

# Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 14 NOMOR 3

Desember 2018

<b>Analisis Kinerja Protokol Routing AODV, DSR, dan OLSR pada Mobile Ad hoc Network Berdasarkan Parameter Quality of Service</b>	145-151
<i>Alamsyah, I Ketut Eddy Purnama, Eko Setijadi, dan Mauridhi Hery Purnomo</i>	
<b>Self-Organisation Network (SON) dengan Mekanisme Load Balancing</b>	152-157
<i>Ardian Ulvan, Khotibul Umam Fahmi, Melvi, dan Robert Bestak</i>	
<b>Sistem Minimum Berbasis Mikrokontroler ATmega2560 sebagai Sistem Pengaman pada Analogi Lemari Penyimpanan Brankas</b>	158-166
<i>Muchammad Takdir Sholehati dan Arief Goeritno</i>	
<b>Sistem Portable Dashboard Berbasis Android untuk Mobil Listrik</b>	167-173
<i>Bambang Sumantri, Anggita Abimayu, dan Ni'am Tamami</i>	
<b>Pengenalan Gestur Jari Menggunakan Pengolahan Citra untuk Mengendalikan Joint pada Base Robot Lengan</b>	174-180
<i>Ali Rizal Chaidir, Wahyu Muldayani, dan Guido Dias Kalandro</i>	
<b>Robot Keseimbangan Beroda Dua dengan Sistem Kontrol Keseimbangan dan Posisi Menggunakan Metode PID Bertingkat</b>	181-188
<i>Niam Tamami, Ibrahim Muhammad Diin, Bambang Sumantri, dan Endra Pitowarno</i>	
<b>Pemantauan Energi Listrik pada Satu kWh-meter Fase Tunggal untuk Empat Kelompok Beban Berbasis Metode Payload Data Handling</b>	189-197
<i>Suhendri dan Arief Goeritno</i>	
<b>Auskultasi Jarak Jauh untuk Pengukuran dan Perekaman Sinyal Suara Jantung</b>	198-204
<i>Eka Sari Oktarina, Ira Puspasari, dan Jusak Jusak</i>	
<b>Pengendalian Kecepatan Gerak Quadcopter Berbasis IMU pada Gerakan Tangan dengan Metode Template Matching</b>	205-213
<i>Nofria Hanafi, Abdul Mu'iz Miftahudin, Naufal Ali Akbar C, dan R. Sanggar Dewanto</i>	
<b>Implementasi Bat Algorithm dalam Optimasi Penempatan Femtocell</b>	214-220
<i>Nifty Fath, Eka Purwa Laksana, dan Rummi Sirait</i>	

# Analisis Kinerja Protokol Routing AODV, DSR, dan OLSR pada Mobile Ad hoc Network Berdasarkan Parameter Quality of Service

Alamsyah<sup>1,2</sup>, I Ketut Eddy Purnama<sup>1,3</sup>, Eko Setijadi<sup>1</sup>, dan Mauridhi Hery Purnomo<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya  
Kampus ITS Sukolilo Gedung B dan AJ, Keputih, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu  
Jl. Soekarno Hatta Km. 9 Tondo, Palu 94118

<sup>3</sup>Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya  
Kampus ITS Sukolilo Gedung B dan C, Keputih, Surabaya 60111  
e-mail: alamsyah14@mhs.ee.its.ac.id

**Abstrak**—*Mobile adhoc network (MANET)* bekerja secara otonom, terkonfigurasi secara mandiri, dan dapat diterapkan pada lokasi darurat seperti kebakaran hutan, gempa bumi, banjir, dan pemantauan kesehatan. Namun, tantangan dan kesulitan yang dihadapi MANET adalah sistem jaringan yang dibangun bersifat dinamis, tanpa didukung oleh infrastruktur tetap dalam berkomunikasi antara node satu dengan node lain, dan sumber energi yang terbatas. Untuk mengatasi permasalahan MANET dan memperoleh kualitas jaringan yang optimal, maka pemilihan protokol routing dalam mendukung *quality of service (QoS)* sangat penting dalam perancangan MANET. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja protokol routing dari *dynamic source routing (DSR)*, *ad hoc on demand distance vector (AODV)*, dan *optimized link state routing (OLSR)* berdasarkan QoS. Parameter QoS yang dianalisis meliputi *packet delivery ratio (PDR)*, *packet loss*, *throughput*, dan *delay*. Hasil simulasi menggunakan *network simulator* menunjukkan bahwa OLSR memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan AODV dan DSR dalam hal PDR, *packet loss*, *throughput*, dan *delay*.

**Kata kunci:** *mobile adhoc network (MANET)*, *AODV*, *DSR*, *OLSR*, *quality of service (QoS)*

**Abstract**— MANET is autonomous, self-configured, and applicable to emergency locations such as forest fires, earthquakes, floods, and health monitoring. However, challenges and difficulties faced by the mobile ad-hoc network (MANET) is a dynamically built network system, without the support of infrastructure in communicating between one node and other nodes, and limited energy sources. To overcome MANET problems and to obtain optimal network quality, the selections of routing protocols and quality of service (QoS) are significant in MANET design. This study aims to analyze the performance of routing protocols: dynamic source routing (DSR), ad-hoc on demand distance vector (AODV) and optimized link state routing (OLSR) based on QoS. The analyzed QoS parameters include packet delivery ratio (PDR), packet loss, throughput, and delay. Simulation results using network simulator version based on the number of node densities indicate that OLSR has better performance compared to AODV and DSR regarding PDR, packet loss, throughput, and delay.

**Keywords:** *mobile adhoc network (MANET)*, *AODV*, *DSR*, *OLSR*, *quality of service (QoS)*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

*Mobile ad hoc network (MANET)* [1] bekerja dengan sistem otonom, terkonfigurasi secara mandiri, mampu berkomunikasi satu sama lain dengan menggunakan perangkat komunikasi seperti laptop, telepon seluler atau gadget lainnya. MANET dapat diterapkan pada lokasi yang tidak memiliki infrastruktur tetap seperti pemantauan kesehatan jantung untuk daerah terpencil [2], zona perang, dan kondisi daerah bencana alam seperti kebakaran hutan, banjir dan gempa bumi. Namun, tantangan dan kesulitan yang dihadapi MANET adalah *node* bergerak dengan cepat

dan tak terduga berubah seiring waktu dalam jaringan (bersifat dinamis) akibat jangkauan transmisi terbatas dari *node*, serta komunikasi yang digunakan antara *node* dengan *node* lain tidak didukung oleh infrastruktur [3], dan sumber energi yang terbatas [4]. Akibat sistem tanpa didukung oleh infrastruktur dan *node* bergerak secara bebas menyebabkan terjadinya perubahan topologi jaringan, *node* akan sulit diprediksi apakah sebagai *host* atau *router* [5], dan transmisi paket diperlukan beberapa kali untuk mencapai tujuannya.

Untuk mengatasi permasalahan MANET dan memperoleh kualitas jaringan yang baik agar pengiriman

data informasi sampai ke tujuan, maka pemilihan protokol *routing* sangat penting dalam perancangan MANET. Protokol *routing* pada dasarnya berkaitan dengan dua proses, yaitu menentukan rute optimal dan pengiriman informasi (paket) melalui jaringan.

Beberapa peneliti telah mengangkat topik MANET khususnya dalam menganalisis kinerja protokol *routing* reaktif dan proaktif, diantaranya menganalisis kinerja protokol *routing* reaktif (AODV, DSR) berdasarkan jumlah dan kecepatan *node*, serta pengaruh penggunaan model mobilitas *random way point* dan *random walk*. Hasil simulasi jaringan yang digunakan menunjukkan bahwa protokol AODV lebih baik dibandingkan dengan DSR pada setiap penambahan jumlah dan kecepatan *node* [6]. Protokol DSR efektif pada jumlah dan kecepatan *node* yang lebih kecil [7], serta memiliki kinerja yang lebih baik daripada AODV dalam hal PDR, *throughput*, dan *delay*. Namun, kedua peneliti belum mengevaluasi kinerja protokol *routing* proaktif dan jumlah *node* yang digunakan masih terbatas.

Perbandingan kinerja protokol *routing* reaktif (AODV, DSR, TORA) berdasarkan parameter QoS seperti PDR, *throughput*, dan *delay* diusulkan [8], serta kepadatan *node* yang diusulkan [9] menggunakan simulasi OPNET. Dimana pada keduanya menunjukkan bahwa AODV memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan DSR dan TORA. Protokol TORA lebih baik dibandingkan dengan AODV dan DSR dalam hal *routing overhead* (RO). Namun kedua peneliti belum mengevaluasi kinerja protokol *routing* proaktif dan jumlah *node* yang digunakan hanya maksimal 100.

Studi literatur protokol *routing* AODV, DSR, dan AOMDV berdasarkan parameter PDR, *throughput*, *routing overhead*, dan *delay*. Hasil *review* paper menunjukkan bahwa AODV memiliki kinerja PDR yang lebih baik dibandingkan AOMDV dan DSR [10]. Namun, peneliti tidak menjelaskan secara lengkap parameter simulasi yang digunakan. Sedangkan yang diusulkan [11] menunjukkan bahwa protokol AOMDV memiliki kinerja *delay* yang lebih baik dibandingkan dengan AODV dan DSR dalam hal *delay*.

Kinerja protokol *routing* AODV berdasarkan jumlah *node* dengan parameter yang digunakan seperti PDR, *routing overhead*, dan *latency* diusulkan [12] menggunakan OMNET menunjukkan bahwa AODV memiliki kinerja PDR yang lebih baik pada 10 *node* dan kinerja RO yang lebih baik pada 50 *node*. Namun, peneliti hanya fokus pada penelitian AODV, tidak mengembangkan pada protokol *routing* reaktif lainnya.

Kinerja protokol *routing* reaktif dan proaktif berdasarkan parameter, seperti PDR, *routing overhead*, *throughput*, dan *delay* dengan jumlah *node* yang digunakan sebanyak 30 dan ukuran paket sebesar 64 KBps, 256 KBps, 1024 KBps diusulkan [13]. Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa AODV memiliki kinerja yang lebih baik dalam hal *throughput* dan *delay*. Sedangkan DSR memiliki kinerja lebih baik dalam hal PDR. Secara keseluruhan, AODV memiliki kinerja yang lebih baik

dibandingkan dengan DSR dan DSDV berdasarkan rata-rata penambahan jumlah *node*. Namun, peneliti hanya menggunakan jumlah *node* sebanyak 30.

