed MQTT protocol

, the compilation results that inform how much memory usage is done. From the results of the compilation carried out, the existing MQTT protocol uses 252.584 bytes or about 50% of the total memory of ESP8266-12E. Furthermore, the proposed protocol uses 262.404 bytes or about 52% of the full memory of ESP8266-12E. The difference in the amount of memory usage is 9.820 bytes or 2%. This memory usage is 2% greater than the MQTT protocol without security protocols. Thus, constraint devices still have more memory space to store other programs. In addition, with a difference of 2% the memory usage can reduce the amount of power used to generate memory. However, it should be noted that ESP8266-12E uses a 32-bit architecture with an instruction length of 16-bit. Thus, the compilation of code entered into ESP8266-12E is not only the size of the proposed protocol, but also includes the operating system, instructions, and address memory. Although ESP8266-12E has a flash of 512

Kb, ESP8266-12E actually only has a small space of around 32 Kb for code space (the rest is for operating system space, address, instructions).

### E. Broker Real Memory and Cpu Usage

The specification for the MQTT broker that used is Intel i5 7200U with 4 GB RAM and using the Ubuntu OS 16.04. Memory usage is allocated to 256 MB to measure the use of real memory in the proposed and existing protocols. Tolerated memory usage of the proposed protocol is less than 30% of the allocated memory. Analysis of real memory and CPU usage on the MQTT broker have been done. This analysis is intended to identify the additional costs must be paid in implementing the proposed protocol compared to existing MQTT protocols.

*Non-Attack CPU and real memory usage:* The scenario of testing real memory and CPU usage in the existing MQTT protocol is with three clients who continually connect at once every five seconds. Figure 10 shows a graph of the results of real memory and CPU usage in the existing MQTT protocol taken within ten minutes. Figure 10 indicates that the maximum real memory usage is around 1.01 MB in the existing protocol. The maximum

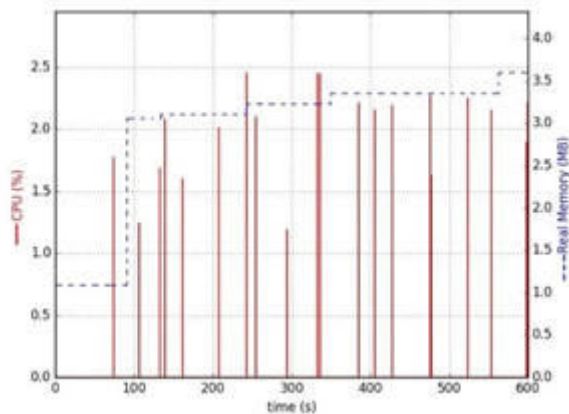


Figure 12. The broker real memory and CPU usage in an attack scenario

CPU usage used in the existing MQTT protocol is around 3.6%. Figure 10 also shows the CPU usage interval of the existing MQTT protocol. Furthermore, Figure 11 indicates a graph of the results of the real memory and CPU usage on the proposed MQTT protocol taken within ten minutes. The scenario for testing the real memory and CPU usage on the proposed MQTT protocol is that three clients are continually making connections at once every five seconds. Figure 11 indicates that the real memory usage in the proposed protocol is dynamic, and the maximum is 4.3 MB. The maximum CPU usage for the proposed MQTT protocol is around 3.7%. Figure 11 also indicates the CPU usage interval on the proposed MQTT protocol. From the results of Figure 10 and Figure 11 shows differences in the real memory and CPU usage in the existing MQTT protocol and the proposed MQTT protocol. From the results of these tests indicates that the proposed MQTT protocol uses more real memory, which is 4.3 MB (1.67% from allocated memory) compared to the existing MQTT protocol use 1.01 MB (0.39% from allocated memory). The proposed protocol uses 3.29 MB (1.28% of allocated memory) more than the existing protocol, which is still within the tolerance level (less than 30% of allocated memory). The excessive real memory usage in the proposed protocol is because MQTT brokers need additional space in calculating to verify the incoming clients. On the other hand, maximum CPU usage on the proposed MQTT protocol was close at 3.7% compared to the existing MQTT protocol, which reached 3.6%. On the other hand, CPU usage intervals on the proposed MQTT protocol are more often compared to existing protocols. The increasing CPU usage is because the CPU has an additional burden to perform calculations to validate the incoming client.

*Attack CPU and real memory usage:* The testing is done to see the real memory and CPU usage in the proposed protocol when the attacker tries to enter. The scenario that used is made up of two groups. The first group is a three trusted client, and the second group is two attackers. A trusted client and attacker try to register with the proposed MQTT protocol. The attackers try to attack the MQTT broker by brute force at once every two seconds. According to the previous explanation that the trusted client rules are

accepted and the attackers are rejected. Figure 12 shows the real memory and CPU usage when the MQTT broker is attacked, which is taken within ten minutes. Figure 12 indicates that the real memory usage at the MQTT broker regularly increases. Maximum real memory usage is around 3.55 MB, and maximum CPU usage is 2.49%. However, when viewed from the CPU usage interval, it is lower than Figure 11. This interval difference is because the scenarios are different.

## V. CONCLUSION

This research has proposed an authentication mechanism in the MQTT protocol. Authentication problems that occur in the MQTT protocol can be overcome using the proposed protocol. The proposed protocol uses the event based dynamic mutual authentication to accommodate the authentication mechanism for the MQTT protocol. Dynamic concepts can change the different authentication attributes for each session. The event-based concept can be applied to the constraint devices to support the authentication process. Authentication is done in two-way between the client and the broker through a secure channel. The brokers and the clients can authenticate by validating the authentication attributes that are sent. The test indicates that the proposed protocol runs on the constraint device. The brokers and the constraint devices are able to carry out the entire process in the proposed protocol. The proposed protocol can reject registration messages from the invalid clients that use brute force attacks to the broker. The implementation of the proposed protocol uses 2% memory higher than the existing MQTT protocol without authentication on the constraint device. A sample of running MQTT brokers for 10 minutes found that MQTT brokers used a maximum of 4.3 MB of real memory with maximum CPU usage at 3.7% when accepting authentic clients. The MQTT broker uses a maximum of 3.55 MB of real memory with a maximum CPU usage of 2.49% when rejecting non-authentic clients.

## REFERENCES

- [1] Statista, "Internet of things (iot) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions)," <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>, 2016, accessed : 2019-06-30.
- [2] M. Hung, "Leading the iot : Gartner insights on how to lead in a connected world," *GARTNER*, pp. 1–29, 2017.
- [3] D. Evans, "The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything," *CISCO white paper*, vol. 1, pp. 1–11, 2011.
- [4] A. F. A. Rahman, M. Daud, and M. Z. Mohamad, "Securing sensor to cloud ecosystem using internet of things (iot) security framework," in *Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Cloud Computing*, ser. ICC '16. New York, NY, USA: ACM, 2016, pp. 79:1–79:5.
- [5] F. A. Alaba, M. Othman, I. A. T. Hashem, and F. Alotaibi, "Internet of things security: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 88, pp. 10 – 28, 2017.

- [6] S. Li and L. D. Xu, *Securing the Internet of Things*, 1st ed. Massachusetts, USA: Syngress Publishing, 2017.
- [7] C. Bormann, M. Ersue, and A. Keränen, "Terminology for Constrained-Node Networks," RFC 7228, Tech. Rep. 7228, May 2014. [Online]. Available: <https://rfc-editor.org/rfc/rfc7228.txt>
- [9] S. Andy, B. Rahardjo, and B. Hanindhito, "Attack scenarios and security analysis of mqtt communication protocol in iot system," in *Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), 2017 4th International Conference on*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [10] S. N. Firdous, Z. Baig, C. Valli, and A. Ibrahim, "Modelling and evaluation of malicious attacks against the iot mqtt protocol," in *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and*
- [11] *IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCoM) and IEEE Smart Data (SmartData)*, June 2017, pp. 748–755.
- [12] N. Naik, "Choice of effective messaging protocols for iot systems:
- [13] Mqtt, coap, amqp and http," in *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, Oct 2017, pp. 1–7.
- [14] P. Waher, *Learning Internet of Things*, ser. Community experience distilled. Birmingham B3 2PB, UK: Packt Publishing Ltd., 2015.
- [15] S. Nolan, *Authenticated Payload Encryption Scheme for Internet of Things Systems over the MQTT Protocol*. Dublin, Ireland: Trinity Collage Dublin, The University of Dublin, 2018.
- [16] G. Reiter. (2015) Securing all devices in the internet of things. <https://www.ecnmag.com/article/2015/06/securing-all-devicesinternet-things>. Accessed :2019-06-30.
- [17] P. Miranda, M. Siekkinen, and H. Waris, "Tls and energy consumption on a mobile device: A measurement study," in *2011 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, June 2011, pp. 983–989.
- [18] J. H. C. , Tae Ho Cho, "Adaptive energy-efficient ssl/tls method using fuzzy logic for the mqtt-based internet of things," *International Journal of Engineering and Computer Science*, vol. 5, no. 12, Nov. 2016. [Online]. Available: <http://www.ijecs.in/index.php/ijecs/article/view/3229>
- [19] D. Ding, Z. Wang, G. Wei, and F. E. Alsaadi, "Event-based security control for discrete-time stochastic systems," *IET Control Theory Applications*, vol. 10, no. 15, pp. 1808–1815, 2016.
- [20] A. Banks and R. Gupta, *MQTT Version 3.1.1*, OASIS Standard, 2014. [18] B. Russell and D. Van Duren, *Practical Internet of Things Security*. Livery place 35, Birmingham b3 2pb, UK: Packt Publishing, 2016.
- [21] F. Y. Sir Ronald A. Fisher, *Statistical tables for biological, agricultural and medical research*, edited by R.A. Fisher and F. Yates. 6th ed. Edinburgh, Scotland: Oliver and Boyd, 1963, no. Ed. 6.
- [22] T. K. Hazra, R. Ghosh, S. Kumar, S. Dutta, and A. K. Chakraborty, "File encryption using fisher-yates shuffle," in *2015 International Conference and Workshop on Computing and Communication (IEMCON)*, Oct 2015, pp. 1–7.
- [23] W. Stallings, *Cryptography and Network Security: Principles and Practice*, 6th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall Press, 2014.

# Pemanfaatan Fasilitas IT untuk Jaringan Pencahayaan LED di Smartroom

Mauludi Manfaluthy dan Sinka Wilyanti  
Teknik Elektro – Institut Teknologi dan Kesehatan Jakarta  
Jl. Raya Jatiwaringin No 278 Pondok Gede, Jakarta Timur 17411  
e-mail: mauludi@itkj.ac.id

**Abstrak**—Pada penelitian ini, diusulkan lampu penerangan pada *smartroom* dengan teknologi *Power over Ethernet* (PoE). Fasilitas IT yang dimaksud adalah PoE Switch, kabel *Ethernet* dan jaringan LAN. *Smartroom* dalam penelitian ini didefinisikan sebagai ruangan *meeting* di gedung bertingkat yang tersedia jaringan LAN. Penelitian ini termotivasi akibat masih banyak lampu penerangan yang menggunakan listrik AC, padahal ke depan penggunaan sumber AC akan semakin berkurang, walaupun dengan PoE switch sumber tegangan masih menggunakan AC, namun dapat mengeliminir titik lampu yang masih menggunakan AC konvensional. Sistem infrastruktur bangunan cenderung dikembangkan menuju protokol IP. Suatu area dimana area kelistrikan menjadi sepenuhnya terintegrasi ke dalam jaringan IP. Ini dimungkinkan melalui penggunaan LED dengan tegangan rendah dan arus rendah. Namun, untuk memanfaatkan keuntungan teknis dan ekonomi yang ditawarkan oleh solusi pencahayaan LED, Penambahan sensor cahaya dan gerak sebagai switch akan menambah *smartroom* menjadi lebih lengkap. Hasil penelitian didapatkan biaya yang lebih murah ketimbang penggunaan tanpa PoE.

**Kata kunci:** POE, arduino, LED, sensor

**Abstract**—In this research, proposed lighting in smartroom with PoE technology (Power over Ethernet). IT facility is PoE Switch, Ethernet Cable and LAN network. Smartroom in this study is defined as meeting room in a high rise building that has LAN network. This research is motivated by many lighting lamps that use AC power, when the future use of AC source will be reduced, even with PoE switch voltage source still use AC, but can eliminate the pitch of light that still uses conventional AC. Building infrastructure systems tend to be developed towards IP protocols. An area where the electrical area becomes fully integrated into the IP network. This is made possible through the use of LED with low voltage and low current. However, in order to utilize the technical and economic advantages offered by LED Lighting Solutions, the addition of light sensor and motion as a switch will make it more complete. The results of the study obtained a cheaper cost than the use without PoE.

**Keywords:** POE, arduino, LED, sensor

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

*Light Emission Diode* (LED) semakin menggantikan sumber cahaya konvensional di tempat kerja. Khususnya di gedung perkantoran modern di mana penekanan khusus ditempatkan pada ergonomi, kenyamanan dan efisiensi energi, solusi pencahayaan LED sangat diperlukan.

LED dapat diatur sedemikian rupa sehingga pencahayaan juga dapat disesuaikan tanpa masalah dengan persyaratan yang sering berubah. Di atas segalanya, LED dicirikan oleh efisiensi energi yang tak tertandingi, namun. Mereka tidak membutuhkan tegangan pengapian tinggi seperti lampu fluoresen konvensional dan dapat dioperasikan pada tegangan rendah dengan energi yang dipasok oleh *Power-over-Ethernet* (PoE) atau *Power-over-Ethernet Plus* (PoE +), tentunya tergantung pada desain dan kebutuhan POE yang akan digunakan [1].

Suplai energi ke perangkat terminal menggunakan *Power-over-Ethernet* distandardisasi di seluruh dunia.

Berbeda dengan dunia kelistrikan klasik, tidak ada perbedaan yang secara umum mengenai catu daya. Catu daya disediakan melalui koneksi data dan menggunakan prinsip suplai perangkat terminal yang sudah terbukti dengan tegangan DC. Dua varian saat ini tersedia: *Power-over-Ethernet* (PoE) sesuai dengan IEEE 802.3af bekerja dengan tegangan DC 48 V. Daya maksimum 12,95 W tersedia di perangkat terminal. *Power-over-Ethernet Plus* (PoE +) sesuai dengan IEEE 802.3at biasanya bekerja dengan tegangan DC 54 V. Maksimum 25,5 W tersedia di perangkat terminal. Ketika catu daya ke perangkat PoE-diaktifkan langsung melalui koneksi data, koneksi 220 V tidak diperlukan lagi. Dengan POE yang memenuhi syarat berarti tidak diperlukan lagi instalasi dan pemeliharaan yang sering, baik untuk perangkat atau untuk infrastruktur yang diperlukan. Pencahayaan sepenuhnya terintegrasi dalam infrastruktur untuk sistem bangunan terdistribusi dan menjadi bagian dari sistem TI (teknologi informasi). Keterbatasan daya perangkat yang disediakan (peralatan

sumber daya atau PSE - *power source equipment*) dan *chip* pencahayaan LED memberikan ekstra keselamatan. Jika menggunakan UPS, seperti yang umum di TI, pencahayaan juga berfungsi jika listrik mati [1].

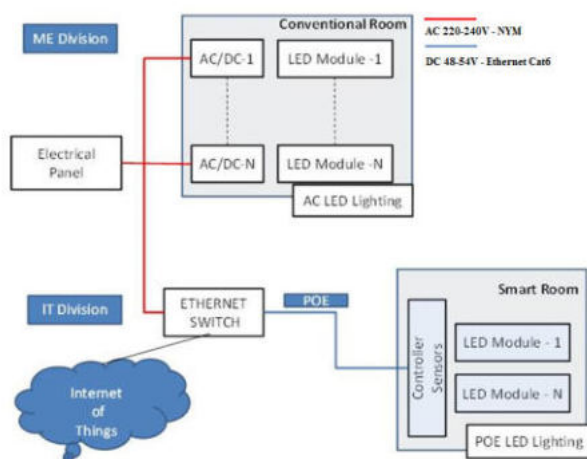
Dalam penelitian ini kami akan menerapkan *Power over Ethernet* untuk mengaktifkan lampu LED di *smartroom*, menggabungkan dengan *switch* Ethernet, sensor dan pengontrol untuk mencapai pencahayaan yang efisien di ruangan pintar. Kondisi sensor cahaya dan sensor gerak akan menentukan kapan cahaya harus dinyalakan atau dimatikan. Selain itu kita bisa melakukan *remote* dari internet untuk mematikan dan menyalakan lampu LED. Kami percaya pemanfaatan tegangan DC dalam waktu dekat menjadi dominan karena itu pencahayaan dengan catu daya DC akan menjadi kebutuhan dalam waktu dekat ini.

## II. METODE

Manfaat utama dari PoE dapat dibagi dalam kedua pendekatan. Biaya instalasi dapat dikurangi secara Ada banyak keuntungan teknis pencahayaan LED dengan penggunaan Ethernet kabel yang terhubung dari sakelar PoE dibanding koneksi AC khusus terpisah yang berasal dari stop kontak, termasuk pencahayaan yang dapat dipantau dan dikontrol melalui aplikasi via internet. Pengkabelan ulang dari sistem pencahayaan LED tidak lagi diperlukan di masa depan, dan seorang profesional TI mampu menangani pemasangan LED dengan memanfaatkan POE.