Perbandingan kinerja protokol *routing* reaktif (AODV) dan proaktif (DSDV) dengan menggunakan parameter PDR dan *delay* diusulkan [14]. Hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan NS2 menunjukkan bahwa protokol *routing* AODV dan DSDV memiliki kelebihan dan kekurangan. AODV memiliki kinerja yang lebih baik dalam hal *delay* dan DSDV memiliki kinerja yang lebih baik dalam hal PDR. Namun, peneliti tidak mengevaluasi parameter *throughput* dan *routing overhead*.

Analisis pengaruh kepadatan *node* dan *pause time* pada protokol *routing* AODV, DSDV, dan OLSR menggunakan NS3 menunjukkan bahwa OLSR memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan AODV dan DSDV dari semua parameter, baik pada penambahan *node* maupun pada penambahan *pause time*. AODV dan DSDV memiliki kinerja yang lebih baik hanya pada jumlah *node* dan *pause time* tertentu [15]. Untuk kondisi pemantauan kesehatan, dimana kinerja OLSR lebih baik dibandingkan dengan AODV dan DSDV dalam hal *packet delivery ratio*, dan *throughput* [16]. Namun, peneliti hanya menggunakan maksimal 100 *node*.

Perbandingan kinerja protokol DSR, AODV, dan DSDV pada MANET menggunakan NS2 menunjukkan bahwa AODV memiliki kinerja yang lebih baik daripada DSR dan DSDV untuk semua parameter. DSR hanya unggul dalam hal *throughput* [17]. Namun, OLSR belum dievaluasi.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja kualitas jaringan protokol *routing* reaktif (AODV, DSR) dan proaktif (OLSR) dengan jumlah *node* yang bervariasi dari 25 sampai 200. Kinerja protokol *routing* dianalisis berdasarkan parameter *quality of service* (QoS) seperti PDR, *throughput*, *packet loss*, dan *delay*. Pembahasan penelitian ini disusun sebagai berikut. Bagian I berisi permasalahan, solusi dalam meningkatkan kualitas jaringan pada MANET, dan penelitian yang terkait dengan MANET. Bagian II studi pustaka yang membahas klasifikasi protokol *routing* AODV, DSR, dan OLSR pada MANET. Bagian III metode penelitian yang digunakan. Bagian IV hasil dan pembahasan, dan bagian V kesimpulan dari hasil penelitian yang diperoleh.

## II. STUDI PUSTAKA

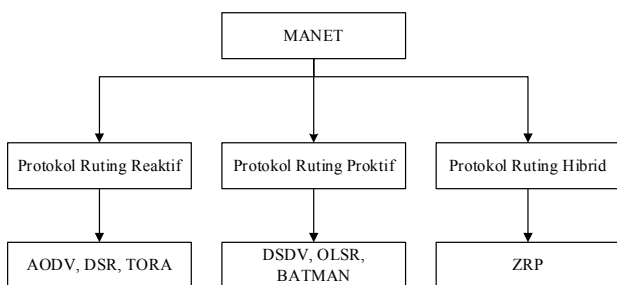
Beberapa metode telah dipertimbangkan dalam klasifikasi protokol *routing* di MANET. Klasifikasi ini didasarkan pada skema jaringan dan *routing*. Perubahan topologi jaringan dinamis memerlukan sistem komunikasi *multi-hop* dan skema *routing* yang handal. Jadi faktor *routing* merupakan salah satu aspek yang penting dan tantangan terbesar dalam menemukan rute optimal (jalur terpendek) dalam mentransfer paket dari sumber ke tujuan.

*Routing* pada MANET (Gambar 1) dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian utama, yaitu: 1) protokol *routing* proaktif; protokol ini saling bertukar

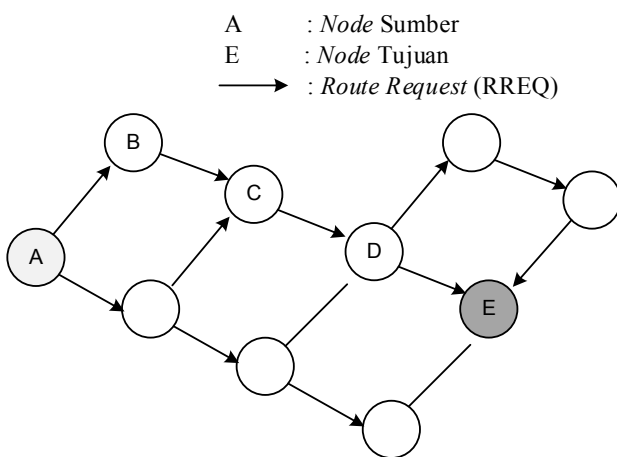
informasi topologi antar *node*. Setiap *node* menyiarkan rute dari tabel *routing* secara berkala ke tetangganya. Kelebihan utama protokol ini adalah memiliki waktu respon yang singkat dalam menemukan rute dari sumber ke tujuan karena informasi *up-to-date* dari setiap *node*. Contoh protokol *routing* proaktif adalah OLSR, DSDV, dan BATMAN, 2) protokol *routing* reaktif; protokol ini menetapkan rute saat diperlukan saja dan tidak menyimpan semua rute. Sebuah *node* tidak menyiarkan tabel *routing* secara berkala tetapi meningkatkan *bandwidth* jaringan. Contoh protokol *routing* reaktif adalah AODV, AOMDV, TORA, dan DSR, dan 3) protokol *routing* hibrid; protokol ini merupakan gabungan antara protokol *routing* proaktif dan reaktif yang mampu memberikan solusi lebih baik dibandingkan dengan protokol *routing* tertentu. Contoh protokol *routing* hibrid adalah ZRP [18].

A. Protokol Routing AODV

AODV merupakan protokol *routing* reaktif dalam membuat rute berdasarkan permintaan dan nomor urut digunakan dalam menemukan rute tujuan terbaru. AODV mengelola informasi terbaru dengan menggunakan prosedur penemuan rute dan tabel *routing* yang diperbarui [19]. *Node* tujuan hanya menjawab sekali ketika permintaan yang keluar diabaikan dan hanya menanggapi permintaan pertama. Selanjutnya, perubahan topologi jaringan harus dikirim hanya ke *node* yang akan membutuhkan informasi. Namun, kerugian AODV adalah pengiriman paket yang berlebihan menyebabkan terjadinya *routing overhead* dan



Gambar 1. Klasifikasi protokol *routing* pada MANET



Gambar 2. Paket *route request* (RREQ) pada AODV

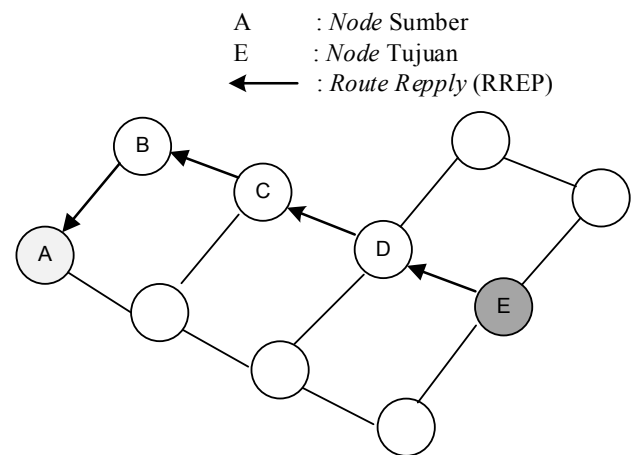
tidak mendukung hubungan asimetris.

AODV memiliki mekanisme *route request* (RREQ) dan *route reply* (RREP), dan *route error* (RERR). Gambar 2 dan 3 menunjukkan ketika *node* mentransmisikan pesan ke tujuan baru, maka pada saat itu diperlukan *node* sumber menyiarkan pesan RREQ. *Node* menerima balasan RREQ hanya jika memiliki rute ke tujuan bersama dengan nomor urut yang lebih besar atau sama dengan yang terdapat dalam RREQ. Jika *node* sumber telah menemukan rute tujuan maka *node* tujuan akan mengirim pesan respon berupa paket *route reply* (RREP).

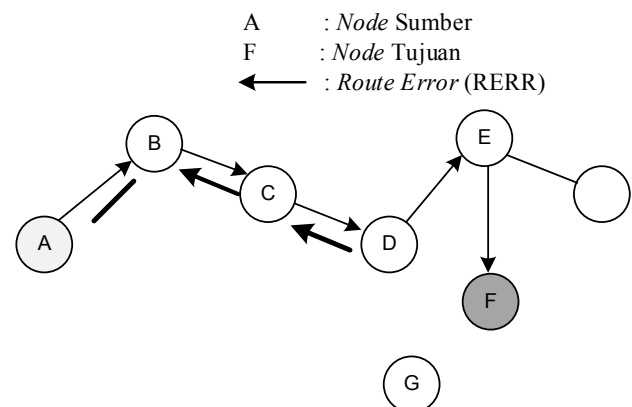
Gambar 4 menunjukkan pesan kesalahan menggunakan paket RERR dalam tahap pemeliharaan rute. Permintaan rute menggunakan paket RREQ dan RREP dipertimbangkan. Namun, pada paket kesalahan rute dan tahap pemeliharaan rute dihasilkan karena kegagalan rute. Proses RREP sama dengan permintaan rute tetapi dilakukan dalam urutan terbalik.