Jasa instalasi akan berkurang dramatis karena pengurangan jumlah kabel tembaga mahal yang diperlukan, dan karena sifat pemasangan kabel data '*plug and play*' memerlukan input minimal dari kontraktor listrik spesialis.

Hal ini dapat menghemat ruang juga, dengan sedikit kebutuhan untuk panel distribusi yang besar dan kekurangan infrastruktur vertikal/plafon/langit-langit yang sempit. Beberapa data yang berasal dari instalasi praktis menunjukkan penghematan biaya hingga 30% dimungkinkan dalam sebuah bangunan komersial, dibandingkan dengan sistem penggunaan kabel listrik.



Gambar 1. Blok diagram konvensional AC LED dan POE LED

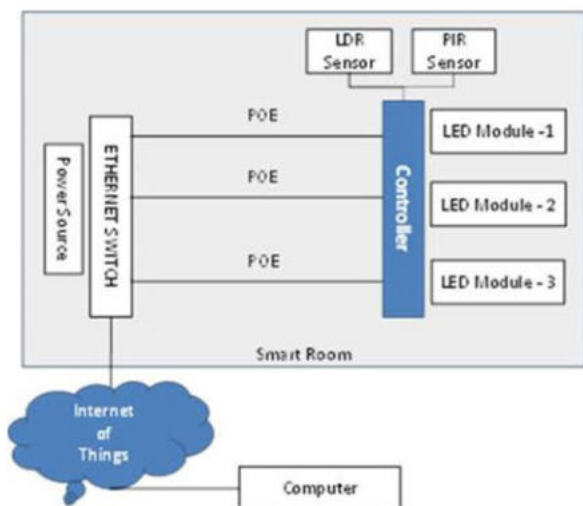
Sistem PoE tersebut telah menghasilkan penghematan hingga 11% dibandingkan dengan sistem LED AC 220-240V, dan 46% dibandingkan dengan skema fluoresen T5 yang telah dipasang menggunakan driver LED dengan kerugian/loss 3%, dibandingkan dengan 10–13% untuk driver LED 220–240V [2].

Jawaban sebenarnya apakah PoE tepat untuk sebuah gedung komersial (Kantor, apartemen, hotel) dapat ditemukan dengan melihat kebutuhan para penghuni. Pertimbangan harus diberikan kepada kompleksitas kebutuhan itu, bagaimana sistem itu harus dikelola, siapa yang akan mengelola, keahlian apa yang dibutuhkan, dan apa tujuan bisnis yang harus dicapai dengan menginstalnya.

Gambar 1 berikut adalah gambaran bagaimana diagram pengkabelan antara lampu AC konvensional dan lampu LED PoE.

Ide yang diusulkan adalah untuk memanfaatkan fasilitas sistem TI seperti Ethernet Switch, kabel Ethernet yang mendukung PoE. Sebagian besar AC LED menggunakan sistem daya AC untuk memasok unit catu daya, masing-masing LED membutuhkan catu daya. Ketika kita membangun ruangan pintar/*smartroom*, berarti Ethernet sudah terpasang di ruangan untuk sistem TI sehingga kita dapat menggunakan untuk menggabungkan pencahayaan LED. Kami melakukan perbandingan biaya untuk menunjukkan keuntungan ekonomis dari pencahayaan LED dengan PoE yang diusulkan ini. Pada sub-bab berikutnya akan ditunjukkan perbandingan biaya ini.

Sebagai gambaran mengenai LED-Module pada Gambar 2 adalah sebagai berikut, dalam perencanaan suatu modul LED, kita dapat menggunakan data intensitas yang dapat berasal dari *photometric file* IES (*illuminating Engineering Society*) yang dibuat dari pengukuran goniometrik atau dapat berasal dari simulasi tools. Ada banyak LED *chip* yang sesuai dengan kecerahan tinggi di pasaran, beberapa di antaranya secara khusus dijual untuk aplikasi penerangan jalan. Di sini kita memilih salah satu *chip* dari pabrikan lampu LED, menggunakan opsi spektrum warna putih sejuk (*Cool White*) dengan suhu



Gambar 2. Blok diagram POE LED

warna 5700K. Lembar spesifikasi menunjukkan bahwa LED ini dapat memberikan 130 sampai 310 lumen fluks optik saat digerakkan pada arus 350 mA sampai 1 A, pada suhu sekitar 25°C. Selain lembar spesifikasi, pabrikan menyediakan model CAD eksterior LED, serta file sinar, distribusi intensitas, dan informasi terkait lainnya [3].

Untuk meningkatkan kemampuan ruang cerdas/*smartroom*, kami menambahkan sensor dan pengontrol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 di atas. Sistem ini dapat menggunakan dua sensor, seperti sensor PIR dan sensor LDR. Sensor inframerah pasif dapat bekerja ketika interaksi manusia dapat dikenalkan di ruangan. Sensor LDR dapat diatur nilai intensitas cahaya sesuai dengan intensitas cahaya lingkungan sekitar, dengan demikian dapat menyesuaikan intensitas cahaya ruangan dengan intensitas pencahayaan sesuai dengan kecerahan lingkungan sekitar. Dengan menggunakan dua sensor ini intensitas cahaya ruangan dapat secara otomatis disesuaikan dengan memperkenalkan interaksi manusia dan kondisi lingkungan eksternal. Desain sistem berdasar pada Arduino *controller* sistem pencahayaan LED dan berbagai sensor yang digunakan dalam sistem ini seperti sensor PIR, sensor LDR. Semua output analog sensor ini merupakan antarmuka ke pengontrol dengan menggunakan konverter analog ke digital dan rangkaian pengkondisi sinyal. Dengan mengumpulkan semua informasi dari sensor, sistem pencahayaan LED dapat mengontrol intensitas cahaya LED ruangan dan juga mengendalikan lampu LED ON-OFF. Dan semua output dari sensor ini dapat di-*display*-kan pada sebuah *dashboard* melalui internet dan perangkat lunak platform IoT (*Internet of Things*). Sensor PIR dan LDR dihubungkan ke pengontrol dengan menggunakan antarmuka konfigurasi pin. Koneksi ke Modul LED menggunakan kabel PoE (*Power over Ethernet*). Penggunaan sensor PIR dapat berfungsi ketika manusia atau interaksi hewan apa pun di dalam ruangan. Ketika aktivitas manusia dapat diperkenalkan di dalam ruangan maka output modul sensor PIR menjadi tinggi dan lampu LED harus AKTIF. Ketika tidak ada interaksi manusia dapat dideteksi di ruangan maka output modul sensor PIR menjadi tingkat rendah dan lampu LED harus OFF. Pengerjaan sensor LDR seperti sensor LDR dapat menyesuaikan intensitas cahaya LED sesuai dengan intensitas cahaya ruangan. Ketika intensitas sinar matahari ruangan rendah maka sensor LDR dapat menyesuaikan intensitas cahaya LED atau meningkatkan intensitas cahaya LED. Ketika intensitas sinar matahari ruangan tinggi maka sensor LDR dapat mematikan lampu LED [4]–[6].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Power Over Ethernet (PoE)

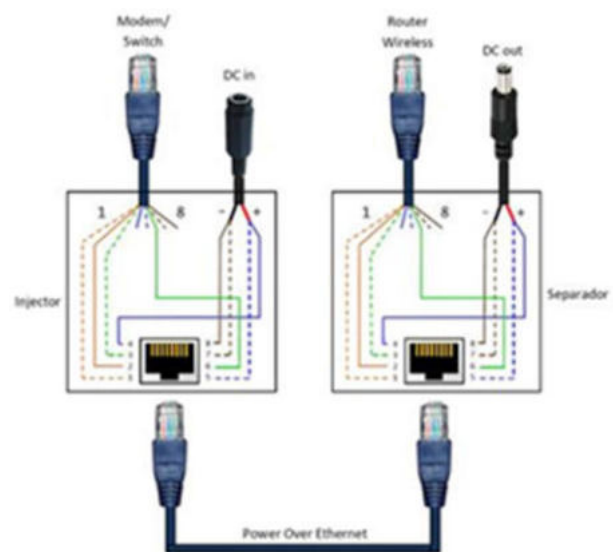
Penggunaan PoE meningkat akibat pengembangan standar IEEE802.3af dengan demikian lebih banyak produsen/manufaktur yang mengaplikasikan PoE pada perangkat-perangkat mereka. Keuntungan menggunakan

PoE sebagai sumber daya sangatlah menguntungkan, termasuk diantaranya, tidak memerlukan sumber listrik AC dan tidak ada kabel utama tegangan tinggi yang berbahaya, peralatan dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain tanpa harus memasang sumber daya baru, peralatan dapat dimatikan atau diatur ulang dari jarak jauh, listrik dapat berasal dari sumber yang sama tanpa tambahan kabel dan menggunakan satu konektor 8P8C pada suatu perangkat dapat digunakan untuk mengirimkan data dan daya sekaligus secara mudah.

Setiap sistem PoE memiliki setidaknya dua bagian, sumber daya yang sering disebut sebagai “PSE” atau *Power Sourcing Equipment* dan perangkat di ujung beban dari sistem yang disebut “PD” atau *Powered Device*. PSE dapat dihubungkan ke *switch* jaringan IT, atau ke injektor PoE. Sayangnya tidak semua perangkat dilengkapi dengan PD, *Wifi Access Point*, kamera IP, IP Phone adalah perlengkapan yang umumnya dilengkapi PD yang disediakan oleh manufaktur [5], [6]. Dalam penelitian ini, pada Modul LED tidak tersedia PD; oleh karena itu kami melakukan cara alternatif dengan menggunakan POE *passive injector*. Gambar 3 menunjukkan bagaimana POE terhubung ke Modul LED.

Untuk menganalisis kemampuan PoE, kami menjalankan tiga skenario untuk menghidupkan modul lampu LED 10W dan 25W. Akibat efisiensi daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh panjang kabel Cat6, kami menggunakan tiga panjang kabel dengan rata-rata 25m, 50m, dan maksimum 100m untuk masing-masing lampu 10W dan 25W.

Mengacu kembali ke Tabel 1, efisiensi sistem tergantung pada panjang kabel dan, tentu saja, daya pada perlengkapan pencahayaan/modul LED. Untuk kebutuhan LED daya yang lebih tinggi, efisiensi dapat turun secara signifikan. Oleh karena itu agar menguntungkan untuk menjaga efisiensi agar daya listrik tetap rendah. Ini juga memungkinkan penggunaan daya yang lebih rendah dari module LED. Karena itu, lampu LED 20W (1800 lm) kira-



Gambar 3. Gambar POE Injector

kira setara dengan bohlam halogen 200W, jadi ini lebih baik penggunaannya dibanding lampu konvensional.

Tegangan suplai yang diukur pada sisi PSE dari kabel jaringan umum berkisar dari 36 hingga 57 VDC. Namun kita harus melihat pada kenyataannya tegangan nominal 48 VDC lebih banyak digunakan karena sebagian besar *power supply* untuk penerangan LED yang tersedia di pasaran digunakan untuk men-supply lampu 36, 40, dan 50 Watt. Salah satu keuntungan dari modul LED adalah dengan memberikan watt yang lebih tinggi untuk menghidupkannya, namun konsumsi daya lebih rendah dari input. Hal ini disebabkan modul LED diimplementasikan dengan *chip* LED yang didalamnya sudah terdapat dioda zener sebagai perlindungan tegangan.

Sebagai akibat dari hilangnya kabel resistif DC, tegangan pada sisi PSE kabel akan selalu terukur lebih besar daripada tegangan pada sisi LED dari kabel jaringan. Sehingga membuat pengukuran yang dilakukan pada ujung modul LED dari kabel jaringan merupakan pengukuran yang paling kritis. Jika level tegangan ini turun selama pengoperasian, lampu LED dapat terpengaruh. Kita harus mengukur dan mencatat tegangan DC yang dikirimkan ke sisi LED dengan voltmeter standar saat memasang sistem PoE baru dan saat memecahkan masalah sistem yang ada.

Ada pengukuran pasokan PoE yang sering diabaikan, dan yaitu pengukuran riak AC pada pasokan dan kadang-kadang sinyal AC mengganggu yang dapat mempengaruhi operasi lampu LED dan bahkan dapat menyebabkan kesalahan ketika data transmisi bekerja pada PoE. Sinyal AC ini akan tertumpang di atas tegangan DC sebagai derau dan jika cukup parah dapat mengganggu pencahayaan Modul LED. Seringkali kita tidak bisa mendeteksi sinyal AC, tetapi jika itu cukup besar maka akan menjadi masalah. Jadi kita harus mengalihkan Voltmeter ke sisi AC dengan rentang 50 VAC dan mengukur tegangan AC yang mengganggu dan memastikan pengukuran interferens dari tegangan AC [7], [8].

### B. Sensor dan Pengontrol

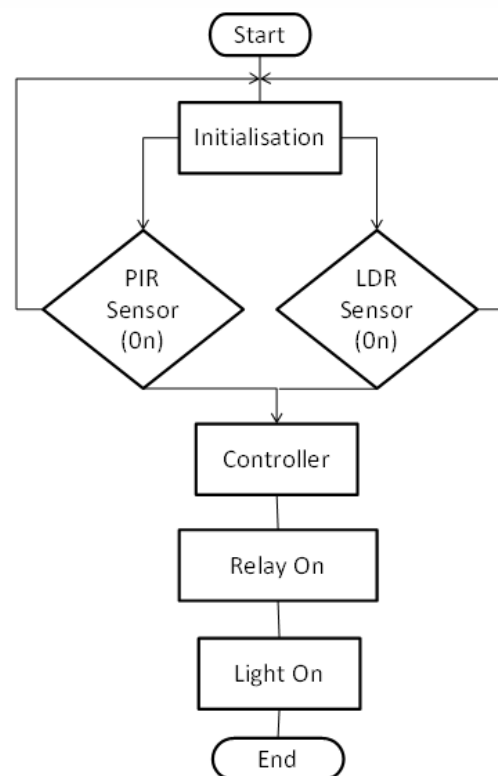
Ketika kedua sensor seperti LDR dan sensor PIR memenuhi persyaratan kondisi yang diberikan maka lampu LED harus menyala, jika tidak lampu LED akan mati (Tabel 2). Kedua kondisi sensor yang diberikan

adalah sebagai berikut:

- Jika seseorang berada di ruangan dan intensitas cahaya tinggi maka lampu LED MATI
- Jika seseorang berada di ruangan dan intensitas cahaya rendah maka lampu LED HIDUP
- Jika seseorang tidak berada di ruangan dan intensitas cahaya tinggi maka lampu LED MATI
- Jika seseorang tidak berada di ruangan dan intensitas cahaya rendah maka lampu LED MATI

Gambar 4 adalah algoritma sistem yang diusulkan. Beberapa analisis sensor dan pengontrol yang diusulkan adalah [5]:

- Sistem yang diusulkan menyediakan kontrol otomatis berdasarkan kecerahan ruangan.
- Sistem yang diusulkan dapat dirancang untuk penggunaan maksimum lampu LED.
- Sistem yang diusulkan dapat dirancang untuk memiliki kemampuan komunikasi dan kontrol kolektif menggunakan teknologi *Internet of things* baik nirkabel atau *wireline*.
- Pengurangan konsumsi daya dan menghemat energi.
- Sistem yang diusulkan memberikan kontrol otonom berdasarkan kesadaran situasi dan pergerakan pengguna.
- Usulan kerangka kerja dapat dirancang untuk meningkatkan baik pemenuhan kebutuhan pengguna dan kebutuhan hemat energi.
- Sistem yang diusulkan meningkatkan masa pakai perangkat.



Gambar 4. Algoritma pengaturan PIR dan LDR

Tabel 1. Perhitungan estimasi POE untuk LED Module

| The LED Driver  |                |                    | POE Ethernet Cable (Cat 6) |         | LED Module |
|-----------------|----------------|--------------------|----------------------------|---------|------------|
| Input Power (W) | Efficiency (%) | Output Voltage (V) | Cable length (m)           | R (Ohm) | Power (W)  |
| 11,82           | 90             | 48                 | 25                         | 1,68    | 10,4       |
| 27,2            | 90             | 48                 | 25                         | 1,68    | 25,6       |
| 12              | 90             | 48                 | 50                         | 3,35    | 10,7       |
| 27              | 90             | 48                 | 50                         | 3,35    | 25,6       |
| 11,8            | 90             | 48                 | 100                        | 6,7     | 10,5       |
| 26,8            | 90             | 48                 | 100                        | 6,7     | 25,7       |

### C. Analisa perbandingan biaya

Berikut ini adalah hasil perbandingan biaya yang mengacu pada beberapa sudut pandang/ruang lingkup: instalasi, perangkat kontrol, sensor, dan akses internet ((Tabel 3). Kami membandingkan LED dengan AC konvensional dan POE, dengan jenis lampu LED *down light*.

## IV. KESIMPULAN

Pencahayaan PoE adalah solusi hemat biaya untuk banyak aplikasi indoor seperti kantor, *data center*, rumah sakit, gedung bertingkat dan sekolah. Karena sifat arsitekturnya dengan menggunakan kabel Ethernet, ini akan bekerja paling baik ketika teknologi ini merupakan bagian dari pertimbangan desain dan spesifikasi untuk konstruksi baru atau proyek renovasi mendalam. Keterbatasan solusi pencahayaan PoE ini karena kemampuan daya *switch* Ethernet dengan teknologi terakhir berdasar pada 802.3af, sumber daya hanya hingga 50-60 Watt.