B. Protokol Routing DSR

DSR adalah protokol *routing* reaktif yang beroperasi pada dua prinsip seperti *routing* dan *caching* [20]. Proses penemuan rute dimulai hanya ketika rute yang diinginkan tidak dapat ditemukan di rute *cache*. Penggunaan sumber *routing* oleh DSR dengan menentukan urutan lompatan

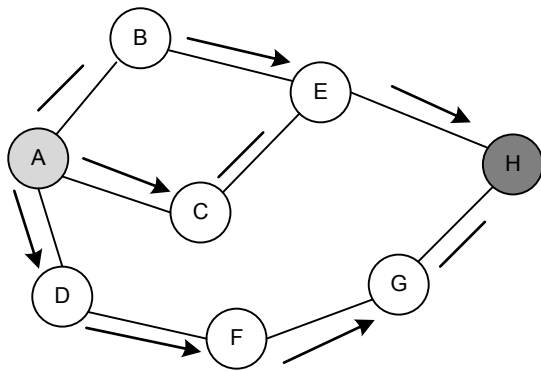


Gambar 3. Paket *route reply* (RREP) pada AODV

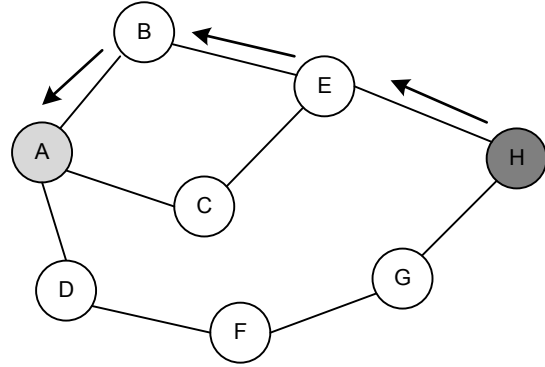


Gambar 4. Paket *route error* (RERR)

A : Node Sumber  
 H : Node Tujuan  
 → : Route Request (RREQ)

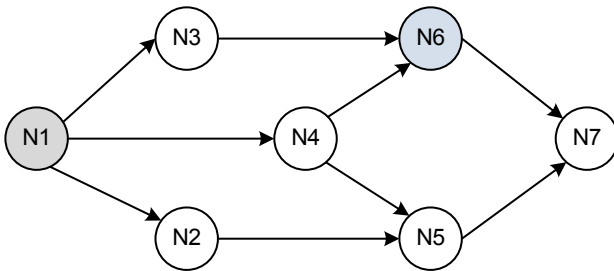


A : Node Sumber  
 H : Node Tujuan  
 ← : Route Reply (RREP)



Gambar 5. Paket RREQ dan RREP pada DSR

N1 : Node Sumber  
 N6 : Node Tujuan  
 $TC(N6) = (N2, N3, N4)$



Gambar 6. Pengaturan pengiriman pesan pada OLSR

ketika setiap melintasi *node*. Protokol DSR memiliki dua mekanisme utama yaitu *route discovery* dan *route maintenance*. Kedua mekanisme ini bekerja sama untuk memungkinkan *node* dalam menemukan dan memelihara rute ke tujuan.

Pada *route discovery* terjadi pada saat *node* sumber yang ingin mengirim paket ke *node* tujuan dalam menemukan rute. Proses penemuan rute dimulai oleh *node* sumber dengan membanjiri paket RREQ untuk komunikasi antar *node*.

Setiap *node* akan mengikuti tiga instruksi, yaitu: 1) jika *node* menerima paket RREQ dari *node* tujuan maka *node* tersebut harus menerima paketnya, 2) jika bukan *node* tujuan, maka tambahkan identitas (Id) pada *node* dan teruskan paketnya, dan 3) jika *node* telah menerima paket sebelumnya, maka paket tersebut dikeluarkan. *Route maintenance* bekerja dengan mempertahankan jeda rute dari *node* sumber ke *node* tujuan selama transmisi. Protokol DSR menggunakan *route maintenance* untuk mendeteksi rute apakah terjadi kerusakan atau perubahan topologi jaringan selama proses transmisi. Jika terjadi kerusakan maka dilakukan pencarian rute alternatif dan fase penemuan rute baru menuju *node* tujuan. Gambar 5 merupakan sistem kerja pengiriman paket RREQ dan RREP pada DSR.

### C. Protokol Routing OLSR

OLSR adalah salah satu protokol *routing* proaktif yang dikembangkan berdasarkan algoritma *link state routing* dan menggunakan teknik dalam mengekstrak informasi yang berkaitan dengan topologi jaringan [21]. OLSR memiliki kelebihan terkait dengan *delay* karena bersifat *routing table*. Namun, sifatnya yang secara terus menerus *update routing table* menyebabkan *routing overhead*. Untuk mengatasi tingginya *overhead*, maka OLSR menggunakan teknik MPR, dimana hanya *node* MPR yang terpilih dapat meneruskan paket kontrol pada setiap *node* dalam jaringan [22]. MPR berfungsi untuk mengurangi jumlah pengiriman pesan informasi yang berlebihan dan mengurangi terjadinya redundansi pengiriman paket pada setiap *node* [23]. Gambar 6 mengilustrasikan pemrosesan pesan *topology control* (TC) paket dari N1 (*node* sumber) ke N6 (*node* tujuan). Sedangkan N2, N3, dan N4 merupakan *node* tetangga.

## III. METODE

### A. Simulasi

Kinerja protokol *routing* AODV, DSR, dan OLSR pada MANET dievaluasi menggunakan NS2 versi 2.35 [24], skrip AWK [25], dan bahasa perintah (Tcl). Simulasi ini banyak digunakan peneliti dalam berbagai jenis penelitian jaringan [26]. Luas area yang digunakan adalah 1000 m x 1000 m dengan menggunakan propagasi model *two ray* [27] dan jumlah *node* yang bervariasi dari 25 sampai 200. Tabel 1 menunjukkan parameter simulasi.

Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi komputer. Ada dua bagian penting dari metode penelitian ini adalah sebagai berikut.

### B. Parameter Quality of Service (QoS)

QoS merupakan mekanisme atau cara yang memungkinkan layanan dapat beroperasi sesuai dengan

Tabel 1. Random motion model

Parameter	Deskripsi
Program simulasi	NS 2.35
Sistem operasi	Ubuntu 14.04
Protokol routing	AODV, DSR, OLSR
Jumlah node	25, 50, 75, 100, 150, 200
Radio propagation model	TwoRay Model
Waktu simulasi	200 detik
Ukuran paket	512 byte
Protokol MAC	IEEE.802.11
Model mobilitas	Random Motion Model

karakteristiknya masing-masing dalam jaringan IP [28]. Untuk menghasilkan kualitas jaringan yang optimal untuk sampai ke tujuan dengan tepat waktu diperlukan standar QoS [29]. Parameter QoS yang dianalisis adalah PDR, *throughput*, *packet loss*, *delay*, RO dan TC dengan menggunakan NS2.

### 1. Packet Delivery Ratio (PDR)

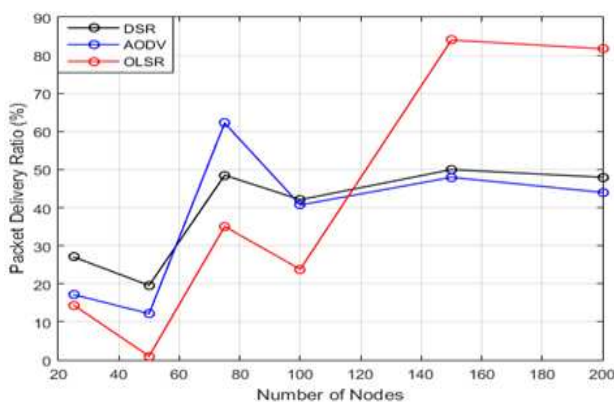
PDR adalah jumlah paket yang berhasil diterima oleh *node* tujuan berbanding dengan total paket yang dikirim oleh *node* sumber. PDR merupakan salah satu parameter dalam QoS untuk menentukan tingkat keberhasilan sebuah protokol *routing*.

$$PDR = \frac{\text{paket yang dikirim}}{\text{paket yang diterima}} \times 100\% \quad (1)$$

### 2. Throughput

*Throughput* adalah kecepatan rata-rata data yang diterima oleh suatu *node* dalam selang waktu pengamatan tertentu. *Throughput* menggambarkan kondisi *data rate* dalam suatu jaringan. Semakin tinggi nilai *throughput* yang dihasilkan, maka protokol *routing* memiliki kinerja yang lebih baik.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{jumlah paket yang dikirim}}{\text{waktu pengiriman paket}} \quad (2)$$



Gambar 7. Hasil simulasi PDR

### 3. Packet Loss

*Packet Loss* diukur sebagai persentase paket yang hilang sehubungan dengan paket yang dikirim antara *node* sumber ke *node* tujuan. Paket hilang terjadi ketika satu atau lebih paket data yang melewati suatu jaringan gagal mencapai tujuan.

$$\text{Packet loss} = \frac{\text{paket yang mengalami loss}}{\text{paket yang dikirim}} \quad (3)$$

### 4. Delay

*Delay* merupakan waktu yang dibutuhkan dalam pengiriman data. Faktor yang mempengaruhi *delay* adalah waktu yang dibutuhkan protokol dalam menemukan rute.

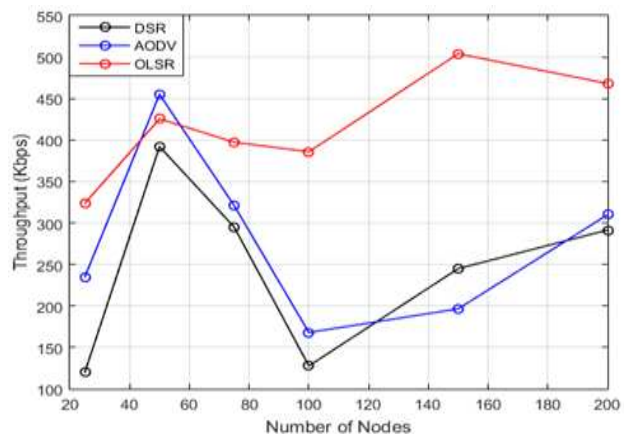
$$\text{Delay} = \text{waktu pengiriman} - \text{waktu penerimaan} \quad (4)$$

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

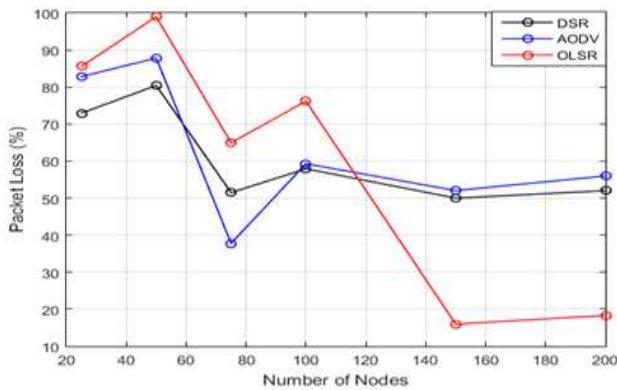
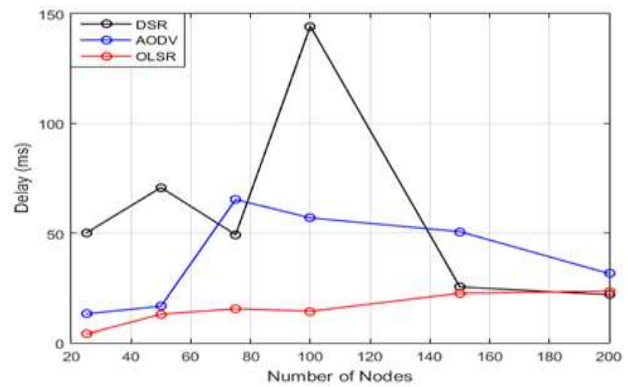
Analisis kinerja protokol *routing* AODV, DSR dan OLSR berdasarkan QoS dilakukan dengan jumlah *node* yang bervariasi dari 25 sampai 200 dengan kecepatan tetap sebesar 20 m/s.

Gambar 7 menunjukkan kinerja PDR berdasarkan jumlah kepadatan *node*. Pergerakan nilai PDR pada 25 sampai 200 *node* untuk DSR, AODV, OLSR adalah sama dan cenderung tidak stabil. Namun, OLSR memiliki kinerja PDR yang lebih baik dibandingkan dengan DSR dan AODV. Rata-rata nilai PDR untuk OLSR sebesar 39,99%, DSR sebesar 39,18%, dan AODV sebesar 33,06%. Peningkatan rata-rata PDR pada OLSR disebabkan oleh kemampuan OLSR dalam memilih *node* MPR minimal 2-hop. Sehingga rute yang terbentuk dari *node* sumber ke *node* tujuan lebih pendek. Hal ini menyebabkan jumlah paket data yang terkirim berhasil diterima oleh *node* tujuan.

Gambar 8 menunjukkan pergerakan nilai *throughput* pada 25 sampai 200 *node* untuk DSR, AODV, OLSR adalah sama dan cenderung tidak stabil. Namun, kinerja OLSR memiliki *throughput* lebih baik dibandingkan dengan DSR dan AODV. Rata-rata nilai *throughput* untuk OLSR sebesar 417,38 Kbps, DSR sebesar 245,20 Kbps,



Gambar 8. Hasil simulasi *throughput*

Gambar 9. Hasil simulasi *packet loss*Gambar 10. Hasil simulasi *delay*

dan AODV sebesar 280,92 Kbps. Peningkatan *throughput* pada OLSR disebabkan oleh konsep OLSR dalam penyebaran paket menggunakan konsep pesan “Hello” dan pesan “*topology control* (TC)”. Sedangkan AODV hanya menggunakan pesan “Hello”, begitu pula dengan DSR dalam penyebaran paket tidak menggunakan pesan “Hello” dan “TC”.

Gambar 9 menunjukkan pergerakan nilai *packet loss* pada 25 sampai 200 *node* untuk DSR, AODV, OLSR adalah sama dan cenderung tidak stabil dengan bertambahnya jumlah *node*. Namun, kinerja protokol OLSR memiliki *packet loss* yang lebih baik dibandingkan dengan protokol DSR dan AODV. Rata-rata nilai *packet loss* untuk protokol OLSR sebesar 60,01%, DSR sebesar 60,80% dan AODV sebesar 62,64%.

Gambar 10 menunjukkan kinerja *delay* berdasarkan jumlah kepadatan *node*. Pergerakan nilai *delay* pada 25 sampai 200 *node* untuk DSR dan AODV adalah sama dan cenderung turun pada saat penambahan jumlah *node*. Sedangkan pergerakan protokol OLSR adalah cenderung naik dalam setiap penambahan jumlah *node*. Namun, kinerja protokol OLSR memiliki rata-rata *delay* yang lebih baik dibandingkan dengan protokol DSR dan AODV.

Rata-rata nilai *delay* untuk protokol OLSR sebesar 15,52 millidetik, DSR sebesar 60,31 millidetik dan AODV sebesar 39,07 millidetik. Penurunan *delay* yang dihasilkan oleh OLSR disebabkan oleh karakteristik yang memiliki kemampuan dalam menemukan rute dengan cepat selama proses pengiriman. Informasi rute pada protokol *routing* ini diperbaharui secara berkala berdasarkan interval waktu yang sudah ditentukan (tabel *routing*). Tersedianya tabel *routing* tentunya membutuhkan waktu yang lebih cepat dalam menemukan rute. Sedangkan AODV dalam pencarian rute berdasarkan kebutuhan atau permintaan dari pengirim ke *node* tujuan. Hal ini menyebabkan protokol AODV membutuhkan waktu yang cukup lama dalam menemukan rute dari *node* sumber ke *node* tujuan.

## V. KESIMPULAN

Hasil simulasi yang dilakukan berdasarkan perubahan jumlah *node* menunjukkan bahwa kinerja OLSR lebih baik daripada DSR dan AODV dalam hal PDR sebesar 39,99%, *throughput* sebesar 417,38 Kbps, *packet loss*

sebesar 60,01%, dan *delay* sebesar 15,52 millidetik. Kinerja protokol OLSR lebih baik pada semua parameter dibandingkan dengan DSR dan AODV. Hal ini disebabkan oleh kemampuan OLSR mengadopsi konsep MPR dalam menentukan rute dan mereduksi paket dalam setiap *node*. Kinerja *delay* yang dihasilkan OLSR lebih baik dibandingkan dengan DSR dan AODV disebabkan oleh adanya ketersediaan informasi rute (*routing table*) yang diperbaharui secara berkala dengan interval waktu yang telah ditentukan.

Protokol *routing* OLSR sangat mendukung untuk diterapkan pada jaringan dengan jumlah *node* yang lebih padat. Sedangkan protokol *routing* DSR dan AODV cukup efektif pada kondisi jaringan dengan jumlah *node* yang tidak padat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (RISTEKDIKTI) atas bantuan dana Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) dan penelitian disertasi doktor (PDD) yang telah diberikan dalam mendukung penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] P. Sarkar and Hrituparna Paul, “Performance comparison of AODV, DSR, DYMO and TORA routing protocols in mobile ad hoc networks,” *Int. J. of Recent Trends in Engineering and Technology*. India, vol. 11, June 2014.
- [2] T. S. Sollu, Alamsyah, M. Bachtiar, and A. G. Sooi, “Patients’ heart monitoring system based on wireless sensor network,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, pp. 1-10.
- [3] W. Abdou, A. Henriet, C. Bloch, D. Dhoutaut, D. Charlet, and F. Spies, “Using an evolutionary algorithm to optimize the broadcasting methods in mobile ad hoc networks,” *Journal of Network and Computer Applications*. United States, vol. 34, no. 6, pp. 1794-1804, November 2011.
- [4] V. Rishiwal, A. Kush, and Shekhar Verma, “Stable and energy efficient routing for mobile adhoc networks,” in *Proc. 5th IEEE International Conference on Information Technology: New Generations*, April 2008, pp. 1028-1033.
- [5] A. Sherastha and F. Tekiner, “On MANET routing protocols for mobility and scalability,” in *Proc. IEEE International*

- Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies*, Dec. 2009, pp. 451-456.
- [6] O. Kembuan, Widyawan, dan S. S. Kusumawardani, "Analisis kinerja reactive routing protocol dalam mobile ad-hoc network (MANET) menggunakan NS-2 (Network Simulator)," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, Yogyakarta vol. 1, No. 1, hal. 1-7, Mei 2012.
- [7] P. Nayak and P. Sinha, "Analysis of random way point and random walk mobility model for reactive routing protocols for MANET using NetSim simulator," in *Proc. 9th International Conference on Autonomous Infrastructure, Management and Security (AIMS)*, Jan. 2015, pp. 427-432.
- [8] A. K. S. Ali, dan U.V. Kulkarni, "Comparing and analyzing reactive routing protocols (AODV, DSR and TORA) in QoS of MANET," in *Proc. IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, Jan. 2017, pp. 345-348.
- [9] N. Adam, M. Y. Ismail, and J. Abdullah, "Effect of node density on performances of three manet routing protocols," in *Proc. IEEE International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, April 2010, pp. 321-325.
- [10] M. Y. Barange and A. K. Sapkal, "Review paper on implementation of multipath reactive routing protocol in manet," in *Proc. IEEE International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 2016, pp. 227-231.
- [11] T. K. Araghi, M. Zamani, and Abdul Mnaf, "Performance analysis in reactive routing protocols in wireless mobile ad hoc networks using DSR, AODV and AOMDV," in *Proc. IEEE International Conference on Informatics and Creative Multimedia (ICICM)*, Sep. 2013, pp. 81-84
- [12] B. Karthikeyan, N. Kanimozhi, and S. H. Ganesh, "Analysis of Reactive AODV Routing Protocol for MANET," in *Proc. IEEE World Congress on Computing and Communication Technologies (WCCCT)*, 2014, pp. 264-267.
- [13] Y. Bai, Y. Mai, and N. Wang, "Performance comparison and evaluation of the proactive and reactive routing protocols for MANETs," in *Proc. IEEE Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, May 2017, pp. 1-5.
- [14] D. Kumar, A. Srivastava, dan S. C. Gupta, "Performance comparison of pro-active and reactive routing protocols for MANET," in *Proc. e IEEE International Conference on Computer Applications (ICCCA)*, February 2012, pp. 1-4.
- [15] L. Naik, L., R. U. Khan, and R. B. Mishra, "Analysis of node density and pause time effects in MANET routing protocols using NS3," *International Journal of Computer Networks and Information Security*. Hongkong, vol. 12, no. 2, pp. 9-17, December 2016.
- [16] Alamsyah, M. H. Purnomo, I. E. Purnama, dan E. Setijadi, "Performance of the routing protocols AODV, DSDV and OLSR in health monitoring using NS3," in *Proc. IEEE International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, July 2016, pp. 323-328.
- [17] A. Arya and J. Singh, "Comparative study of AODV, DSDV and DSR routing protocols in wireless sensor network using NS-2 simulator," *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol. 5, no. 4, pp. 5053-5056, 2014.
- [18] P. Nayak and P. Sinha, "Analysis of random way point and random walk mobility model for reactive routing protocols for MANET using NetSim simulator," in *Proc. Conference 9th International Conference on Autonomous Infrastructure, Management and Security (AIMS)*, June 2015, pp. 427-432.
- [19] A. Bagwari, R. Jee, P. Joshi, and S. Bisht, "Performance of AODV routing protocol with increasing the MANET nodes and its effects on QoS of mobile ad hoc networks," in *Proc. IEEE International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 2012, pp. 320-324.
- [20] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks", *Mobile Computing*, vol. 353, pp. 153-181, October 2012.
- [21] Y. Ge, T. Kunz, and L. Lamont, "quality of service routing in adhoc networks using OLSR," in *Proc. IEEE 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Jan. 2003.
- [22] T. Rasheed, U. Javaid, M. Jerbi, and K. A. Agha, "Scalable multi-hop ad hoc routing using modified OLSR routing protocol," in *Proc. IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Sept. 2007, pp. 1-6.
- [23] R. Desai and B. P. Patil, "Analysis of routing protocols for ad hoc networks," in *Proc. IEEE International Conference on Circuits, Systems, Communication and Information Technology Applications (CSCITA)*, April 2014, pp. 111-115.
- [24] K. Fall and K. Varadhan, "The ns Manual (formerly ns notes and documentation)," The VINT Project a Collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, 2011.
- [25] A. D. Robbins, "GAWK: Effective AWK programming," 4th ed. Free Software Foundation Publisher, Boston, 2016.
- [26] H. Fitriawan dan A. Wahyudin, "Simulasi kinerja jaringan nirkabel IEEE-802.11a dan IEEE-802.11g menggunakan NS-2," *Jurnal Rekayasa Elektrika*. Aceh, vol. 10, no. 4, Oktober 2013.
- [27] N. Sah and A. Kumar, "CSP algorithm in predicting and optimizing the path loss of wireless empirical propagation models," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*. California, vol. 1, no. 4, pp. 464-472, October 2009.
- [28] T. A. Gani, Rahmad, dan Afdhal, "Aplikasi pengaruh quality of service (Qos) video conference pada trafik H.323 dengan menggunakan metode differentiated service (diffserv)," *Jurnal Rekayasa Elektrika*. Aceh, vol. 9, no. 2, Oktober 2010.
- [29] G. Santhi dan A. Nachiappan, A survey of QoS routing protocols for mobile ad hoc networks. 2010, [cit. 2012-10-23]. URL: <http://airccse.org/journal/jcsit/0810ijcsit11.pdf>



# Self-Organisation Network (SON) dengan Mekanisme Load Balancing

Ardian Ulvan<sup>1</sup>, Khotibul Umam Fahmi<sup>1</sup>, Melvi<sup>1</sup>, dan Robert Bestak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung  
Jl. S. Brodjonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145

<sup>2</sup>Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Electrical Engineering,  
Czech Technical University in Prague  
Technicka 2, Dejvice, Praha 6, 166 27, Czech Republic  
e-mail: ardian.ulvan@eng.unila.ac.id

**Abstrak**—Load balancing adalah salah satu mekanisme yang digunakan pada *self-organisation network* (SON) untuk melakukan keseimbangan *load traffic* pada base station yang kelebihan beban dengan base station yang berdekatan dan *low-loaded*. Load balancing dilakukan melalui pengaturan parameter *handover* untuk mendapatkan keseimbangan trafik jaringan yang optimal. Pada artikel ini parameter yang diatur adalah kapasitas sel, yang sangat dipengaruhi oleh *bandwidth*, tipe modulasi, dan *access rate* yang digunakan *user*. Pengujian dilakukan dengan simulasi dan pengukuran test-bed jaringan. Hasil pengujian pada jaringan *Long Term Evolution Advanced* ditemukan fenomena semakin besar *bandwidth*, kapasitas sel akan semakin besar. Selain itu, semakin tinggi spesifikasi tipe modulasi yang digunakan, kapasitas sel juga akan semakin besar. Di lain pihak, semakin besar bit rate yang digunakan *user*, maka kapasitas sel akan semakin kecil. Analisa hasil perhitungan kapasitas sel ini menjadi dasar operasional prosedur *load balancing*. Sebuah algoritma proses *load balancing* dirancang untuk menjelaskan prosedur tersebut. Algoritma ini juga memperhitungkan analisis efek pingpong yang mungkin terjadi akibat keterlambatan proses *handover*.

**Kata kunci:** *load balancing, self-organization network, kapasitas sel, LTE/LTE-A, margin handover*

**Abstract**—Load balancing is one of the mechanism used in the self-organization network (SON) to balance the traffic at the overloaded base station with the adjacent low-loaded base station. Load balancing is done by adjusting the handover parameters (metric) to obtain the optimal traffic balance. In this work, the adjusted parameters are the capacity of the cell. Cell capacity is strongly influenced by the bandwidth, modulation type, and the bit rate used by the user. The performance of load balancing was tested by a simulation and network test-bed measurement. The testing results on the Long-Term Evolution Advanced network showed the greater the bandwidth the greater the capacity of the cell. Moreover, the larger type of modulation, the cell capacity will also be greater. On the other hand, the greater bit rate used by the user, then the cell capacity will decrease. The calculation analysis of cell capacity is taken as the basic operation for load balancing procedure. A load balancing process algorithm is introduced to describe the mentioned procedure. The algorithm also considers the ping-pong effect that might occur due to the delay on the handover process.

**Keywords:** *load balancing, self-organization network, cell's capacity, LTE/LTE-A, handover margin*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Proses maintenance dan optimasi *Base Station* (BS) biasanya dilakukan secara konvensional dan manual dengan jangka waktu yang lama, pada hari-hari tertentu dimana traffic komunikasi cenderung rendah, seperti pada hari libur. Pada jaringan nirkabel bergerak generasi ke 4 (4G) berbasis *Long-Term Evolution advanced* (LTE-A) telah terdapat fungsi *Self-Organisation Network* (SON) yang dapat digunakan untuk keperluan maintenance dan optimasi BS. Dengan SON, tuning parameter teknis dilakukan secara otomatis berdasarkan pengukuran periodik secara otomatis. Dalam LTE-A, konsep SON diperlukan sebagai feature tambahan untuk mendapatkan efisiensi jaringan.

Evolusi spesifikasi LTE dimulai oleh the *Third Generation Partnership Project* (3GPP) release 8 dan berlanjut pada release 10 yang bertujuan untuk memenuhi kinerja persyaratan *mobile broadband* yang semakin meningkat. Beberapa feature kunci dari release 8 meliputi: efisiensi spektral yang tinggi, latensi sangat rendah, dukungan *bandwidth variable*, arsitektur protokol yang sederhana, dan dukungan untuk operasi SON [1]. Release 10 atau yang dikenal LTE-A adalah spesifikasi generasi keempat (4G) yang menyediakan peningkatan kecepatan data untuk mendukung jalannya layanan dan aplikasi bagi pengguna (100Mb/s untuk mobilitas tinggi dan 1 Gb/s untuk mobilitas rendah) [2].

Salah satu mekanisme yang digunakan dalam SON adalah teknik *load-balancing* (LB) yang memberikan

keuntungan tambahan dalam hal kinerja jaringan. Jika ada BS yang bebannya over load, sebagian beban dapat dipindahkan ke BS lain yang masih memiliki kapasitas sel yang dapat melayani. Dengan demikian kinerja jaringan akan lebih optimal. LB dicapai dengan mengatur kontrol parameter jaringan sedemikian rupa sehingga sel-sel yang kelebihan beban (*over-loaded*) dapat mengalihkan beban tersebut kepada satu atau lebih BS yang berdekatan (*low-loaded*) [3]. Dengan demikian, beban pada sel awal menjadi berkurang dan *load traffic* di antara BS tersebut menjadi seimbang. Parameter yang digunakan untuk *load balancing* dalam penelitian ini adalah kapasitas sel. Dengan menghitung kapasitas sel akan diketahui beban yang ada pada sel. Melalui penelitian ini, SON dengan LB dapat menemukan *offset handover* yang optimal antara sel *overloaded* dan sel target yang *lowloaded* dapat menjadi solusi teknis bagi operator dalam merencanakan, mengoperasikan, dan me-maintain jaringan lebih optimal.

Beberapa kajian teknis tentang SON telah dilakukan di dalam beberapa penelitian sebelumnya. Sebuah algoritma *self-organisation network* diperkenalkan dan digunakan untuk mengurangi efek negatif yang terjadi dalam jaringan seperti *call dropping*, dan kegagalan *handover* [4]. Algoritma ini menggunakan kombinasi antara hysteresis terbaik dan waktu pemicu *handover* (*time to trigger*) sebagai status jaringan saat ini. Dalam penelitian ini diteliti efek algoritma *self-optimizing* pada pengaturan jaringan dengan skenario real. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan pengaturan nilai statis dari parameter-parameter hysteresis dan *time to trigger* terjadi secara otomatis sebagai respon terhadap perubahan kinerja jaringan. Algoritma ini memperhitungkan bobot faktor yang diberikan oleh kebijakan operator untuk metrik-metrik kinerja yang berlainan, khususnya untuk rasio kegagalan *handover*, rasio *call dropping* dan rasio *ping pong handover*. Fitur terbaru ini menjadikan algoritma SON menjadi fleksibel dan sangat menarik bagi operator. Hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi algoritma berhasil meningkatkan kinerja sistem secara signifikan. Namun hasil saat ini masih terbatas pada skenario simulasi dari sebuah penggunaan realistik [4].