Teknologi PoE menghilangkan semua penyambungan sirkuit tegangan tinggi di langit-langit dan setiap saluran logam yang terkait yang diperlukan untuk menjalankan kabel tegangan tinggi (220-240VAC) tersebut. Dengan mempertimbangkan manfaat ini bersama dengan biaya tenaga kerja instalasi tegangan rendah, instalasi pencahayaan PoE cenderung efektif dibanding instalasi pencahayaan konvensional. Penghematan yang sebenarnya bervariasi untuk setiap segmen market dan sangat dipengaruhi oleh biaya tenaga kerja.

Sistem solusi pencahayaan PoE ini menawarkan kontrol sepenuhnya untuk luminair, karena pengendali mendukung pengalamatan secara *broadcast*, pengelompokan dan individu, selain itu juga dapat dikontrol melalui IoT.

## REFERENSI

- [1] Light provided by the network MICROSENS GmbH & Co. KG – Küferstr. 16 – 59067 Hamm/Germany 1.
- [2] Rodrigo, “A. Taking control approaches to power over Ethernet in lighting”. CISBE Journal, August 2016; 1(1): 32-33.
- [3] Manfaluthy, M,” Kesiapan Industri Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) domestic dalam menunjang program NAWACITA”. Proceeding Seminar Nasional Teknologi 2018 Fakultas Teknik Universitas Krisna Dwipayana Jakarta.
- [4] Aiman Z, Lim Mei S, Norfadzlia, Mohd Y., “Web Based Home Security and Automation System”. International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES). Vol. 5, No. 2, July 2016, pp. 92-98 ISSN: 2089-4864.

Tabel 2. Input PIR serta LDR dan *output* LED module

| PIR | LDR | LED Module |
|-----|-----|------------|
| ON  | ON  | OFF        |
| ON  | OFF | ON         |
| OFF | OFF | OFF        |
| OFF | ON  | OFF        |

Tabel 3. Analisa perbandingan biaya penggunaan AC

| Perbandingan Biaya LED <i>Down Light</i> |                              |                     |                      |
|------------------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------|
| Pekerjaan                                |                              | LED                 |                      |
| Kegiatan                                 | Deskripsi                    | AC                  | POE                  |
| Instalasi Lampu LED                      | Rumah lampu                  | IDR 200K            | IDR 200K             |
|                                          | Power Supply / Driver        | Termasuk            | Termasuk             |
|                                          | Stop Kontak dan Switch       | Termasuk            | IDR 50 (POE Port )   |
|                                          | Kabel                        | IDR 200K (25m, NYM) | IDR 150K (25m , Cat) |
|                                          | Jasa                         | IDR 500K            | IDR 500K             |
| Pengontrol dan Sensor                    | Sub Total                    | IDR 900K            | IDR 9 00K            |
|                                          | Biaya Pengontrol dan Sensor  | IDR 750K            | IDR 350K             |
|                                          | Instalasi kabel dan komponen | IDR 100K            | Tidak diperlukan     |
|                                          | Jasa                         | IDR 250K (2 Hours)  | IDR 75K (30 Min)     |
|                                          | Sub Total                    | IDR 110K            | IDR 425K             |
| Internet Access                          | Internet cost ( 10 Mbps )    | IDR 400K            | IDR 400K             |
|                                          | Instalasi kabel dan komponen | IDR 100K            | Tidak diperlukan     |
|                                          | Jasa                         | IDR 100K            | IDR 25K              |
|                                          | Sub Total                    | IDR 600K            | IDR 425K             |
|                                          | TOTAL                        | IDR 2600K           | IDR 1750K            |

- [5] Johnson I. Power of Ethernet meets LED Lighting, Technical Eco Smart. Neca Eco- Smart. Report number: June 2016, Issue 2.
- [6] Girish V. Chavan, Anil. W., “Daylighting Control System for LED Based Energy-Efficient Lighting Systems”. The International Journal of Science & Technoledge, September 2016, Vol 4, Issue 9.
- [7] IEEE 802.3af Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Data Terminal Equipment (DTE) Power via Media Dependent Interface (MDI).
- [8] Engineering Prototype Report (EPR)–86: 6.6 W, Multi-Class Powered Device (PD) for Power over Ethernet (PoE) Using DPA423G, February 2006, Power Integrations.

# Pengembangan Sistem Presensi Menggunakan Quick Response Code Dinamis untuk Madrasah Aliyah Al Mukhlisin Bandung

Erwin Susanto<sup>1</sup>, Doan Perdana<sup>1</sup>, Arif Indra Irawan<sup>1</sup>, dan Rahmat Yasirandi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>2</sup>Fakultas Informatika, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi No. 1, Terusan Buah Batu, Sukapura, Dayeuhkolot, Bandung, Jawa Barat 40257  
e-mail: erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**—Teknologi *Quick Response (QR) code* merupakan pengembangan teknologi *barcode* dengan kemampuan menyimpan berbagai informasi seperti *URL*, nomor telepon, pesan *SMS* ataupun teks lainnya. Pada awalnya, teknologi ini digunakan untuk pelacakan produk komponen kendaraan pada industri otomotif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem presensi otomatis dengan memanfaatkan teknologi *QR Code*, sehingga proses presensi lebih efektif jika dibandingkan dengan presensi secara manual karena memanfaatkan teknologi digital. Implementasi sistem presensi dengan *QR Code* dilaksanakan di sekolah Madrasah Aliyah Al Mukhlisin Bandung, dengan tujuan untuk membantu mengatasi sebagian dari permasalahan administrasi sekolah sekaligus sebagai kegiatan pengabdian kepada masyarakat sekitar kampus Universitas Telkom Bandung. Sistem yang dibangun berbentuk aplikasi yang di-install di setiap *smartphone* guru dan setiap siswa yang hadir dapat melakukan presensi sebelum pelajaran dimulai. Sistem aplikasi yang dikembangkan memiliki keunggulan pada citra *QR Code* yang dibangkitkan, yang secara dinamik berubah-ubah setiap kali pengguna login. Hasil pengembangan dan pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun dapat menjadi solusi bagi proses presensi melalui penerapan teknologi informasi dan komunikasi menggunakan *QR Code*. Pengujian kualitas layanan *QoS* pada sistem yang dibangun sudah sesuai dengan standar yang direkomendasikan oleh *International Telecommunication Union (ITU)*. Survey terhadap pengguna juga dilakukan untuk menguji kelayakan sistem aplikasi.

**Kata kunci:** *QR code, barcode, presensi, otomatis, kualitas layanan*

**Abstract**—QR Code is the development of barcode technology that is able to store various kinds of information such as URLs, telephone numbers, SMS messages or other texts. At first, this technology was used for tracking vehicle parts in automotive industry. This study aims to develop an automatic presence system by utilizing QR Code technology, so that the presence process is more effective when compared to the presence manually since it was using digital technology. The implementation of the presence system with a QR Code was carried out at the Madrasah Aliyah Al Mukhlisin Bandung, to help solving some problems in school administration. The system was built in the form of an application installed on each teacher's smartphone. Every student tapped their QR code image to confirm their attendance before the lesson begins. The advantage of this application was that it has an advantage on generated image of QR Code changed every user login. The results of development and testing showed that the developed system can be a solution for the presence process through the application of ICT technology with a QR Code. Testing of Quality of Service (QoS) on developed system was appropriate with ITU recommendation. Survey of users was applied to check the properness of application.

**Keywords:** *QR code, barcode, presence list, automatic, quality of service*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa ElektriKA. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Kode tanggap cepat (*Quick Response Code*), populer dengan penyebutan *QR Code* merupakan kode pengenalan obyek atau suatu produk yang pertama kali dikembangkan oleh perusahaan Jepang, *Wave Denso Company* [1] berupa sebuah kode matriks atau *barcode* dua dimensi. Sekarang ini, teknologi *QR code* telah banyak digunakan untuk identifikasi dan pengenalan berbagai produk,

termasuk sistem pembayaran secara *online* dan digital [1], [2]. Pemanfaatan fitur-fitur aplikasi yang tersedia di *handset* cerdas (*smartphone*) telah berkembang sedemikian pesat, termasuk untuk pemantauan dan pengendalian perangkat lainnya seperti kendali robot menggunakan sensor *accelerometer* yang tersedia sebagai fitur *smartphone* [3]. Seiring perkembangan teknologi *handset* cerdas (*smartphone*), *QR code* telah banyak digunakan dalam aplikasi lainnya seperti promosi produk,

identitas pembayaran listrik, dan pembayaran tagihan pulsa ponsel. Karena keterbatasan pengenalan secara visual, memperoleh pesan *QR code* melalui penglihatan manusia sangat sulit dilakukan. Sebagai gantinya, diperlukan pembacaan citra *QR code* yang dibangkitkan secara acak oleh mesin. Upaya untuk memperbaiki performansi visual, telah dilaksanakan dengan teknologi *halftone* dan *visual cryptography* oleh [4]. Pemanfaatan *QR code* ini melengkapi aplikasi *monitoring* dan otomasi lainnya seperti sistem digital pintar [5] dan penggunaan *Bluetooth* [6].

Aplikasi *QR code* membutuhkan *smartphone* dengan sistem operasi *Android* yang bersifat *open source* menggunakan kernel *Linux* [7]–[9], yang memungkinkan pengembangan *coding* yang biasanya menggunakan bahasa pemrograman *Java* [10], termasuk aplikasi untuk membaca citra yang di-generate menggunakan *QR code reader*. Aplikasi ini juga dapat dikembangkan melalui *Android Software Development Kit (SDK)* yang mempermudah bagi siapapun untuk mengembangkannya. Informasi yang dapat dimuat diantaranya adalah alamat URL, nomor telepon maupun informasi lainnya baik berupa teks, grafik, maupun video. Untuk memudahkan lalu lintas data, diperlukan *server* sebagai penyimpan data induk (*database*), yang pada penelitian ini memanfaatkan aplikasi *server Firebase* [11]. Penjelasan mengenai *Android*, bahasa pemrograman *Java* dan *Firebase* secara singkat, dituliskan berikut ini.

Bahasa pemrograman *Java* merupakan pengembangan dari bahasa *C/C++* yang diperkenalkan oleh *Sun Microsystems Java* sekitar tahun 1990 untuk aplikasi perangkat lunak yang dapat dijalankan baik secara *standalone* maupun jaringan, termasuk berbagai aplikasi berbasis *Android*. Adapun *Android*, pertama kali dikembangkan oleh *Android Inc.* di *Silicon Valley*, merupakan sistem operasi *open source* yang memungkinkan pengembangan dan modifikasi oleh siapa pun kemudian didistribusikan berbagai pihak seperti pembuat aplikasi perangkat lunak dan operator jaringan nirkabel berbasis kernel *Linux*. Sedangkan *Firebase*, merupakan salah satu *Backend as a Service* yang saat ini dibawah kepemilikan *Google*, dan disediakan untuk mempermudah pengembang aplikasi di sisi *server*.

Presensi umumnya menggunakan kertas secara manual, menggunakan teknologi *Radio Frequency Identification (RFID)* sebagai pengenalan maupun dengan *QR code* yang memanfaatkan *smartphone*. Karena penggunaan *smartphone* sedemikian meluas dan memungkinkan pengembangan aplikasi *QR code* maka aplikasi ini pun berpotensi untuk digunakan pada sistem presensi kehadiran siswa-siswi. Hal ini dikarenakan bahwa permasalahan presensi kehadiran siswa-siswi di kelas pelajaran yang dihadapi Madrasah Aliyah Al Mukhlisin, sama seperti yang dialami oleh kebanyakan sekolah dan pesantren pada umumnya, yakni masih menggunakan kertas sebagai media pencatatan kehadiran siswa [12]. Hal ini tentu dirasa kurang efisien dan berbiaya tinggi, sehingga di masa mendatang perlu diganti dengan sistem

presensi tanpa kertas (*paperless*). Metode presensi tanpa kertas ini akan berdampak positif bagi permasalahan lingkungan, disertai nilai tambah kecepatan pengumpulan data siswa baik yang hadir maupun yang tidak hadir. Beberapa kasus yang selama ini seringkali terjadi dengan penggunaan media kertas sebagai pencatatan kehadiran, diantaranya adalah memiliki beberapa kelemahan seperti membutuhkan banyak kertas yang secara tidak langsung berdampak pada kelangsungan lingkungan dan adanya potensi terjadi kesalahan *input* data presensi. Mengingat pentingnya pencatatan kehadiran tersebut, maka diperlukan suatu sistem yang membantu mempermudah pengelolaan data presensi siswa sehingga dapat membantu guru maupun orang tua untuk melakukan evaluasi terhadap kehadiran siswa, termasuk sebagai upaya peningkatan mutu pendidikan yang didukung oleh efektifitas sistem administrasi.

Teknis aplikasi presensi siswa dengan *QR code* ini, dijelaskan sebagai berikut. Sebelum pelajaran dimulai siswa melakukan presensi dengan melakukan pemindaian (*scanning*) citra *QR code* miliknya ke modul kamera yang tersedia. Setelah selesai guru dapat memeriksa siapa saja yang hadir pada aplikasi yang dibuka oleh guru kelas di *smartphonanya*.

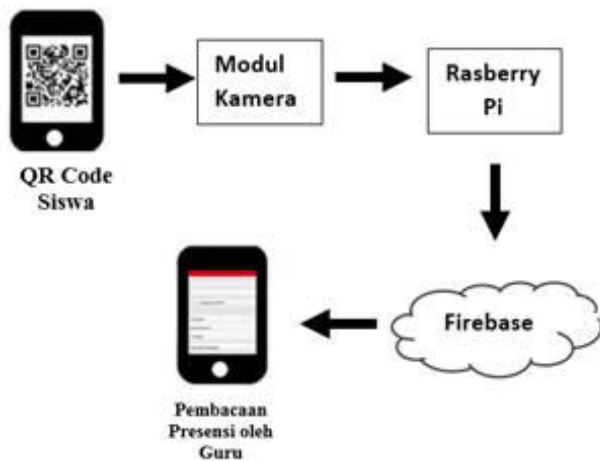
Sekalipun aplikasi identifikasi, pemantauan dengan memanfaatkan *QR code* telah mulai berkembang dan banyak dijumpai, pada pengembangan sistem presensi ini, citra *QR code* yang dihasilkan *smartphone* masing-masing siswa untuk dipindai (*scanned*) senantiasa berubah acak dan dinamik setiap kali siswa *login* untuk memulai pelajaran di kelas. Ini merupakan kontribusi penelitian ini, dengan tujuan bahwa hanya siswa yang hadir saja dan melakukan *tapping* citra pada *smartphone* ke modul kamera yang terekam hadir. Hal ini dapat menghindari kecurangan dengan menitipkan presensi, misalnya. Tentu akan berbeda jika citra *QR code* bersifat statis sehingga bisa diduplikasi dan dapat dijadikan obyek yang dipindai.

## II. DESAIN SISTEM

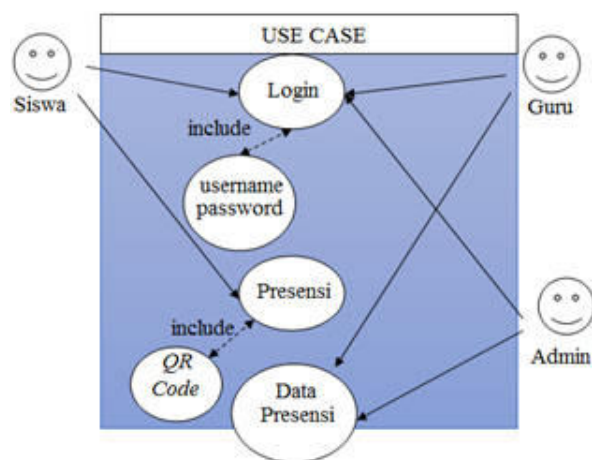
Antar muka pengguna sistem presensi dengan *QR code* dan alur kerja sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Gambar 1 menampilkan pembacaan *QR code* siswa dengan modul kamera yang terkoneksi dengan mikrokomputer *Raspberry Pi* sebagai *gateway* ke *database server Firebase* secara *cloud*. Penggunaan *microcomputer Raspberry Pi* pada penelitian ini, selain untuk proses pengolahan data dan kendali sistem juga memungkinkan pengukuran kualitas layanan komunikasi antara *client* dengan *server Firebase*, seperti pengukuran *QoS* pada *Virtual Private Network* untuk jaringan nirkabel [13].

Adapun hubungan antara pengguna, guru, siswa, dan admin dijelaskan pada antarmuka pengguna, terlihat pada Gambar 2.

Pertama, guru dan siswa mengunduh aplikasi *QR Mobillence* dari alamat [bit.ly/SosialisasiQR](https://bit.ly/SosialisasiQR) melalui *smartphone Android*. Selanjutnya, jika pertama kali



Gambar 1. Alur kerja sistem presensi dengan aplikasi *QR code*



Gambar 2. Antarmuka pengguna sistem presensi dengan *QR code*

menggunakan maka *user* baik siswa maupun guru melakukan pendaftaran atau registrasi. Tampilan ikon **Guru-QR Mobillence** dan jendela aplikasinya ditunjukkan pada Gambar 3.

### III. METODE DESAIN SISTEM PRESENSI

Beberapa penelitian pengembangan sistem presensi sebelumnya, diantaranya adalah aplikasi absensi mahasiswa [14] dan sistem absensi karyawan secara *online* menggunakan platform *Android* [15]. Penelitian ini mengembangkan pemanfaatan citra *QR code* yang unik untuk setiap siswa untuk setiap pelajaran yang dihadapi.

Pada saat kelas mata pelajaran dimulai, maka siswa-siswa melakukan pemindaian citra *QR code* yang di-generate oleh masing-masing *smartphone* siswa pada modul kamera yang terkoneksi dan tersimpan di *database server Firebase*.

*Pseudo code* untuk membangkitkan citra QR secara dinamik dan acak dengan *field database* nama dan nispn siswa, tercantum berikut:

```

Import com.google.zxing.BarcodeFormat;
import com.google.zxing.MultiFormatWriter;
import com.google.zxing.WriterException;
  
```



Gambar 3. Icon *Guru-QR mobillence* dan *username-password* untuk login aplikasi

```

import com.google.zxing.common.BitMatrix;
import com.journeyapps.barcodescanner.BarcodeEncoder
  
```

#### Program Qr\_code

#### Kamus

nama, nispn, uname = string

#### Deskripsi Algoritma

Membaca variabel nama dari firebase

Membaca variabel nispn dari firebase

Membaca variabel uname dari virebase

**jika** (nama & nispn & uname tidak dalam keadaan kosong)

**maka**

Membuat *MultiFormatWriter* baru

Mengisi *bitMatrix* dengan *MultiFormatWriter* dengan isian *uname#nama#nispn#*

Membuat *barcodeEndcode* baru

Mengisi *image* dengan *barcodeEncode* baru yang berisi gambar Qr Code

Mengisi Hasil dengan *image* Qr Code

**Selain itu**

Mengisi hasil dengan kalimat “Pastikan siswa sudah terdaftar”

**Mengeluarkan hasil**

Pembacaan *QR Code* siswa dengan modul kamera yang diatur dan diolah oleh *Raspberry Pi* menggunakan *psedo code* yang termuat di bawah ini

```

Program PembacaanQRCode{
insialisasi frame
insialisasi pushButton
inisialisasi buzzer
loop foreverTrue{
    ambil objek gambar masukan ke
    frame
  }
}
  
```



Gambar 4. Siswa-siswi melakukan pemindaian QR code pada modul kamera



Gambar 5. Pemindaian dengan modul kamera dan Raspberry Pi

```

membuat frame gambar dengan ukuran
400
mengenal kode qr dg library
pyzbar
membuat rectangular pada kode QR
yang telah dideteksi
barcodeData <- hasil ekstrasi kode
qr dg format "utf-8")
print barcodeData ke image
buzzer <- HIGH
delay 50ms
buzzer <- HIGH
delay 50ms
send data to firebase
if (pushButton == HIGH){
  Restart raspberry pi
  Break
}
}
}

```

| Guru-QR Mobileness                |             |          |             |
|-----------------------------------|-------------|----------|-------------|
| Nama : Erwin Susanto              | Profil Guru |          |             |
| NIP : 07740045                    |             |          |             |
| Mata Pelajaran : bahasa Indonesia | LOGOUT      |          |             |
| Nama                              | NIS         | Waktu    | Kehadiran   |
| Anisa Nurul Haque Rambubasae      | 2017        |          | Tidak Hadir |
| Anisa Nurul Haque Rambubasae      | 2017        |          | Tidak Hadir |
| Dewita Yunika Sabila              | 2018        |          | Tidak Hadir |
| Ilyas Alviandi                    | 2018        |          | Tidak Hadir |
| Prisca Nabila Fitri               | 2018        |          | Tidak Hadir |
| Yeka dwiani                       | 2017        | 09:10:36 | Hadir       |
| Neng Sonia                        | 2018        | 09:11:09 | Hadir       |
| Sri Rahayu                        | 2017        |          | Tidak Hadir |
| Tissa kamila                      | 2018        | 09:11:04 | Hadir       |

Gambar 6. Presensi kehadiran siswa dengan guru dan pelajaran tertentu

Gambar 4 memperlihatkan aktifitas siswa siswi ketika melakukan pemindaian *QR code*. Sedangkan hasil pembacaan scanning dengan *Raspberry Pi*, terlihat pada Gambar 5. Selanjutnya guru kelas pada pelajaran yang dimaksud dapat melihat daftar kehadiran siswa di *smartphone* guru setelah melakukan Login Guru. Gambar 6 memperlihatkan presensi pada *Guru-QR mobileness*.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menilai efektivitas pemanfaatan sistem presensi menggunakan *QR code*, maka diperlukan pengujian performansi sistem baik secara teknis yang meliputi pengujian *delay* komunikasi pembacaan *QR code*, dan *throughput* yang menguji kerugian paket data komunikasi (*packet loss*) sehingga kualitas layanan (*Quality of Service*) *QoS* dapat ditentukan.

Selain pengujian modul elektronika yakni kamera dan *microcomputer Raspberry Pi* yang ditunjukkan oleh data Tabel 1 dan Tabel 2, pengujian kualitas layanan *QoS* dilakukan karena sistem yang dikembangkan melibatkan

Tabel 1. Pengujian jarak *scanning QR code*

| No | Pengukuran Jarak | Hasil         |
|----|------------------|---------------|
| 1  | 3 cm             | Tidak terbaca |
| 2  | 6 cm             | Terbaca       |
| 3  | 9 cm             | Terbaca       |
| 4  | 12 cm            | Terbaca       |
| 5  | 15 cm            | Terbaca       |
| 6  | 18 cm            | Terbaca       |
| 7  | 21 cm            | Terbaca       |
| 8  | 24 cm            | Terbaca       |
| 9  | 27 cm            | Tidak Terbaca |

Tabel 2. Pengujian sudut antara *QR code scanner* dan citra *QR code*

| No | Pengukuran Sudut | Hasil         |
|----|------------------|---------------|
| 1  | 90°              | Tidak terbaca |
| 2  | 75°              | Terbaca       |
| 3  | 60°              | Terbaca       |
| 4  | 45°              | Terbaca       |
| 5  | 30°              | Terbaca       |
| 6  | 15°              | Terbaca       |
| 7  | 0°               | Terbaca       |

Tabel 3. Standar ITU T *Packet Loss* pada Aplikasi *end-user Multimedia*

| Kategori Degradasi | <i>Packet Loss</i> |
|--------------------|--------------------|
| Sangat bagus       | 0%                 |
| Bagus              | 1-3%               |
| Sedang             | 4-15%              |
| Buruk              | 16-25%             |

sistem komunikasi jaringan [16], [17].

Tabel 1 menunjukkan efektifitas jarak citra *QR code* dengan modul kamera, dimana jarak efektif pemindaian citra *QR code* antara 6 cm sampai 24 cm terhadap kamera sehingga dapat terbaca oleh mikrokomputer *Raspberry Pi*.

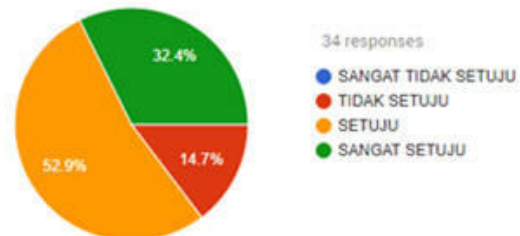
Selain jarak, efektivitas pemindaian citra pada penelitian ini tergantung pada posisi sudut antara citra *QR code* dengan *Raspberry Pi* sebagai *scanner*. Tabel 2 berikut menjelaskan perubahan sudut pembacaan dengan hasil pembacaan apakah terbaca atau tidak terbaca. Terlihat sistem yang dibangun memiliki kekokohan (*robustness*) terhadap perubahan sudut dan masih dapat membaca kecuali saat sudut citra *QR code* dan layar kamera 90°, yang merupakan sudut hadap maksimum.

Tabel 2 menunjukkan pembacaan *QR code scanner* pada *Raspberry Pi* berdasarkan sudut antara *QR code scanner* (pada *Raspberry Pi*) dan citra *QR code* (pada aplikasi *Android*)

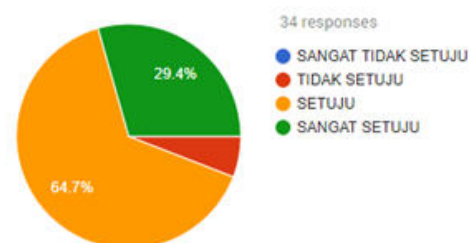
Pengukuran kualitas layanan *QoS*, berdasarkan pengukuran *packet loss* dan *delay* dibandingkan dengan standar internasional *ITU-T G.1010* [18]. Pada pengukuran *packet loss*, didapatkan hasil terukur 0%. Adapun pada pengukuran *delay*, besarnya adalah 278 ms dan pengukuran *data rate* terukur 3.2 Kbit/s. Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan rekomendasi *packet loss* dan *delay* sesuai standar *ITU*. Data performansi untuk data transaksi 10 KB menunjukkan *delay* yang baik karena

Tabel 4. Standar ITU-T untuk *delay*

| Kategori <i>Delay</i> | Waktu <i>Delay</i> |
|-----------------------|--------------------|
| Excellent             | <150 ms            |
| Good                  | 150 -300 ms        |
| Poor                  | 300 - 450 ms       |
| Unnacceptable         | >450 ms            |



Gambar 7. Respon pengguna terhadap kemanfaatan sistem Presensi



Gambar 8. Respon pengguna terhadap kesesuaian tujuan pelatihan penggunaan sistem Presensi dengan *QR code*

kurang dari 15 detik untuk *transfer* dari *client* ke *server* dan tidak ada informasi *loss* sehingga dikatakan bahwa aplikasi sudah sesuai dengan standar *ITU*.

Untuk melengkapi hasil yang diimplementasikan di sekolah Madrasah Aliyah Al Mukhlisin pada tanggal 1 Mei 2019, maka perlu adanya pengujian secara kualitatif sistem presensi yang dikembangkan berdasarkan tanggapan dari pengguna yang dalam hal ini adalah guru dan siswa-siswi melalui *survey* kemanfaatan aplikasi presensi dengan *QR code*. Pertanyaan dan tanggapan yang dihimpun sebagai berikut:

1. Apakah aplikasi Presensi dengan *QR code* sesuai dengan kebutuhan sekolah? (Gambar 7);
2. Apakah pelatihan penggunaan aplikasi Presensi dengan *QR code* sesuai dengan tujuan kegiatan sekolah? (Gambar 8).

Berdasarkan tanggapan pengguna sistem presensi dengan *QR code* di sekolah MA Al Mukhlisin, yakni para guru dan siswa siswi, terhadap kegunaan sistem presensi ini, maka diperoleh hasil dimana pengguna menyatakan tidak setuju (14,7), setuju (52,9%), dan sangat setuju (32,4%). Adapun tanggapan pengguna terhadap tujuan sosialisasi sistem presensi, diperoleh hasil yang menyatakan tidak setuju (5,9%), setuju (64,7%), dan sangat setuju (29,4%) bahwa tujuan telah tercapai.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan desain, realisasi dan analisa sistem presensi dengan *QR code* yang telah diujicobakan di sekolah MA Al Mukhlisin, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Aplikasi *QR-Mobile* yang terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak telah berhasil dikembangkan dan diimplementasikan.
2. Berdasarkan pengujian *QR code* terhadap sudut pemindaian (*scanning*) diperoleh hasil yang baik dengan rentang  $30^{\circ}$ – $75^{\circ}$  supaya citra *QR code* dapat terbaca kamera. Adapun jarak yang dapat terbaca dalam rentang 3–24 cm.
3. Pengukuran kualitas layanan, hasil yang diperoleh sudah memenuhi standar internasional ITU, dengan *packet loss* 0% dan *delay* 278 ms.
4. Pengujian subyek pengguna terhadap aplikasi yang dibangun menghasilkan tanggapan yang memuaskan dengan prosentase lebih dari 85,3% (selain yang menyatakan tidak setuju).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Telkom atas dukungannya melalui Program Kolaborasi Internal I, Tahun 2019, sehingga penelitian berjalan dengan baik, dan hasil penelitian telah diimplementasikan di sekolah Madrasah Aliyah Al Mukhlisin. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para asisten laboratorium Akses Fakultas Teknik Elektro atas dukungan teknis penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] S. S. Daulay (Widyaiswara Pusdiklat Industri), "Hubungan antara QR Code dan Dunia Industri dan Perdagangan," pp. 1–11, 1994.
- [2] T. M. Fernandez-Carames and P. Fraga-Lamas, "A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0," *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 25939–25957, May 2018.
- [3] M.A.P. Negara dan D.S. Laksono, "Perancangan Kendali Robot pada Smartphone menggunakan Sensor Accelerometer berbasis Metode Fuzzy Logic," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 13, No. 2, hal. 76–81, Agustus 2017.
- [4] Z. Fu, Y. Cheng and B. Yu., "Visual Cryptography Scheme with Meaningful Shares Based on QR Codes," *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 59567 – 59574, October 2018.
- [5] P. Tilala, A. K. Roy and M. L. Das, "Home Access Control through a Smart Digital Locking-unlocking System," in *Proc. TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference*, pp. 1409–1414, 2017.
- [6] A. D. B. Sadewo, E. R. Widasari, A. Muttaqin, "Perancangan Pengendali Rumah menggunakan Smartphone Android dengan Konektivitas Bluetooth," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Vol. 1, No. 5, hal. 415–425, Mei 2017.
- [7] I. Khokhlov and L. Reznik, "Android System Security Evaluation," in *Proc. 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pp. 1–2, 2018.
- [8] V. Tundjungsari and A. Sabiq, "Android-based Application using Mobile Adhoc Network for Search and Rescue Operation during Disaster," in *Proc. 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, pp. 16–21, 2017.
- [9] S. Hadyan, S. Aghus dan C. Yuli, "Perancangan Aplikasi Smart Home berbasis Android untuk Pengendalian Keamanan Rumah dengan menggunakan Android Studio," *TRANSIENT*, pp. 503–513, Nov 2017.
- [10] V. K. Myalapalli and S. Geloth, "Minimizing impact on JAVA Virtual Machine via JAVA Code Optimization," in *Proc. 2015 International Conference on Energy Systems and Applications*, pp. 19–24, 2015.
- [11] W. Li, C. Yen, Y. Lin, S. Tung and S. Huang, "Just IoT Internet of Things based on the Firebase Real-time Database," in *Proc. 2018 IEEE International Conference on Smart Manufacturing, Industrial & Logistics Engineering (SMILE)*, pp. 43–47, 2018.
- [12] Erwin Susanto, dkk. "Sistem Presensi Siswa berbasis QR Code untuk MA Al Mukhlisin Kabupaten Bandung," Laporan Pengabdian Masyarakat dengan Dana Internal, Universitas Telkom, 2019.
- [13] L. Caldas-Calle, J. Jara, M. Huerta and P. Gallegos, "QoS Evaluation of VPN in a Raspberry Pi Devices Over Wireless Network," in *Proc. 2017 International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS)*, pp. 125–128, 2017.
- [14] A. A. R. O. D. Danur, I N. Piarsa, A. A. K. O. Sudana, "Rancang Bangun Aplikasi Absensi Mahasiswa pada Platform Android," *Jurnal Merpati*, Vol. 4 No. 1 hal. 72–81, April 2016.
- [15] Al-Husain, A. H. A. Prastian dan A. Ramadhan, "Perancangan Sistem Absensi Online Menggunakan Android Guna Mempercepat Proses Kehadiran Karyawan Pada PT. Sintech Berkah Abadi," *Technomedia Journal (TMJ)*, Vol. 2, No.1, hal. 105–116, Agustus 2017.
- [16] J. Xu, Z. Zheng, and M. R. Lyu, "Web Service Personalized Quality of Service Prediction via Reputation-Based Matrix Factorization," *IEEE Trans. On Reliability*, Vol. 65, No. 1, pp. 28–37, March 2016.
- [17] X. Luo, LV Yixuan, R. Li and Y. Chen, "Web Service QoS Prediction Based on Adaptive Dynamic Programmig Using Fuzzy Neural Networks for Cloud Services," *IEEE Access*, Vol. 3, pp. 2261–2269, November 2015.
- [18] SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS, Quality of service and performance, ITU-T Recommendation G.1010, Nov 2001.