Dalam penelitian lainnya [5], algoritma *self-optimisation* telah digunakan untuk mengevaluasi kinerja jaringan yang membutuhkan beban sel sebagai input dan pengontrol parameter *handover*. Dalam makalah tersebut diperlihatkan perbandingan hasil dengan *setup* simulasi yang berbeda-beda. Misalnya: *setup* jaringan dasar (jaringan reguler), *grid* non-reguler dengan ukuran sel yang berbeda dan juga untuk *setup* trafik dengan kondisi yang realistik. Metode yang digunakan untuk estimasi setelah *handover* didasarkan pada prediksi *signal-to-interference noise ratio* (SINR) dan menggunakan pengukuran *User Equipment* (UE). Efisiensi algoritma LB diuji dalam sebuah simulasi jaringan, dimana situasi perubahan beban berlangsung secara dinamis. Keuntungan LB secara keseluruhan terlihat di semua skenario simulasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa jumlah rata-rata kegagalan koneksi dapat diminimalisasi

dengan LB. Keuntungan algoritma ini tergantung pada situasi beban lokal dan kapasitas sel-sel disekitarnya yang tersedia, dimana LB mendistribusikan beban dengan mengubah parameter *handover*. Jika kapasitas di sekitar tidak ada, parameter jaringan dan kinerja jaringan yang tersisa tidak berubah [5].

Dalam proyek penelitian SOCRATES [6]-[8] diperkenalkan penggunaan metode *self-organization*, yang terdiri dari *self-optimization*, *self-configuration*, dan *self-healing* sebagai sebuah konsep dalam otomatisasi akses perencanaan jaringan nirkabel, penyebarannya, dan optimasi jaringannya. *Self-organization* pada jaringan seluler dianggap sebagai pendekatan kunci untuk menurunkan *operational expenditure/capital expenditure* (OPEX/CAPEX) dan memungkinkan biaya pendukung yang efektif dari berbagai layanan dan aplikasi komunikasi seluler yang berkualitas tinggi dengan harga yang dapat diterima

Pada makalah lain [9] dan proyek penelitian FREEDOM [10] diuraikan bahwa dalam jaringan LTE-A, *base station* rumah atau disebut *Home eNodeB* (HeNB) akan digunakan secara masif di masa yang akan datang. Sebuah HeNB secara fisik akan diinstal oleh pelanggan dan besar kemungkinan secara fisik tidak dapat diakses oleh operator. Penggunaan HeNB yang diramalkan menjadi besar menjadikan mekanisme *self-optimization* menjadi sangat penting. Pada penelitian tersebut, interferensi HeNB dan cakupan serta mobilitas ke dan dari sel HeNB lainnya diidentifikasi. Pengukuran digunakan sebagai masukan bagi optimasi algoritma yang telah diidentifikasi tersebut. Sebuah metode untuk mempertimbangkan prioritas dari operator yang berbeda juga telah dikembangkan. Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi efek dan keuntungan dari perubahan parameter kontrol yang diidentifikasi, dan berdasarkan pada hasil tersebut, algoritma untuk *self-organizing* dikembangkan.

Selain dari yang telah di-review disini, ada beberapa publikasi lainnya yang juga mengkaji mekanisme LB dan SON, namun tidak ditampilkan karena tingkat relevansinya yang rendah dengan topik yang sedang diteliti. Dalam artikel ini, dilakukan penelitian dan analisa parameter (*metrics*) untuk proses LB yang menggunakan konsep SON pada jaringan *mobile broadband* berbasis teknologi LTE-A. *Metric* yang diperhitungkan adalah tipe modulasi, bandwidth, dan kapasitas sel. Penelitian ini fokus pada tipe modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dengan beberapa *symbol rate*, karena memiliki unjuk kerja yang lebih baik dari tipe modulasi lainnya [1, 4-10] dalam hal bandwidth dan kapasitas sel. Selain itu, dalam penelitian ini juga ditentukan algoritma untuk proses *load balancing* yang dapat diimplementasikan dalam sistem.

## II. METODE

### A. Load balancing

Penggunaan LB dimaksudkan untuk memberikan keuntungan tambahan dalam hal kinerja jaringan yang

menggunakan *platform* jaringan LTE/LTE-A, serta menggunakan fungsi SON. LB dicapai dengan mengatur parameter jaringan kontrol sedemikian rupa, sehingga beban (*user*) pada sel-sel yang *overloaded* dapat dipindahkan ke sel-sel *low-loaded* yang berdekatan. Dalam jaringan, fluktuasi beban tinggi terjadi dan biasanya membuat *over-dimensioning* jaringan selama tahap perencanaan. Dalam sebuah jaringan yang mengaktifkan SON, dengan algoritma LB yang diusulkan, SON akan memonitor jaringan dan bereaksi terhadap beban puncak, sehingga kinerja yang lebih baik dapat tercapai dengan mendistribusikan beban ke sel-sel di sekitarnya.

Algoritma LB yang diusulkan pada penelitian ini bertujuan untuk menemukan *offset handover* yang optimal antara sel yang *overloaded* dan sel target yang mungkin. Nilai *offset* yang dioptimalkan akan menjamin bahwa pengguna yang diserahkan kepada sel target tidak akan kembali ke sel asal, dan beban sel menjadi berkurang. Beban transfer selama LB tidak boleh melebihi kapasitas yang dilaporkan yang tersedia pada BS. Masalah ini harus dikontrol oleh mekanisme masuk dan pengontrol kemacetan dalam BS. Ketika mekanisme ini menolak permintaan *handover* LB, akan ada peningkatan yang signifikan pada sinyal *overhead* jika permintaan berulang [5]-[8].

### B. Perhitungan kapasitas sel

Dalam penelitian ini, mekanisme *load balancing* ditentukan dengan pendekatan kapasitas sel. Sebelum diterapkan, maka sistem akan melakukan perhitungan untuk mengetahui kapasitas sel pada sebuah BS. Kapasitas sel dapat diketahui dari *bandwidth*, karena setiap *bandwidth* yang bisa digunakan pada LTE memiliki *resource block* (RB) yang berbeda-beda. Setiap 1 RB memiliki 12 sub carrier. 1 sub carrier memiliki 15 Ksps (*kilo symbol per second*) [11].

Selain RB, *bandwidth* pada LTE juga dapat dihitung melalui metode akses jamak yang digunakan, yang dalam hal ini menggunakan simbol *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA *symbol*), dimana 1 sub carrier memiliki 14 Ksps [12]. Selain itu, kapasitas sel juga dipengaruhi tipe modulasi yang digunakan. Setiap tipe modulasi memiliki jumlah bits yang berbeda. Secara numerik, perhitungan kapasitas BS dapat dilakukan dengan menggunakan simbol *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang menjadi basis utama teknologi akses pada LTE, sebagai berikut [12]:

$$n = \text{Jumlah sub carrier} \times \text{Tipe Modulasi} \\ = (\text{Jumlah RB} \times 12 \times \text{OFDMASymbols}) \times \\ \text{Bit rate Modulasi} \quad (1)$$

dimana  $n$  adalah kapasitas sel dalam satuan bit per detik (bps), dan RB adalah jumlah *resource block* yang tergantung dari besar *bandwidth* dari kanal OFDMA yang digunakan saat itu. Sebagai contoh, kanal dengan *bandwidth* sebesar 20 MHz mempunyai 100 RB. Setiap

RB dapat menyediakan 12 *subcarriers* secara *orthogonal*, sehingga dengan total 100 RB, akan terbentuk 1200 *subcarriers* dalam domain frekuensi [11], [12]. Bila digunakan dalam kondisi *cyclic prefix* normal, maka terdapat 14 simbol OFDMA dalam 1 mili detik *subframe*, sehingga *symbol rate* untuk modulasi dapat dihitung  $1200 \times 14/0.0001 = 16.8$  Msps. Jika modulasi yang digunakan adalah 64 QAM, maka terdapat 6 bit per simbol. Dengan demikian total bit *rate* yang dihasilkan adalah  $16.8$  Msps  $\times$  6 bit per simbol = 100.8 Mbps.

### C. Algoritma load balancing

Proses pengalihan user dari BS sumber ke BS target dilakukan melalui proses *handover* (HO). Untuk mencari BS target yang memungkinkan untuk dilakukannya HO, diperlukan data nilai *handover margin* (HM) dari setiap BS target. Nilai HM, yang telah memperhitungkan semua efek, khususnya efek ping-pong, dimana *handover* yang berulang-ulang antara BS sumber dan target, dapat diperoleh dengan [13], [14], [15]:

$$HM(e, k) = n_e - n_k, \quad (2)$$

HM ( $e, k$ ) adalah HM dari BS sumber ke BS target,  $n$  adalah jumlah user pada BS, kemudian  $e$  adalah BS sumber dan  $k$  adalah BS target.

Selain mencari nilai HM BS target, harus dilihat juga apakah spektrum frekuensi operasi BS target sesuai atau tidak. Jika nilai HM diketahui dan spektrum frekuensi operasi sesuai, maka BS tersebut bisa masuk dalam daftar BS potensial. Dari BS target potensial yang ada, dipilih BS target terbaik, yaitu yang memiliki nilai HM tertinggi.

Setelah didapatkan BS target terbaik, maka perlu direncanakan berapa besar beban yang bisa ditransfer untuk mencapai LB. Beban yang direncanakan untuk ditransfer dapat diketahui dengan:

$$HM(e, k) = 2n_0, \quad (3)$$

$$n_0 = (HM(e, k)) / 2, \quad (4)$$

$n_0$  adalah jumlah user yang direncanakan untuk mencapai LB.

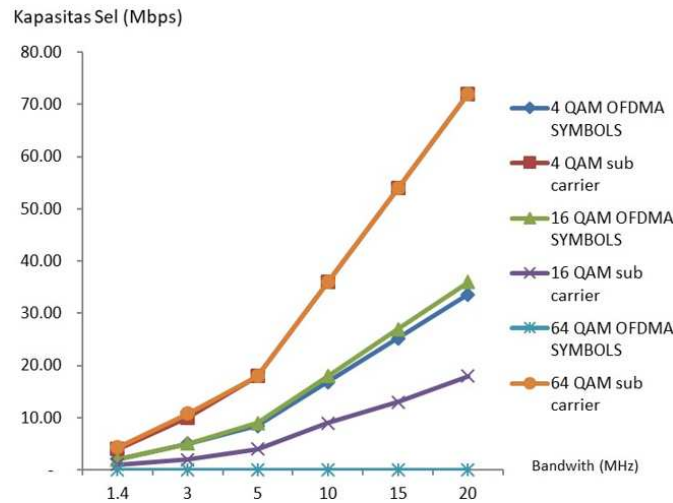
Setelah  $n_0$  diketahui, maka dilakukan HO dari BS sumber ke BS target yang merupakan bagian dari operasi LB. Dalam proses HO bisa terjadi efek ping pong akibat adanya keterlambatan proses HO dan *user* di BS sumber dan BS target ada yang bertambah [14]. Sehingga LB akan terjadi jika:

$$HM(e, k) + HM(k, e) = 2n_0, \quad (5)$$

HM ( $k, e$ ) adalah HM dari BS target ke BS sumber.