# Pengukuran Speed dan Impedansi Akustik pada Tanah Liat dengan Memanfaatkan Sinyal Echo Ultrasonik

Lusiana, Agus Indra Gunawan, dan Bima Sena Bayu Dewantara  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)  
Jl. Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
e-mail: lusianapens@gmail.com

**Abstrak**—Setiap material memiliki karakteristiknya masing-masing, yang direpresentasikan oleh nilai *speed*/kecepatan propagasi gelombang ultrasonik ( $C$ ) dan impedansi akustik/resistansi material ( $Z_u$ ). Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mendapatkan karakteristik tersebut adalah dengan mengaplikasikan *ultrasonic testing*. Teknik ini memanfaatkan dua buah sensor ultrasonik sebagai *transmitter* (UST) dan *receiver* (USR) untuk mendapatkan *property* sinyal dari setiap material. Adapun mekanisme pengukuran yang dilakukan adalah *non-destructive testing* (NDT) dimana material yang diuji tidak mengalami kerusakan sehingga tidak mengubah karakter dari sampel tersebut. Pada penelitian ini, karakteristik material direpresentasikan oleh sinyal pantul dari material (*echo*). Untuk mengolah data sinyal *echo* dan mendapatkan karakteristik sampel uji maka diperlukan sejumlah algoritma pemrosesan data seperti *Fast Fourier Transform* (FFT), *Peak Detection*, dan *Grid Search*. Dengan mengolah *echo* dari sinyal pantul maka dapat diperoleh nilai  $C$ . Dari hasil percobaan didapatkan, nilai  $C$  dan  $Z_u$  pada sampel uji 1 dengan *density* 1856,97573 g/m<sup>3</sup> sebesar  $C = 636$  m/s dan  $Z_u = 474640$  Ns/m<sup>3</sup>, sampel uji 2 dengan *density* 1792,94208 g/m<sup>3</sup> sebesar  $C = 491$  m/s dan  $Z_u = 408080$  Ns/m<sup>3</sup>, sedangkan sampel uji 3 dengan *density* 1663,85025 g/m<sup>3</sup> sebesar  $C = 434$  m/s dan  $Z_u = 405639$  Ns/m<sup>3</sup>. Besarnya nilai karakterisasi material menunjukkan *density* berbanding lurus dengan besarnya nilai  $C$  dan  $Z_u$ .

**Kata kunci:** *ultrasonik, speed, impedansi akustik, echo*

**Abstract**—Each material has its own characteristics, which are represented by the value of speed/ultrasonic wave propagation speed ( $C$ ) and acoustic impedance/material resistance ( $Z_u$ ). One technique that can be used to obtain these characteristics is by applying ultrasonic testing. This technique utilizes two ultrasonic sensors as transmitter (UST) and receiver (USR) to get signal properties from each material. The measurement mechanism is non-destructive testing (NDT) where the material tested is not damaged so it does not change the character of the sample. In this research, material characteristics are represented by reflected signals from material (*echo*). To process the echo signal data and get the characteristics of the sample, we need a number of data processing algorithms such as Fast Fourier Transform (FFT), Peak Detection, and Grid Search. By processing echo from reflected signals,  $C$  and  $Z_u$  values can be obtained. From the experimental results obtained, the values of  $C$  and  $Z_u$  in sample 1 with a density of 1856.97573 g/m<sup>3</sup> are  $C = 636$  m/s and  $Z_u = 474640$  Ns/m<sup>3</sup>, samples 2 with a density of 1792.94208 g/m<sup>3</sup> of  $C = 491$  m/s and  $Z_u = 408080$  Ns/m<sup>3</sup>, while the sample 3 with a density of 1663.85025 g/m<sup>3</sup> is  $C = 434$  m/s and  $Z_u = 405639$  Ns/m<sup>3</sup>. The value of material characterization shown that a dense clay also has higher  $C$  and  $Z_u$ .

**Keywords:** *ultrasonic, speed, acoustic impedance, echo*

Copyright © 2019 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Sistem monitoring impedansi akustik berfungsi untuk mendeteksi cacat dari suatu produk, serta memiliki peranan yang sangat penting untuk peningkatan kualitas suatu produk. Beberapa keuntungan dari sistem ini adalah harganya murah, cepat, akurat, *non-destructive testing*, bersih dan *non-invasive* [1].

Sistem evaluasi *Ultrasonic Testing* (UT) terdiri dari rangkaian pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*), *transducer*, serta perangkat *display*. Sistem

ini memberikan informasi yang dibawa oleh sinyal, untuk mengetahui lokasi retak, dan ukuran cacat [2].

Dalam teknik pengujian *pulse echo ultrasonic* ini menggunakan efek piezoelektrik. Dimana pulsa listrik bertegangan tinggi (kurang dari 20 ns dan amplitudo 100–200 V) mengeksitasi kristal piezoelektrik untuk menghasilkan gelombang ultrasonik di permukaan spesimen. Kemudian gelombang tersebut bergerak melalui spesimen, sehingga *transducer* memantulkan gelombang ultrasonik dari sisi berlawanan spesimen [3].

Dalam pengaplikasiannya di dunia industri, yang

menjadi masalah utama yaitu bagaimana pengukuran dapat dilakukan tanpa menyentuh objek. Sensor ultrasonik merupakan kunci utama untuk menjawab permasalahan tersebut. Banyak contoh yang ditemukan dalam dunia teknik. Salah satunya *non-destructive testing materials*, dimana berbagai jenis sistem pengukuran dan sensor telah digunakan. Namun permasalahannya sangat berkaitan dengan deteksi *echo* [4].

Karakterisasi material merupakan teknik baru untuk memproses *backscattered* sinyal ultrasonik dan mengekstraksi fiturnya. Fitur-fiturnya menunjukkan potensi untuk pendeteksian karakterisasi material [5], salah satu karakteristik material direpresentasikan oleh propagasi gelombang suara dalam material (*speed*) dan resistansi material (impedansi akustik).

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis mengajukan penelitian dengan menggunakan teknik *non-destructive testing* pada sampel tanah liat dengan sistem evaluasi *ultrasonic testing* yang terdiri dari pemancar dan penerima *ultrasonic*. Berfokus pada teknik pengujian *pulse echo ultrasonic* yang memanfaatkan sinyal *echo* dari sampel tanah liat yang diuji. Setelah sinyal ultrasonik dari sampel tanah liat telah didapatkan, kemudian dilakukan analisa pendeteksian awal *echo* pada seluruh sampel uji. Kemudian dapat diketahui *speed* dan impedansi akustik pada seluruh sampel uji.

## II. STUDI PUSTAKA

Pada [7], dilakukan penelitian tentang peningkatan kepresisian yang diterapkan untuk sistem *ultrasonic ranging* dengan menerapkan tiga jenis metode yang berbeda yaitu *simple threshold*, *double threshold* dan *correlation detection*. Keseluruhan nilai dalam penelitian ini direpresentasikan oleh perubahan bias, standar deviasi dan total error sebagai fungsi jarak. Hasil penelitian menunjukkan *double threshold* dapat menurunkan nilai bias dibandingkan dengan 2 metode lainnya. Namun memiliki nilai standar deviasi yang sangat kecil jika dibandingkan dengan 2 metode lainnya. Sedangkan *correlation method* dapat meningkatkan pengukuran *time of flight* jika dibandingkan dengan metode *threshold*.

Pada [8], dilakukan penelitian yang berfokus pada pengajuan metode *innovative* pengukuran *ultrasonic time of flight (TOF)* dengan *narrow-band* transduser dengan memperkenalkan gelombang *receiver ultrasonic peak time sequences (PTS)* pada dua jenis frekuensi yang berbeda. Pengukuran PTS TOF dapat dicapai dengan 2 tahap. Pertama, PTS dibentuk dari sinyal *receiver ultrasonic* dengan frekuensi yang berbeda berdasarkan dari *arrival time* setiap puncak sinyal dengan menghitung nilai rata-ratanya. Kedua, *arrival time* dari sinyal bagian depan dibangun dengan mengestimasi waktu inisiasi dari PTS untuk gelombang *receiver* dengan perbedaan frekuensi. Hasil dari penelitian ini yaitu metode *ultrasonic ranging* yang diajukan dapat diimplementasikan pada *low-cost digital system* dan beberapa rangkaian analog. Dengan mengkombinasikan TOF dan informasi *ultrasound phase*

*shift* pada kedua frekuensi yang berbeda, metode ini dapat mencapai akurasi 0,12 mm pada jarak 900 mm dengan percobaan pada suhu ruangan 25°C.

Pada [9], dilakukan penelitian yang berfokus pada pengukuran kecepatan gelombang permukaan dengan menggunakan material beton untuk mendeteksi cacat dan mengevaluasi kekuatan tekan dari beton. Dalam penelitian ini gelombang permukaan digunakan untuk memprediksi kekuatan *in situ* di dalam beton yang berada pada awal usia beton. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur macam-macam gelombang permukaan pada beton yang berumur satu hari. *Continuous wavelet transform* digunakan untuk mengkomputasi waktu tempuh dari propagasi gelombang permukaan. Spesimen yang digunakan berasal dari empat campuran dan lima suhu *curing*. Hasil dari penelitian ini yaitu kecepatan gelombang permukaan dapat diaplikasikan untuk mengestimasi kekuatan beton untuk umur beton yang berusia muda.

Pada [10], dilakukan penelitian dengan menggunakan teori propagasi gelombang *primary wave (PW)* dan *secondary wave (SW)*. Berfokus kepada kecepatan propagasi gelombang untuk menentukan *property* elastisitas pada medium. Pada percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini, digunakan *function generator* untuk men-generate sinyal sebesar 500 V, T1 (*transmitter*) gelombang ultrasonik ke T2 (*receiver*). Kemudian T2 berfungsi untuk mengkonversi gelombang ultrasonik menjadi gelombang listrik. *Oscilloscope 1 (plotted excitation signal)* yang dikirimkan ke T1 melalui *channel 1*, kemudian diterima oleh T2 pada *channel 2*. Pada *channel 2 oscilloscope* ini dapat diamati gelombang tekan dan gelombang geser. *Oscilloscope 2* berfungsi untuk mengumpulkan data yang kemudian diolah dengan menggunakan *LabView* pada MAC.

Pada [11], dilakukan penelitian dengan mengukur kekuatan tekan dari berbagai macam campuran beton dengan metode *non-destructive ultrasonic pulse velocity*. Penelitian ini melibatkan sekitar 84 komposisi beton yang berbeda, yang diuji antara waktu 3 dan 180 hari dengan kekuatan tekan berkisar antara 30 sampai 80 MPa. Penelitian ini menguji hubungan antara *ultrasonic pulse velocity* dan kekuatan tekan. Selain itu juga memprediksi kekuatan tekan beton dengan menggunakan uji *ultrasonics pulse Velocity non-destructive*. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu PUNDIT (*portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester*). Hasil dari penelitian ini yaitu metode *non - destructive ultrasonic pulse velocity* dapat digunakan untuk *mechanical compressive strength* dari LWC (sampel).

## III. METODE

Pada bab ini dijelaskan beberapa hal dalam penelitian ini diantaranya metode pengukuran sampel tanah liat yang diuji. Metode pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan nilai C dan  $Z_{tl}$ . Penempatan sensor ultrasonik untuk mendapatkan nilai C dan  $Z_{tl}$ . Jenis sampel tanah liat dan sensor yang digunakan. Proses akuisisi sinyal. Metode

deteksi sinyal *echo*. Serta skema akuisisi dan pemrosesan sinyal.

#### A. Diagram Sistem

Metode pengukuran sampel tanah liat dijelaskan secara sederhana pada bagian diagram sistem. Diagram sistem ini menjelaskan bagaimana cara pengukuran sampel dan dengan menggunakan beberapa *instrument* lain.

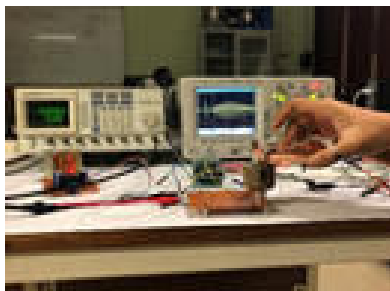
Gambar 1 menunjukkan metode pengukuran pada sampel tanah liat. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan 2 buah sensor ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sensor ultrasonik tersebut digunakan sebagai *ultrasonic transmitter* (UST) untuk menembakkan sinyal ultrasonik ke sampel tanah liat. Kemudian sinyal yang menembus sampel tanah liat diterima oleh *ultrasonic receiver* (USR). Dalam penelitian ini, digunakan sebuah *function generator* GW instek GFG-3015 untuk membangkitkan sinyal yang akan dikirimkan ke bagian UST (mengubah sinyal listrik menjadi sinyal mekanik). Serta digunakan pula *oscilloscope* agilent technologies MSO6054A yang dihubungkan ke bagian UST dan USR. *Oscilloscope* ini juga difungsikan untuk merekam sinyal ultrasonik yang didapatkan dari kedua sensor tersebut. Untuk memperjelas metode pengukuran tanah liat pada Gambar 2, dijelaskan pada blok akuisisi sinyal yang ditunjukkan pada Gambar 6.

#### B. Teknik Pengukuran

Untuk pengukuran *speed* Gambar 2(a) disebut pengukuran transmisi dan impedansi akustik Gambar 2(b) disebut metode pengukuran sinyal pantul (*echo*). Impedansi akustik diukur dengan memasang UST dan USR pada sisi yang sama. Formula untuk mengetahui nilai *speed* digunakan Persamaan (1).

$$C = \frac{L}{t}, \quad (1)$$

dimana  $C$  merupakan *speed* (m/s),  $L$  merupakan panjang material (m),  $t$  merupakan waktu (s). Hasil perhitungan *speed* pada ketiga sampel uji tanah liat ditunjukkan pada Tabel 5. Gambar 2(a) menggambarkan teknik pengukuran *speed*/kecepatan propagasi gelombang suara dalam material ( $C$ ) yang merupakan salah satu pengkarakterisasian material pada sampel tanah liat 1,2, dan 3, yang mana perubahan *speed* sesuai dengan tipe karakteristik pada tiap



Gambar 1. Metode pengukuran sampel tanah liat

material yang digunakan. Pengukuran  $C$  ini dengan menggunakan 2 buah sensor ultrasonik yang satu buah difungsikan sebagai *ultrasonic transmitter* (UST) dan satu lainnya sebagai *ultrasonic receiver* (USR). UST menembakkan sinyal terhadap sampel tanah liat, kemudian sinyal menembus sampel tanah liat, dan sinyal pantul ultrasonik (*echo*) diterima oleh USR. Dalam penelitian ini, tanah liat yang digunakan merupakan campuran dari kedua material lempung dan pasir. Referensi dari kecepatan propagasi gelombang pada beberapa material yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [12] ditunjukkan pada Tabel 1.

Gambar 2(b) menunjukkan pengukuran resistansi material/impedansi akustik ( $Z$ ). Dengan menggunakan konsep pengukuran yang sama yaitu 2 buah sensor ultrasonik difungsikan sebagai UST dan USR. Peletakan sensornya yaitu sejajar, maka dari teknik pengukuran ini diperoleh nilai impedansi akustik ( $Z$ ) dengan menggunakan Persamaan (2) dan (3) [13],

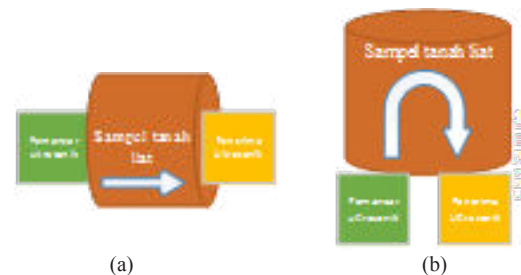
$$S_{ref} = \left[ \frac{Z_{ref} - Z_{udara}}{Z_{ref} + Z_{udara}} \right] \cdot S_{in}, \quad (2)$$

$$S_{tl} = \left[ \frac{Z_{tl} - Z_{udara}}{Z_{tl} + Z_{udara}} \right] \cdot S_{in}, \quad (3)$$

dimana  $S_{ref}$  merupakan intensitas referensi ( $v_{rms}$  referensi),  $Z_{ref}$  merupakan impedansi referensi,  $Z_u$  merupakan impedansi udara,  $Z_{tl}$  merupakan impedansi tanah liat dan,  $S_{in}$  merupakan intensitas input.

#### C. Sampel Tanah Liat

Dalam penelitian ini, digunakan sampel uji berupa tanah liat terkondisi. Keadaan terkondisi disini yaitu kita harus membuat sampel tanah liat tersebut untuk bisa diuji. Mekanisme pembuatan sampel tanah liat yaitu dengan cara tentukan/rencanakan *density* material



Gambar 2. Teknik pengukuran tanah liat; (a). pengukuran *speed* ( $C$ ), (b). pengukuran impedansi akustik ( $Z$ )

Tabel 1. Kecepatan seismik gelombang P [12]

| Nama Material |               | Vp (m/s)  |
|---------------|---------------|-----------|
| Tanah         | Alluvial      | 500-2100  |
|               | Lempung       | 1100-2500 |
|               | Loss          | 300-600   |
|               | Pasir         | 200-2000  |
|               | Napal Bongkah | 400-1700  |

yang akan di-remoulded, kemudian lakukan pengecekan *dry density* material, yang terakhir lakukan *remoulded* tanah kering beserta air dan dicetak hingga *density* yang sudah ditetapkan/direncanakan. Gambar 3(a), Gambar 3(b), dan Gambar 3(c) menunjukkan sampel uji yang digunakan dalam penelitian ini. Dimana setiap sampel tanah liat memiliki karakteristik masing-masing, seperti sampel tanah liat 1 (Gambar 3(a)) terlihat tidak begitu kering dan juga tidak begitu kasar yang memiliki *density* sebesar 1856,97573 g/m<sup>3</sup>, sampel tanah liat 2 (Gambar 3(b)) terlihat kering dan kasar memiliki *density* sebesar 1792,94208 g/m<sup>3</sup>, sedangkan sampel tanah liat 3 (Gambar 3(c)) tanah liat terlihat basah dan halus memiliki *density* sebesar 1663,85025 g/m<sup>3</sup>. Pengukuran panjang pada tiap sampel tanah liat ditunjukkan pada Tabel 2.