Algoritma yang digunakan untuk melakukan proses LB yaitu:

1. Mengumpulkan pengukuran nilai HM dari BS target potensial,
2.  $HM(e, k) = n_e - n_k$

Gambar 1. Perbandingan kapasitas sel terhadap *bandwidth*

Tabel 1. Kapasitas sel berdasarkan perhitungan simbol OFDMA

NO.	BANDWIDTH (MHz)	RB	KAPASITAS SEL															
			4 QAM				16 QAM				64 QAM							
			n (Mbps)	$\sum$ User A	$\sum$ User B	$\sum$ User C	$\sum$ User D	n (Mbps)	$\sum$ User A	$\sum$ User B	$\sum$ User C	$\sum$ User D	n (Mbps)	$\sum$ User A	$\sum$ User B	$\sum$ User C	$\sum$ User D	
1	1.4	6	2.02	4	2	1	0	4.03	8	4	2	0	6.0	12	6	3	0	
2	3	15	5.04	10	5	2	0	10.08	20	10	5	0	15.1	30	15	7	0	
3	5	25	8.40	16	8	4	0	16.80	33	16	8	0	25.2	50	25	12	0	
4	10	50	16.80	33	16	8	0	33.60	67	33	16	0	50.4	100	50	25	0	
5	15	75	25.20	50	25	12	0	50.40	100	50	25	0	75.6	151	75	37	0	
6	20	100	33.60	67	33	16	0	67.20	134	67	33	0	100.8	201	100	50	1	

3. Memilih BS target terbaik
4. Memperkirakan  $n_0$ ,  $n_0 = (HM(e,k))/2$
5. Melakukan HO
6. Selesai, jika  $HM(e,k) + HM(k,e) = 2n_0$ .

Berbeda dengan algoritma LB yang telah dikaji sebelumnya [4-10], algoritma ini menggunakan semua spesifikasi *metrics* intrinsik (modulasi, *bandwidth*, kapasitas sel) yang ada pada BS dan jaringan akses. Dengan demikian, proses *load balancing* dan SON dapat dilakukan lebih cepat. Selain itu, dalam penelitian ini, skenario *bit rate* pada *user* dibangun dengan menggunakan simulator Omnet++, namun pengukuran skenario jaringan *real* dilakukan dengan menggunakan *testbed* pada jaringan *experimental Research and Development Center (RDC) CTU-Vodafone-Ericsson*, di Praha, Republik Ceko.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

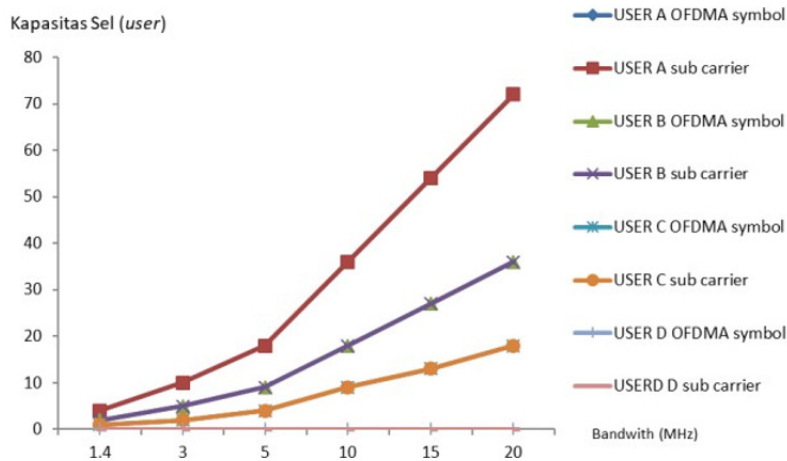
Dari persamaan (1), kapasitas sel dapat diketahui dari *bandwidth* yang digunakan pada BS, karena setiap *bandwidth* yang bisa digunakan pada LTE memiliki RB yang berbeda-beda. Selain itu, kapasitas sel juga dipengaruhi tipe modulasi QAM yang digunakan. Setiap tipe modulasi memiliki jumlah bits yang berbeda.

Pada penelitian ini, ada empat skenario yang dirancang berdasarkan kebutuhan *access rate* pada *user*. Skenario pertama (A) mengasumsikan setiap user menggunakan 0,5 Mbps. Skenario kedua (B) setiap user diasumsikan menggunakan 1 Mbps. Skenario yang ketiga (C), setiap

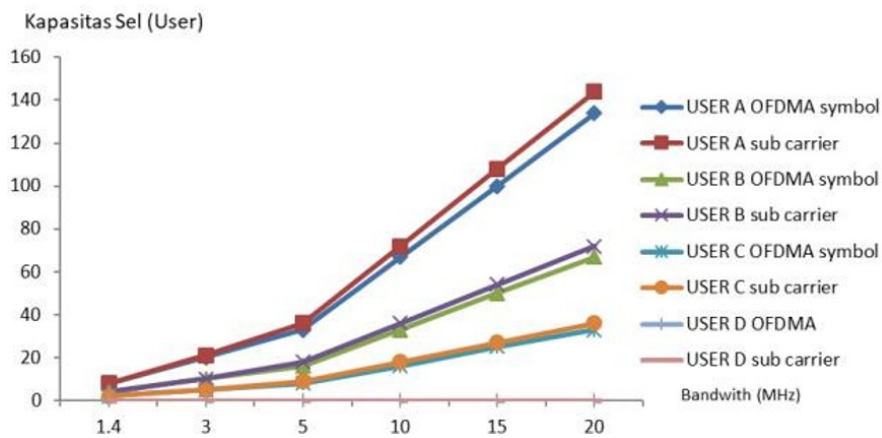
user diasumsikan menggunakan 2 Mbps, dan skenario yang terakhir (D), setiap user diasumsikan menggunakan 100 Mbps. Dengan persamaan-persamaan yang diberikan, maka kapasitas sel dapat disimulasikan dengan hasil seperti yang terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Dari simulasi dapat diketahui bahwa kapasitas sel sangat berhubungan dengan *bandwidth* pada jenis modulasi yang berbeda seperti tampak pada Gambar 1. Dari gambar terlihat bahwa kapasitas sel dengan menggunakan OFDMA *symbol* sedikit lebih besar dibandingkan dengan metode *sub-carrier*, meskipun perbedaan tidak signifikan. Selain itu terlihat bahwa kapasitas sel berbanding lurus dengan *bandwidth* dan tipe modulasi. Semakin besar *bandwidth*, maka kapasitas sel juga semakin besar. Secara teknis hal ini disebabkan karena pada sistem LTE besar *bandwidth* sangat tergantung dari lebar spektrum frekuensi yang digunakan [1]. Begitu juga dengan tipe modulasi, semakin besar tipe modulasi, maka *bit rate* akan semakin besar. Ketika *bit rate* semakin besar, maka kapasitas sel pun semakin besar. Namun demikian untuk keseluruhan *bandwidth*, saat kapasitas kanal (Mbps) di set maksimum, maka jumlah *user* yang bisa dilayani oleh sel tersebut akan menurun untuk modulasi dengan *symbol rate* yang semakin tinggi.

Dari Gambar 1 juga dapat terlihat bahwa penggunaan tipe modulasi yang berbeda, tetapi dengan tipe *bit rate* user yang sama, perbandingan antara jumlah user dengan *bandwidth* tetap berbanding lurus, seperti halnya dengan perbandingan kapasitas sel dengan *bandwidth*. Semakin besar kapasitas sel, maka jumlah user



Gambar 2. Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada modulasi 4 QAM



Gambar 3. Perbandingan jumlah user dengan bandwidth pada modulasi 16 QAM

Tabel 2. Kapasitas sel berdasarkan perhitungan sub-carrier

NO.	BANDWIDTH (MHz)	RB	KAPASITAS SEL														
			4 QAM				16 QAM				64 QAM						
			n (Mbps)	ΣUser A	ΣUser B	ΣUser C	ΣUser D	n (Mbps)	ΣUser A	ΣUser B	ΣUser C	ΣUser D	n (Mbps)	ΣUser A	ΣUser B	ΣUser C	ΣUser D
1	1.4	6	2.16	4	2	1	0	4.32	8	4	2	0	6.5	13	6	3	0
2	3	15	5.40	10	5	2	0	10.80	21	10	5	0	16.2	32	16	8	0
3	5	25	9.00	18	9	4	0	18.00	36	18	9	0	27.0	54	27	13	0
4	10	50	18.00	36	18	9	0	36.00	72	36	18	0	54.0	108	54	27	0
5	15	75	27.00	54	27	13	0	54.00	108	54	27	0	81.0	162	81	40	0
6	20	100	36.00	72	36	18	0	72.00	144	72	36	0	108.0	216	108	54	1

yang bisa dilayani pada sel tersebut juga akan semakin banyak. Namun fenomena yang berbeda ditemukan pada saat kapasitas kanal dengan *rate* yang tinggi (100 Mbps), user baru bisa dilayani pada saat *bandwidth* yang digunakan adalah 20 MHz. Pada saat *bandwidth* 1,4 MHz sampai 15 MHz kapasitas sel belum mencukupi untuk melayani, meski hanya satu user.

Dari hasil ini dapat diketahui bahwa penentuan *offset handover* untuk LB yang optimal dapat dilakukan bila target BS memiliki konfigurasi *bandwidth* dan *rate* kapasitas yang lebih tinggi, tapi modulasi dengan simbol *rate* yang lebih rendah dibandingkan dengan BS sumber.

Untuk lebih detail dan spesifik, dari hasil simulasi juga dapat dianalisa perbandingan antara jumlah *user* dengan *bandwidth* pada saat tipe bit rate user diatur berbeda, sedangkan tipe modulasi yang digunakan sama.