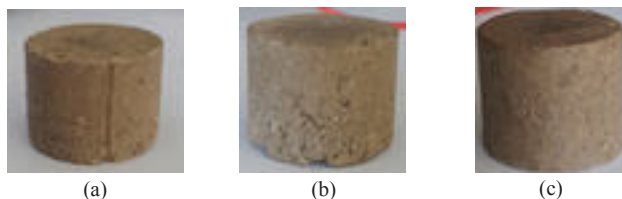
#### D. Proses Akuisisi Sinyal

Gambar 6 menunjukkan blok akuisisi sinyal pada pengukuran *speed* dan impedansi akustik, dimana untuk pengukuran *speed* letak UST dan USR berada pada posisi atas dan bawah sampel tanah liat. Sedangkan untuk pengukuran impedansi akustik, posisi UST dan USR berada di bawah sampel tanah liat yang diletakkan sejajar. Setelah didapatkan sinyal hasil pengukuran tanah liat, kemudian dilakukan proses transformasi sinyal yaitu FFT (*fast fourier transform*) untuk mendapatkan nilai frekuensi *echo*. Selanjutnya diterapkan dua metode pendeteksian awal *echo* yaitu *threshold* amplitudo dan metode yang diajukan oleh peneliti untuk dapat mengukur penentuan awal *echo*. Setelah dapat ditentukan awal sinyal *echo* maka dilakukan analisa sinyal untuk dapat menemukan nilai C dan Z pada seluruh sampel uji.

#### E. Deteksi Sinyal Echo

##### 1. Threshold Amplitudo

Metode *threshold* ini telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [7]. Dengan menggunakan konsep yang sama pada penelitian [7], maka metode *threshold* amplitudo yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada nilai sampel. Dari 1000 sampel data yang digunakan, masing-masing diberi nilai *threshold* sebesar 5 mV. Nilai dari 1000 data tersebut dicek satu persatu apakah memenuhi nilai 5 mV. Apabila nilai dari data tersebut >5 mV maka merupakan data *echo*. Setelah diimplementasikan dalam penelitian ini, metode ini memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mendeteksi sinyal *echo* pada sampel uji 2 dan 3 dengan teknik pengukuran impedansi akustik (Z), untuk



Gambar 3. Sampel uji yang digunakan, (a) Sampel uji 1, (b) Sampel uji 2, (c) Sampel uji 3

lebih jelasnya dapat dijelaskan pada bab IV. D. Untuk mengatasi permasalahan ini maka peneliti mengajukan metode deteksi awal *echo* seperti yang dijelaskan pada poin 2.

##### 2. Metode Deteksi Awal Echo yang Diajukan

Pada penelitian ini, dikembangkan teknik *echo detection* untuk mendeteksi titik awal sinyal *echo* pada satu *sequence* data yang telah diakuisisi sebelumnya. Tahapan ini memegang peranan penting karena untuk membedakan sinyal *echo* dengan *noise*. Tahap awal dalam teknik ini adalah dengan mengaplikasikan FFT untuk mentransformasi data sinyal yang masih dalam domain waktu menjadi data sinyal dalam domain frekuensi. Dengan demikian, maka dapat diketahui frekuensi paling dominan pada data yang diakuisisi. Adapun fungsi FFT secara matematis dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, k = 0, \dots, N-1, \quad (4)$$

Dimana  $X_k$  merupakan hasil transformasi sinyal FFT,  $x_n$  merupakan data pada domain waktu diskrit,  $N$  adalah jumlah data dan  $e$  adalah bilangan epsilon. Dengan mengubah domain suatu sinyal kedalam domain frekuensi maka kita bisa melihat frekuensi dominan dalam sinyal. Frekuensi paling dominan yang tidak lain adalah frekuensi *echo* ultrasonik dapat diperoleh dengan mengaplikasikan Algoritma 1 untuk mencari nilai maksimum dalam sebaran nilai frekuensi ( $X_k$ ).

#### Algoritma 1: Pencarian frekuensi paling dominan (frek. Echo)

```

1. Inisialisasi
   Data sinyal dalam domain frekuensi (Xk)
2. For i in k
   If X[i] > X[i+1]
     Max = X[i]
     frekuensi dominan = f[i]
   Dimana i = indeks data,
          k = data-data dalam domain frekuensi
          f = frekuensi-frekuensi yang didapat dari FFT
3. Return frekuensi dominan

```

Dengan mengetahui frekuensi *echo* (frekuensi



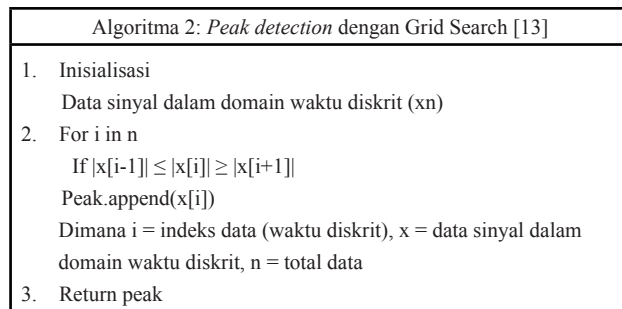
Gambar 4. Sensor ultrasonik

Tabel 2. Pengukuran panjang sampel tanah liat

| Sampel | Panjang Sampel |       |
|--------|----------------|-------|
|        | P(cm)          | P(m)  |
| 1      | 2,8            | 0,028 |
| 2      | 2,9            | 0,029 |
| 3      | 3              | 0,03  |

dominan), maka didapatkan periode sinyal *echo* yaitu  $T = 1/f$ . Periode inilah yang akan digunakan sebagai pembanding dalam pendeteksian titik awal sinyal *echo* pada tahap berikutnya.

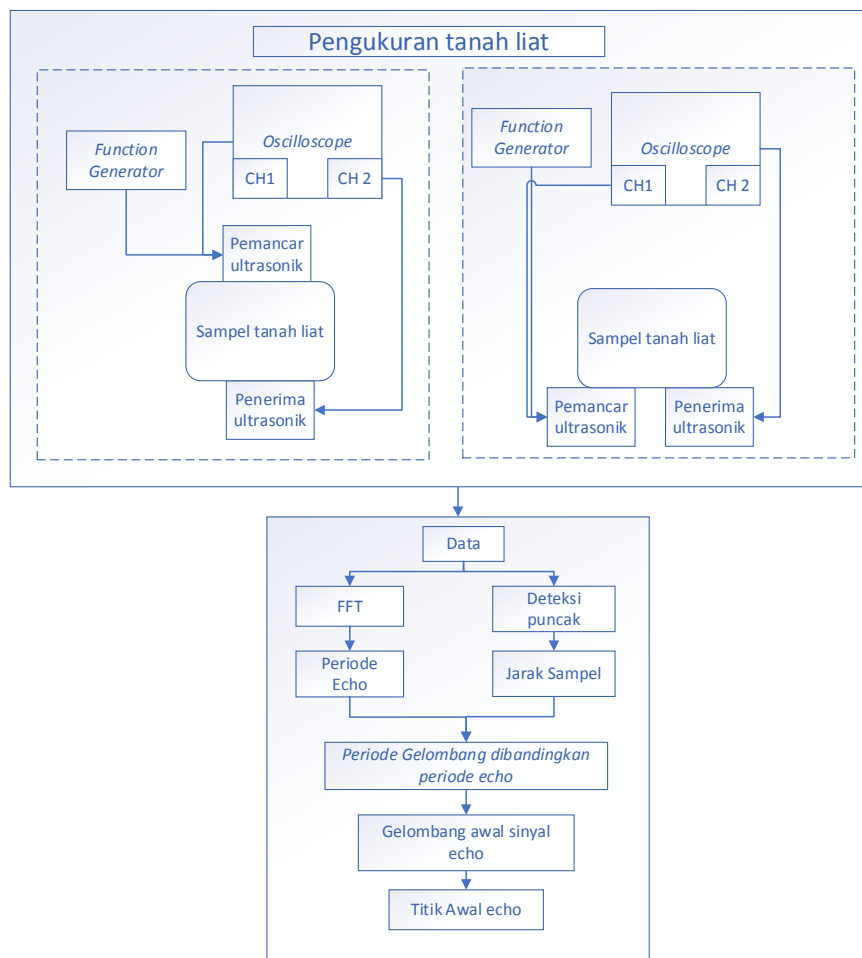
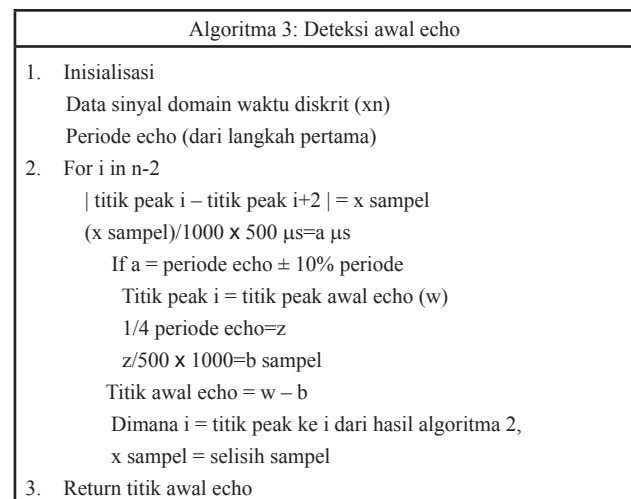
Adapun langkah kedua dalam mendeteksi titik awal *echo* adalah dengan mendeteksi titik-titik puncak sinyal atau titik puncak sinyal. Untuk mendapatkan titik-titik puncak ini, pada penelitian ini digunakan algoritma *grid search* untuk mengecek titik-titik data satu persatu. Adapun algoritma *peak detection* dengan *grid search* ini dapat dilihat pada Algoritma 2.



Dapat dilihat pada Algoritma 2, suatu titik sampel dikatakan sebagai titik puncak bila titik tersebut lebih besar dari titik sebelumnya dan titik sesudahnya. Ilustrasi nilai *peak* ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. *Scanning* data

Setelah periode *echo* ultrasonik dan titik-titik puncak dalam data diketahui, maka dapat dilakukan proses deteksi titik awal *echo* dengan menggunakan Algoritma 3.



Gambar 6. Blok akuisisi sinyal

Sesuai dengan Algoritma 3, panjang dari masing-masing sinyal pada data yang diakuisi diukur dengan mengukur jarak antara puncak ke puncak atau lembah ke lembah (jarak 1 gelombang).

Selanjutnya jarak (jumlah selisih sampel) ini dikonversi menjadi jarak waktu (a us). Selanjutnya setiap jarak waktu yang terukur dibandingkan dengan periode *echo* yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya. Jika jarak waktu berada dalam kisaran periode *echo* dengan rentang 10% dari periode *echo*, maka jarak waktu tersebut adalah periode *echo*. Dengan kata lain gelombang tersebut adalah gelombang awal pada sinyal *echo*. Kemudian, untuk menentukan titik awalnya maka titik awal *peak echo* dikurangi dengan  $\frac{1}{4}$  periode *echo* yang dikonversi menjadi jumlah sampel.

#### F. Skema Akuisisi dan Pemrosesan Data

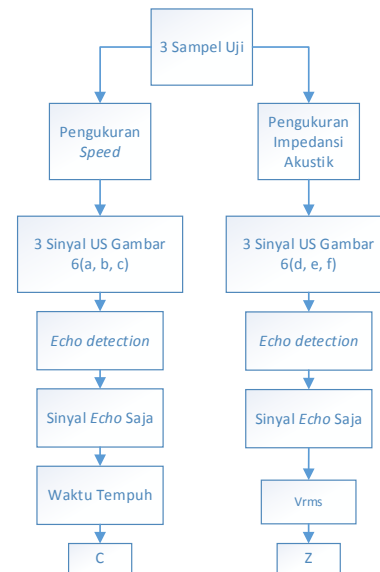
Pada skema akuisisi dan pemrosesan data yang ditunjukkan pada Gambar 7. menjelaskan bahwa dari 3 sampel uji yang digunakan, dilakukan dua teknik pengukuran *speed* (C) dan impedansi akustik (Z). Kemudian, dari hasil 2 teknik pengukuran masing-masing menghasilkan 3 buah sinyal *echo*. Kemudian, dilakukan teknik *echo detection* sehingga dapat terdeteksi yang mana sinyal *noise* dan yang mana sinyal *echo*. Setelah masing-masing teknik pengukuran didapatkan sinyal *echo*-nya, 3 sinyal *echo* untuk pengukuran *speed* tersebut dihitung waktu tempuhnya sehingga didapatkan nilai C sampel uji. Sedangkan untuk pengukuran impedansi akustik, 3 sinyal *echo* yang telah didapatkan kemudian dilakukan

perhitungan nilai  $V_{rms}$  sehingga didapatkan nilai Z pada setiap sampel uji.

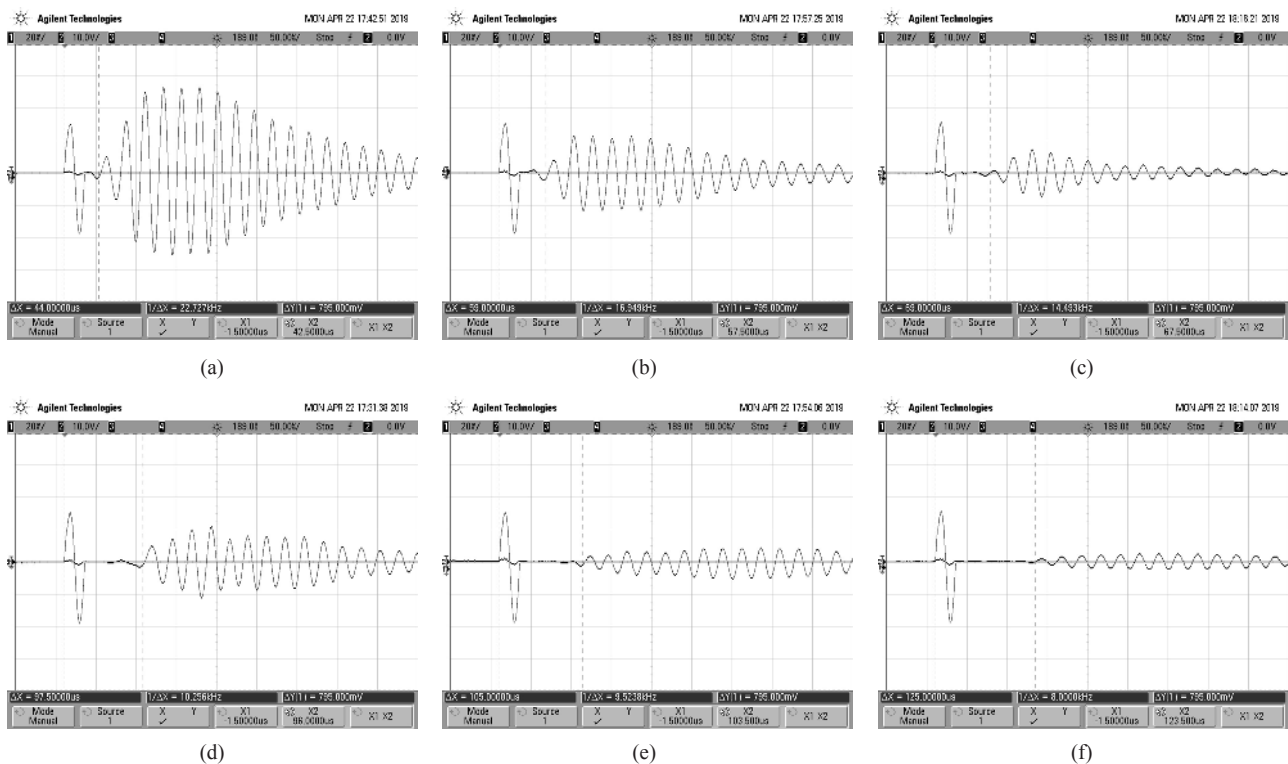
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengukuran Speed dan Impedansi Akustik Seluruh Sampel Uji

Hasil pengukuran *speed* dan impedansi akustik dengan menggunakan *oscilloscope* pada seluruh sampel uji ditunjukkan pada Gambar 8. Kemudian, dilakukan



Gambar 7. Skema akuisisi dan pemrosesan data



Gambar 8. Hasil pengukuran *speed* dan impedansi akustik seluruh sampel uji (a). Pengukuran *speed* sampel uji 1 menggunakan *oscilloscope*, (b). Pengukuran *speed* sampel uji 2 menggunakan *oscilloscope*, (c). Pengukuran *speed* sampel uji 3 menggunakan *oscilloscope*. (d). Pengukuran impedansi akustik sampel uji 1, (e). Pengukuran impedansi akustik sampel uji 2, (f). Pengukuran impedansi akustik sampel uji 3

pengolahan sinyal dengan menggunakan PC. Dimana hanya data sinyal *echo* saja yang diolah. Hasil pengolahan sinyal *echo* dengan menggunakan PC untuk pengukuran *speed* ditunjukkan pada Gambar 9(a), Gambar 9(b) dan Gambar 9(c), sedangkan pada hasil pengukuran impedansi akustik ditunjukkan pada Gambar 9(d), Gambar 9(e), dan Gambar 9(f). Dari pengolahan sinyal *echo* dengan menggunakan PC dapat diketahui tinggi maksimum amplitudo pada ketiga sampel uji dengan dua metode pengukuran menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Seperti pada pengukuran *speed* sampel uji 1 yang memiliki tinggi maksimum amplitudo paling tertinggi dibandingkan dengan pengukuran pada sampel uji lainnya yaitu sebesar 51,5 mV yang ditunjukkan pada Gambar 9(a).

### B. Transformasi Sinyal FFT

Hasil transformasi sinyal FFT pada seluruh sampel uji ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil transformasi sinyal ini menunjukkan nilai dominasi frekuensi sinyal ultrasonik yang kemudian disebut sebagai frekuensi *echo*. Setelah diperoleh frekuensi *echo* kemudian didapatkan periode *echo* dengan menggunakan Persamaan (5). Hal ini dapat dilakukan karena sesuai dengan plot sinyal pada Gambar 9, sinyal *echo* merupakan sinyal yang periodik dimana sinyal tersebut memiliki pola yang sama dengan pola pada sinyal-sinyal berikutnya.

$$F = \frac{1}{T} \quad (5)$$

Nilai frekuensi *echo* pada pengukuran *speed* sampel

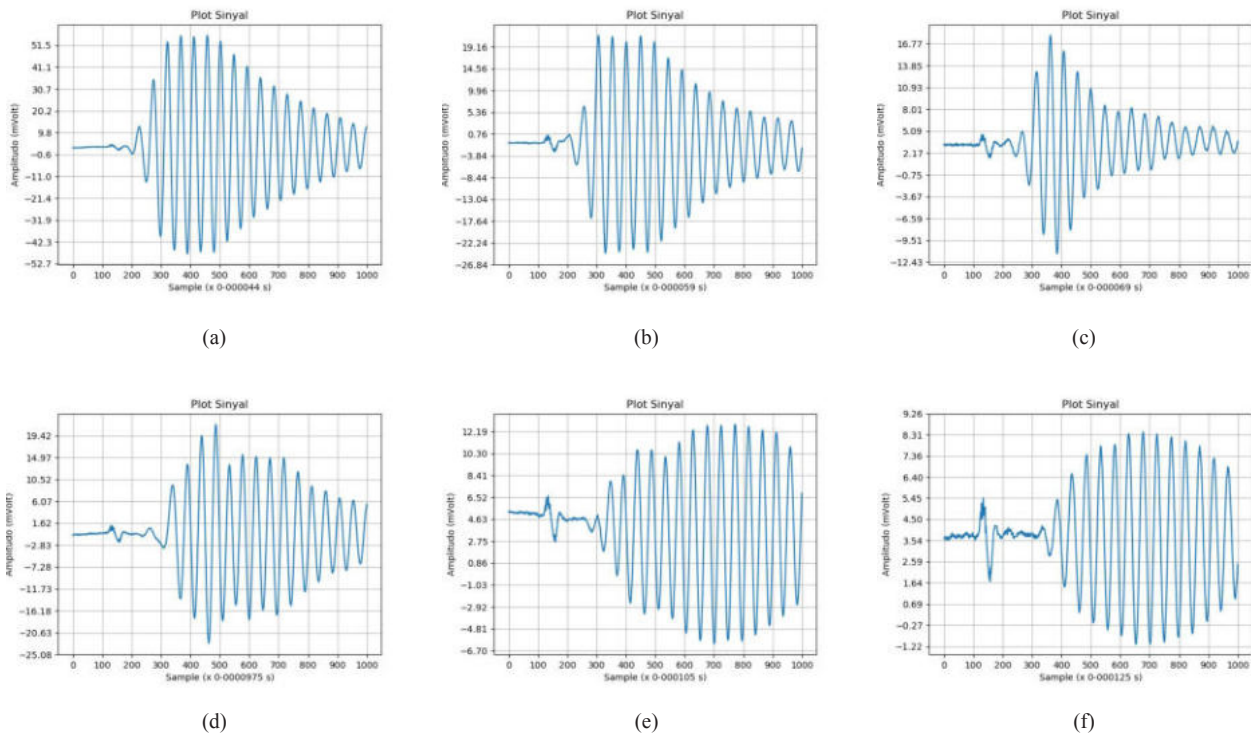
uji 1 dan 3 memiliki nilai yang sama yaitu 42,16 kHz dan periode *echo* sebesar 23,7 s. Sedangkan frekuensi *echo* pada sampel uji 2 yaitu 40,16 kHz dan  $T = 24,9$  s. Nilai ketiganya ditunjukkan pada Gambar 10(a), Gambar 10(b), dan Gambar 10(c). Sedangkan frekuensi *echo* dan periode *echo* pada pengukuran impedansi akustik untuk seluruh sampel uji memiliki nilai yang sama yaitu  $f = 40,16$  kHz dan  $t = 24,9$  s yang ditunjukkan pada Gambar 10(d), Gambar 10(e), dan Gambar 10(f).

### C. TOF (time of flight) Sinyal

Time of flight (TOF) sinyal pada penelitian ini menunjukkan saat dimulainya sinyal ultrasonik yang ditembakkan ke sampel uji hingga diterima oleh USR, dan sinyal ultrasonik kembali lagi ke bagian UST. Tinggi amplitudo sinyal TOF pada ketiga sampel uji memiliki nilai yang bervariasi. Seperti pada sampel uji 2 (Gambar 11(e)) dan 3 (Gambar 11(f)) pada metode pengukuran impedansi akustik memiliki amplitudo sinyal sebesar 6,5 mV dan 5,5 mV. Kedua nilai tersebut memiliki perbedaan nilai yang sangat signifikan dibandingkan dengan nilai pada sampel uji lainnya yang tidak mencapai 5 mV.

### D. Threshold amplitudo

Threshold amplitudo merupakan salah satu metode penentuan awal *echo* yang diterapkan pada penelitian ini. Nilai *threshold* yang ditetapkan pada seluruh sampel uji yaitu 5 mV. Penetapan nilai ini didasari oleh nilai amplitudo pada seluruh sampel uji. Namun metode



Gambar 9. Hasil pengukuran *speed* dan impedansi akustik seluruh sampel uji (a). Sinyal *speed echo* sampel uji 1, (b). Sinyal *speed echo* sampel uji 2, (c). Sinyal *speed echo* sampel uji 3, (d). Sinyal impedansi akustik *echo* sampel uji 1, (e). Sinyal impedansi akustik *echo* sampel uji 2, (f). Sinyal impedansi akustik *echo* sampel uji 3

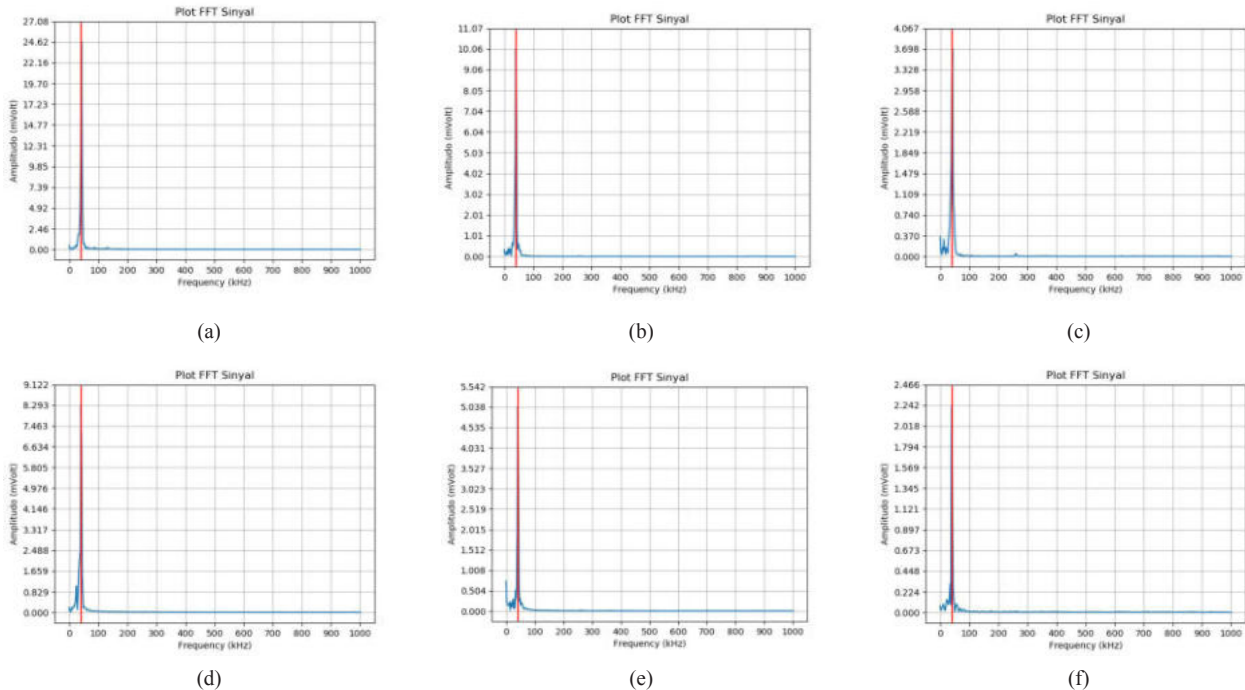
*threshold* amplitudo ini tidak dapat diterapkan terhadap sinyal *echo* pada sampel uji 2 dan 3 untuk pengukuran impedansi akustik.

Hal ini dikarenakan pada sampel uji 2 dan 3 dengan metode pengukuran impedansi akustik nilai *threshold* terlebih dahulu sudah menyentuh sinyal *noise*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12(e) dan Gambar 12(f). Untuk menangani masalah ini dikembangkanlah metode

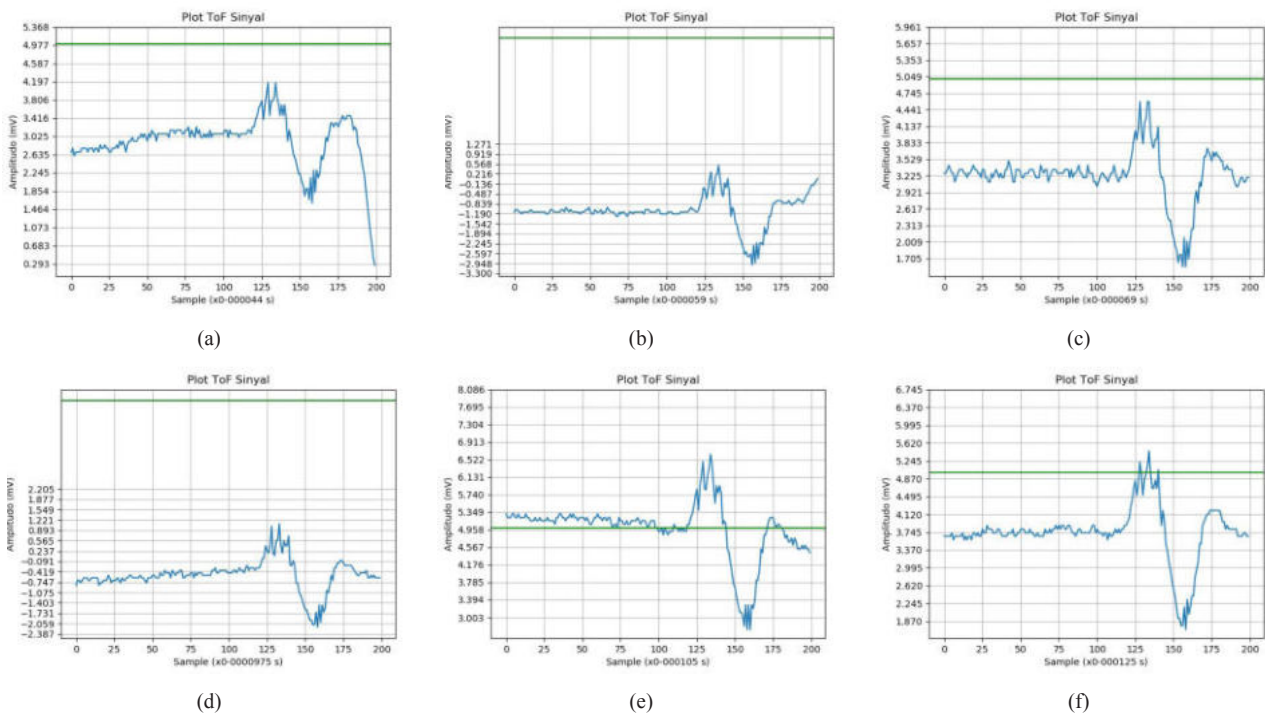
deteksi awal *echo* yang telah dijelaskan pada bagian III. E.

#### E. Deteksi Puncak Sinyal Echo

Deteksi puncak sinyal *echo* merupakan tahap awal dalam pendeteksian awal *echo* dengan metode yang diajukan oleh peneliti. Dalam deteksi puncak ini didapatkan nilai titik-titik puncak pada tiap sampel data



Gambar 10. Hasil transformasi sinyal FFT seluruh sampel Uji (a). FFT *speed* sampel uji 1, (b). FFT *speed* sampel uji 2, (c). FFT *speed* sampel uji 3. (d). FFT impedansi akustik sampel uji 1, (e). FFT impedansi akustik sampel uji 2, (f). FFT impedansi akustik sampel uji 3

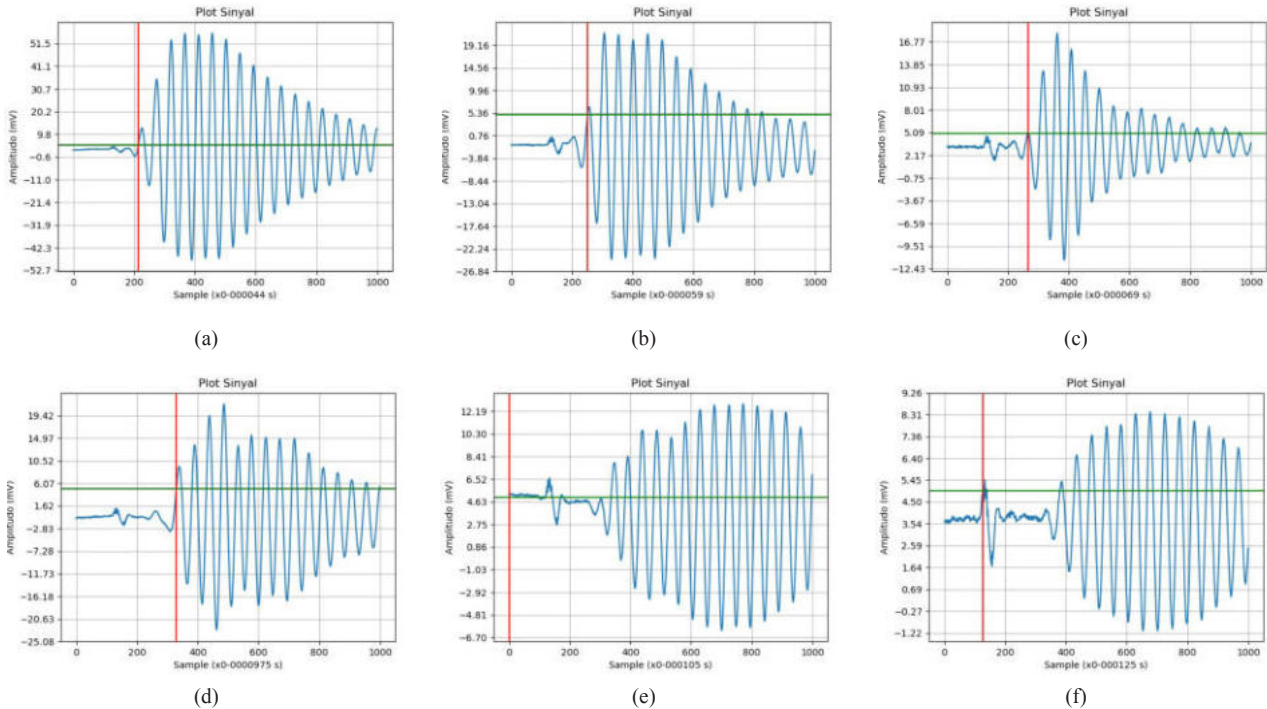


Gambar 11. Hasil TOF sinyal seluruh sampel uji (a). TOF *speed* sampel uji 1, (b). TOF *speed* sampel uji 2, (c). TOF *speed* sampel uji 3. (d). TOF impedansi akustik sampel Uji 1, (e). TOF impedansi akustik sampel uji 2, (f). TOF impedansi akustik sampel uji 3

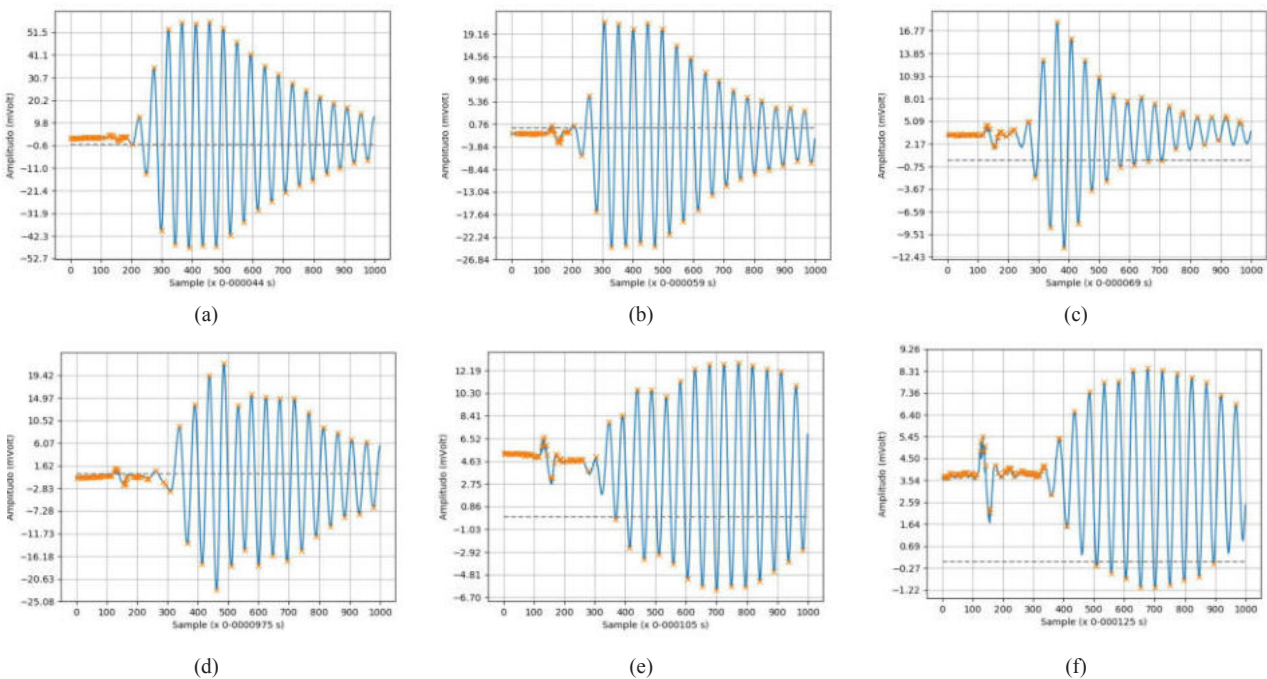
*echo*. Berikut data titik-titik puncak *echo* yang didapatkan pada metode pengukuran *speed* untuk sampel uji 1: [1 8 13 16 19.... 886 909 931 954 976] ditunjukkan pada Gambar 13(a).

Nilai titik-titik puncak tersebut menggambarkan nilai dari setiap puncak sampel sinyal ultrasonik. Dari nilai titik-titik puncak tersebut, dapat dibedakan dimana sinyal *noise* dan sinyal *echo*-nya. Cara untuk membedakan

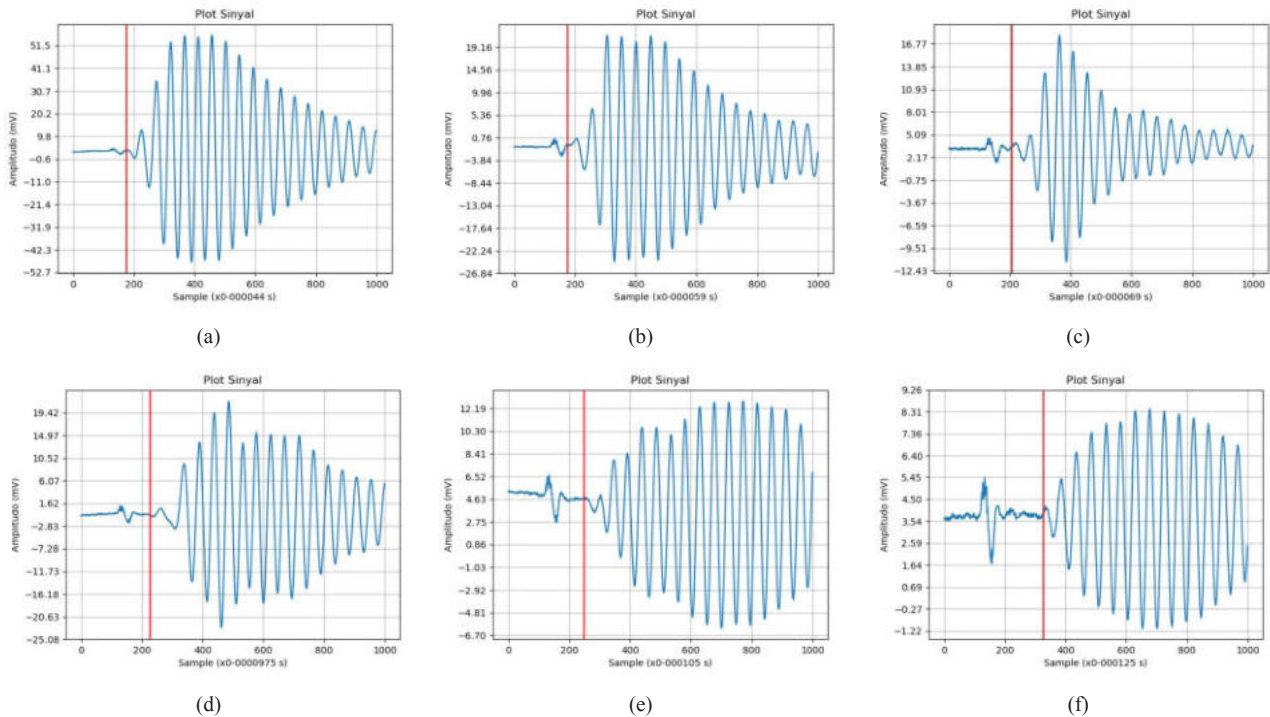
sinyal *noise* dan sinyal *echo*, yaitu dengan menghitung jarak setiap puncak sinyal. Jarak sinyal yang antar titik puncaknya sangat berdekatan merupakan sinyal *noise*. Sedangkan sinyal *echo* merupakan sinyal yang antar titik puncaknya terdapat jarak yang nilainya setara dengan nilai periode *echo*-nya. Seperti contoh pada Gambar 13(f), diketahui bahwa nilai puncak pertama *echo* berada pada titik sampel 261, ini menandakan bahwa di bawah sampel



Gambar 12. *Threshold* amplitudo seluruh sampel uji (a). *Threshold speed* sampel uji 1, (b). *Threshold speed* sampel uji 2, (c). FFT *speed* sampel uji 3. (d). *Threshold* impedansi akustik sampel uji 1, (e). *Threshold* impedansi akustik sampel uji 2, (f). *Threshold* impedansi akustik sampel uji 3



Gambar 13. Deteksi puncak seluruh sampel uji (a). Deteksi puncak *speed* sampel uji 1, (b). Deteksi puncak *speed* sampel uji 2, (c). Deteksi puncak *speed* sampel uji 3. (d). Deteksi puncak impedansi akustik sampel uji 1, (e). Deteksi puncak impedansi akustik sampel uji 2, (f). Deteksi puncak impedansi akustik sampel uji 3



Gambar 14. Metode deteksi awal echo yang diajukan, (a). *Echo speed* sampel uji 1, (b). *Echo speed* sampel uji 2, (c). *Echo speed* sampel uji 3. (d). *Echo impedansi akustik* sampel uji 1, (e). *Echo impedansi akustik* sampel uji 2, (f). *Echo impedansi akustik* sampel uji 3

Tabel 3. Pengukuran waktu tempuh *speed* sampel tanah liat

| Waktu Tempuh (s) |        |          |
|------------------|--------|----------|
| Jenis Gelombang  | Sampel | Hasil    |
| Pressure wave    | 1      | 0,000044 |
|                  | 2      | 0,000059 |
|                  | 3      | 0,000069 |

data 261 merupakan data sinyal *noise*. Dapat dilihat secara kasat mata pada Gambar 13 terdapat titik-titik oranye yang jaraknya berdekatan yang merupakan representasi dari sinyal *noise*.

#### F. Deteksi Awal Echo

Setelah ditemukannya titik-titik puncak pada tiap sampel sinyal, kemudian didapatkan nilai titik awal *echo*. Titik awal *echo* ini dijadikan sebagai metode deteksi awal *echo*. Seperti yang dicontohkan pada Gambar 14(b), dimana titik awal *echo* berada pada sampel 177 dari 1000 sampel data yang diolah. Sinyal yang dideteksi sebagai awal mulainya *echo* ditunjukkan dengan garis berwarna merah.

Metode deteksi awal *echo* ini dapat menutupi kekurangan pada metode sebelumnya. Sehingga metode ini digunakan sebagai acuan dalam pendeteksian sinyal *echo*.

#### G. Waktu Tempuh

Setelah dilakukan pendeteksian titik awal *echo*, selanjutnya dapat diketahui waktu tempuh dari tiap sampel uji. Waktu tempuh menunjukkan waktu yang

Tabel 4. Pengukuran waktu tempuh impedansi akustik ( $Z_{ii}$ ) sampel tanah liat

| Waktu tempuh (s) |        |           |
|------------------|--------|-----------|
| Jenis gelombang  | Sampel | Hasil     |
| Pressure wave    | 1      | 0,0000975 |
|                  | 2      | 0,000105  |
|                  | 3      | 0,000125  |

dibutuhkan sinyal ultrasonik dimulai saat sinyal ultrasonik ditembakkan ke sampel uji hingga diterima oleh USR. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa waktu tempuh untuk pengukuran impedansi akustik memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan dengan waktu tempuh *speed*. Hal ini dikarenakan penempatan UST dan USR yang sejajar, menyebabkan pergerakan sinyal *echo* harus bergerak seperti pada arah panah pada Gambar 2(b). Hasil perhitungan waktu tempuh dapat ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

#### H. Nilai Speed (C)

Setelah mendapatkan nilai waktu tempuh, kemudian peneliti menghitung nilai *speed*. Nilai *speed* ini merepresentasikan nilai kecepatan propagasi gelombang suara dalam material. Dengan implementasi Persamaan (1), dapat diketahui bahwa sampel uji 1 memiliki nilai *speed* yang paling besar diantara sampel uji lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel uji 1 memiliki tingkat kepadatan yang terbesar di antara sampel uji lainnya. Hasilnya perhitungan nilai *speed* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengukuran *speed* tanah liat

| Speed (m/s)     |        |       |
|-----------------|--------|-------|
| Jenis Gelombang | Sampel | Hasil |
| Pressure wave   | 1      | 636   |
|                 | 2      | 491   |
|                 | 3      | 434   |

Tabel 6. Pengukuran  $V_{rms}$  sampel tanah liat

| $V_{rms}$ (v)   |        |       |
|-----------------|--------|-------|
| Jenis Gelombang | Sampel | Hasil |
| Pressure wave   | 1      | 0,008 |
|                 | 2      | 0,006 |
|                 | 3      | 0,004 |

### I. Nilai $V_{rms}$

Setelah didapatkan awal mulai sinyal *echo*, kemudian sinyal *echo* dilakukan perhitungan  $V_{rms}$ . Perhitungan nilai  $V_{rms}$  ini untuk mengetahui besar tegangan puncak sinyal *echo*. Dalam penelitian ini, gelombang yang digunakan merupakan gelombang sinusoidal. Maka nilai  $V_{rms}$  dapat dihitung melalui Persamaan (6). Data sinyal *echo* yang dilakukan perhitungan  $V_{rms}$  hanya untuk data sinyal *echo* dengan pengukuran impedansi akustik saja.

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}, \quad (6)$$

dimana  $V_p$  adalah tegangan puncak dari sinyal. Hasil perhitungan nilai  $V_{rms}$  ditunjukkan pada Tabel 6.

### J. Nilai Impedansi Akustik ()

Setelah didapatkan nilai  $V_{rms}$ , kemudian nilai  $V_{rms}$  ini diimplementasikan terhadap Persamaan (2) dan (3) untuk di dapatkan nilai resistansi material dari gelombang ultrasonik yang disebut sebagai impedansi akustik ( $Z_{ul}$ ) pada setiap sampel uji. Adapun hasil perhitungan  $Z_{ul}$  ditunjukkan pada Tabel 7.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada ketiga sampel uji yang berupa tanah liat, dengan menggunakan dua buah sensor ultrasonik dapat disimpulkan bahwa frekuensi *echo* dan periode *echo* pada teknik pengukuran *speed* untuk sampel uji 1 dan 3 memiliki nilai yang sama yaitu sebesar  $f = 42,16$  kHz dan  $T = 23,7$  s, untuk sampel uji 2 sebesar  $f = 40,16$  kHz dan  $T = 24,9$  s. Sedangkan dengan teknik pengukuran impedansi akustik pada ketiga sampel uji memiliki frekuensi *echo* dan periode *echo* yang sama yaitu sebesar  $f = 40,16$  kHz dan  $T = 24,9$  s. Metode pendeteksian awal mulai *echo* dengan metode *threshold* amplitudo tidak dapat diterapkan pada sampel uji 2 dan 3 untuk teknik pengukuran impedansi akustik dikarenakan garis *threshold* terlebih dahulu menyentuh

Tabel 7. Pengukuran impedansi akustik ( $Z_{ul}$ ) sampel tanah liat

| $Z_{ul}$ (Ns/m <sup>3</sup> ) |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|
| Jenis Gelombang               | Sampel | Hasil  |
| Pressure wave                 | 1      | 474640 |
|                               | 2      | 408080 |
|                               | 3      | 405639 |

sinyal *noise*. Sedangkan dengan metode yang diajukan peneliti dapat diterapkan kepada seluruh sampel uji tanpa menyentuh sinyal *noise*. Hasil pengkarakterisasian sampel tanah liat yaitu pada sampel uji 1 yang memiliki *density* sebesar 1856,97573 g/m<sup>3</sup> memiliki nilai  $C = 636$  m/s serta nilai  $= 474640$  Ns/m<sup>3</sup>. Sedangkan sampel uji 2 yang memiliki *density* sebesar 1792,94208 g/m<sup>3</sup> memiliki nilai  $C = 491$  m/s  $= 408080$  Ns/m<sup>3</sup>, dan untuk sampel uji 3 yang memiliki *density* sebesar 1663,85025 g/m<sup>3</sup> memiliki nilai  $C = 434$  m/s serta nilai  $= 405639$  Ns/m<sup>3</sup>. Berdasarkan hal ini pengkarakterisasian tanah liat terkondisi menunjukkan dengan besarnya nilai *density* mengindikasikan nilai *speed* dan impedansi akustik yang juga besar.

## REFERENSI

- [1] J. J. G. España, J. A. J. Builes, and A. F. J. Tabares, "Ultrasonic sensor for industrial inspection based on the acoustic impedance," In Proc. 2015 20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision (STSIVA), 2015, pp. 1-6.
- [2] Lu, Youyuan. T. "Non-destructive Evaluation on Concrete Materials and Structures using Cement-based Piezoelectric Sensor," Ph.D THESIS, Civil and Environmental Engineering, 2010.
- [3] J. Krautkrämer and H. Krautkrämer, *Ultrasonic testing of materials*. Berlin Heidelberg: Springer, 2013.
- [4] G. Andria, F. Attivissimo, N. Giaquinto, and P. Bari, "Digital signal processing techniques for accurate ultrasonic sensor measurement," *Measurement*, vol. 30, no. 2, Sep., pp. 105-114, 2001.
- [5] Yoon, Myung-Hyun, "New ultrasonic signal processing techniques for NDE applications," (1994). Retrospective Theses and Dissertations. 10527.
- [6] A. Hammad, A. Hafez, and M. T. Elewa, "A LabVIEW Based Experimental Platform for Ultrasonic Range Measurements," *DSP Journal*, vol. 6, no. 2, Feb., pp. 1-8, 2007.
- [7] S. Jiang, C. Yang, R. Huang, C. Fang and T. Yeh, "An Innovative Ultrasonic Time-of-Flight Measurement Method Using Peak Time Sequences of Different Frequencies: Part I," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 3, Mar., pp. 735-744, 2011.
- [8] H. Yoon, Y. J. Kim, H. S. Kim, J. W. Kang, and H. Koh, "Evaluation of Early-Age Concrete Compressive Strength with Ultrasonic Sensors," *Sensors (Basel)*, vol. 17, no. 8, Aug., pp. 1-15, 2017.
- [9] D. J. Hart, Ultrasonic Velocities in Unconsolidated Sand / Clay Mixtures at Low Pressures, American Geophysical Union 1999 Fall Meeting, San Francisco, CA (US), 15 Oct 1999.
- [10] J. A. Bogas, M. G. Gomes, and A. Gomes, "Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method," *Ultrasonics*, vol. 53, no. 5, pp. 962-972, 2013.

- [11] A. I. Gunawan, B. S. B. Dewantara, T. B. Santoso, I. D. Wicaksono, E. B. Prastika, and C. E. Prianto, "Characterizing acoustic impedance of several saline solution utilizing range finder acoustic sensor," In Proc. *2017 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, 2017, pp. 212-216.
- [12] P. N. W. Verhoef, *Geologi untuk Teknik Sipil*, Erlangga, 1989.
- [13] J. Bergstra and Y. Bengio, "Random Search for Hyper-Parameter Optimization," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 13, no. 1, Jan., pp. 281–305, 2012.

**Penerbit:**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: [rekayasa.elektrika@unsyiah.net](mailto:rekayasa.elektrika@unsyiah.net)

Telp/Fax: (0651) 7554336