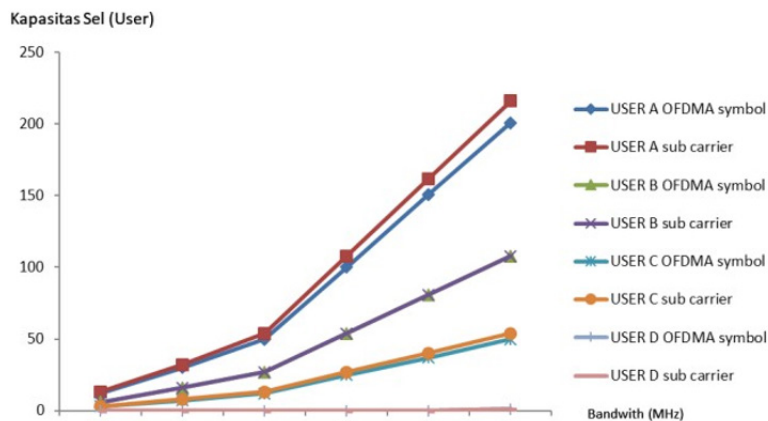
Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 4.

Dari Gambar 2–4 dapat diketahui bahwa pada tipe modulasi yang sama namun dengan *symbol rate user* yang berbeda, pola hubungan antara *bandwidth* dan kapasitas sel

cenderung sama. Jumlah user tetap berbanding lurus dengan *bandwidth*. Perbedaan kapasitas sel yang digunakan setiap jenis user sangat mempengaruhi jumlah sel yang bisa dilayani sel.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian ini dapat diketahui bahwa *self organizing network* (SON) pada jaringan LTE/LTE-A dapat diimplementasikan dengan mekanisme *load*



Gambar 4. Perbandingan jumlah *user* dengan *bandwidth* pada modulasi 64 QAM

*balancing*. Mekanisme *load balancing* dapat dilakukan dengan menentukan kapasitas sel pada *Base Station* sumber dan target, dengan memperhitungkan *bandwidth*, tipe modulasi, dan *symbol rate* yang digunakan setiap user. Semakin besar *bandwidth* yang digunakan, kapasitas sel semakin besar. Meskipun dalam pengujian ini digunakan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), namun karakteristiknya akan sama untuk tipe modulasi yang lain, semakin besar tipe modulasi yang digunakan, kapasitas sel juga akan semakin besar. Namun demikian, pengujian juga memperlihatkan pada *symbol rate orde tinggi*, kapasitas sel BS akan sangat tergantung dari besar alokasi *bandwidth* yang dikonfigurasi. Dengan demikian, kapasitas sel dapat digunakan sebagai parameter untuk skema *load balancing*. Dari sisi operator, penelitian ini dapat merekomendasikan bahwa untuk dapat menentukan *offset handover* yang optimal untuk *load balancing* maka *base station* target mesti memiliki konfigurasi *bandwidth* dan *rate kapasitas* yang lebih tinggi, dan *symbol rate* modulasi yang lebih rendah dibandingkan dengan *base station* sumber.

#### REFERENSI

- [1] 3GPP TS 36.300 v8.5.0 (2008-05), "Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 8).
- [2] 3GPP TS 36.305 v10.4.0 (2012-09), "Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in E-UTRAN (Release 10).
- [3] 3GPP TS 32.500 v10.0.0 (2010-06), "Technical Specification Group services and System Aspects; Telecommunication Management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements (Release 10).
- [4] T. Jansen, et al., "Handover Parameter Optimization in LTE Self-Organizing Networks", IEEE 72<sup>nd</sup> Vehicular Technology Conference Fall, (VTC 2010 - Fall), Ottawa, ON, Canada, September 2010. ISSN 1090-3038, E-ISBN 978-1-4244-3574-6, Print ISBN 978-1-4244-3573-9.
- [5] A. Lobinger, et al., "Load Balancing in Downlink LTE Self-Optimization Network", IEEE 71st Vehicular Technology Conference, (VTC 2010 - Spring), Taipei, Taiwan, Mei 2010. ISSN 1550-2252, E-ISBN 978-1-4244-2519-8, Print ISBN 978-1-4244-2518-1.
- [6] A. A. Atayero, et al., "3GPP Long Term Evolution: Architecture, Protocols and Interfaces", IJICT Journal, International Journal of Information and Communication Technology Research, Covenant University, Nigeria, November 2011. ISSN2223-4985,
- [7] L.C. Schmelz, et al., "Self-configuration, -optimisation and-healing in wireless networks", Wireless World Research Forum Meeting 20, Ottawa, Canada, April, 2008
- [8] K. Zetterberg, et al., "Self-optimisation of LTE home base stations.", COST 2100 TD(09)744, Joint Workshop COST 2100 SWG 3.1 & FP7-ICT-SOCRATES, Braunschweig, Jerman, Februari, 2009.
- [9] A. Ulvan, D. Ribeiro, R. Bestak, "Multiple Cell Partitions for Increasing the CDMA-Based Cell Capacity", in: Mammeri Z. (eds) Wireless and Mobile Networking. IFIP International Federation for Information Processing, Vol 284. Springer, Boston, MA, 2008.
- [10] J. Vidal, et al., "FREEDOM: Femtocell-based network enhancement by interference management and coordination of information for seamless connectivity", ICT-EU STREP FP-7, 2010.
- [11] H. Holma, A. Toskala, "LTE-Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced", Wiley, 2012.
- [12] C. Johnson, "Long Term Evolution IN BULLETS, 2nd Edition". Publisher: Create Space. Pages: 592. Published: 06-07-2012. ISBN- 10: 1478166177. ISBN-13: 9781478166177.
- [13] R. Nasri, Z. Altman, "Handover Adaption for Dynamic Load Balancing in 3GPP Long Term Evolution System", In *proceeding of: The Fifth International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, 3-5 December 2007, Jakarta, Indonesia.
- [14] . Ulvan, R. Bestak, M. Ulvan, "The study of handover procedure in LTE-based femtocell network", *Wireless and Mobile Networking Conference* (WMNC), 2010 Third Joint IFIP, E-ISBN 978-1-4244- 8429-4. Print ISBN 978-1-4244-8431-7. INSPEC Accession Number 11727132
- [15] A. Ulvan, R. Bestak, M. Ulvan, "Handover Procedure and Decision Strategy in LTE-based Femtocell Network", *Telecommunication Systems Journal*, Springer US Vol. 52, Issue 4, pp. 2733-2748, April 2013. ISSN 1018-4864 (print), 1572-9451 (online).

# Sistem Minimum Berbasis Mikrokontroler ATmega2560 sebagai Sistem Pengaman pada Analogi Lemari Penyimpanan Brankas

Muchammad Takdir Sholehati dan Arief Goeritno  
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2, Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164, JB, Indonesia  
e-mail: muchammadtakdir@gmail.com

**Abstrak**—Telah dipabrikasi sebuah sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang difungsikan sebagai sistem pengaman pada analogi lemari penyimpanan brankas. Tahapan dalam pembuatan sistem minimum meliputi pengintegrasian sistem, pemrograman terhadap sistem mikrokontroler ATmega2560, dan uji validasi berupa pengukuran kinerja sistem melalui pemberian kondisi paksa (*forced state*). Integrasi sistem berupa pemasangan perangkat pada dua jalur di *port* masukan dan dua jalur di *port* keluaran dari mikrokontroler. Pemrograman didasarkan kepada algoritme dan penyusunan sintaks berbasis Arduino IDE melalui 6 (enam) tahapan, yaitu konfigurasi pin, deklarasi variabel dan konstanta, inialisasi, program utama, ambil dan kirim data, dan keluaran. Uji validasi dilakukan dalam bentuk pemberian 4 (empat) kondisi paksa, yaitu a) ketika kartu tidak terdeteksi modul RFID, b) ketika kartu terdeteksi modul RFID, c) ketika pintu dibuka paksa dan *buzzer* “on”, sedangkan kartu tidak terdeteksi saat di-*tag* pada antenna, dan d) ketika pintu dibuka secara paksa dan *buzzer* “on”, sedangkan kartu terdeteksi saat di-*tag* pada antenna. Pemaksimalan terhadap keamanan pada pintu analogi lemari berupa pendeteksian oleh kondisi *limit switch* saat pintu dibuka paksa dan *buzzer* berbunyi. Untuk kondisi penetralan terhadap kondisi *buzzer*, dilakukan melalui pen-*tag*-an kartu RFID melalui antenna. *Buzzer* tetap berbunyi, jika data tersimpan tidak terbaca oleh modul RFID, sedangkan *buzzer* dapat dinetralkan, jika saat pen-*tag*-an kartu data tersimpan terbaca oleh modul RFID.

**Kata kunci:** *sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560, sistem pengaman pada analogi lemari penyimpanan brankas, RFID*

**Abstract**— A minimum system based on ATmega2560 microcontroller has been created that functioned as a safety system in the analogy of the cupboard for storage of the safes. Making the minimum system is done through a number of phases, namely integrating the system, programming against the microcontroller system, and validation test in the form of system performance measurement through giving the forced state. System integration is in the form of installing a device on two lines in the input port and two lines in the output port of the microcontroller. Programming is based on algorithms and the syntax of Arduino IDE-based through 6 (six) stages, namely pins configuration, variable and constants declaration, initialization, main program, retrieved and send data, and output. The validation test is carried out in the form of 4 (four) conditions, namely a) when the RFID module is not detected, b) when the card is detected by the RFID module, c) when the door is opened, and the buzzer is "on", the card is not detected when tagged on the antenna, and d) when the door is forcibly opened, and the buzzer is "on", while the card is detected when tagged on the antenna. Maximizing the security against the door of analogy the cupboard for storage of the safes is detected by the limit switch condition when the door is opened forcefully and the buzzer sounds. For neutralizing conditions for buzzer conditions, it is done through tagging an RFID card through the antenna. The buzzer still sounds, if the blank data is unreadable by the RFID module, while the buzzer can be neutralized if the card was tagged, the data card stored is read by the RFID module.

**Keywords:** *Minimum system based on ATmega2560 microcontroller, safety system in the analogy of the cupboard for storage of the safes, RFID*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

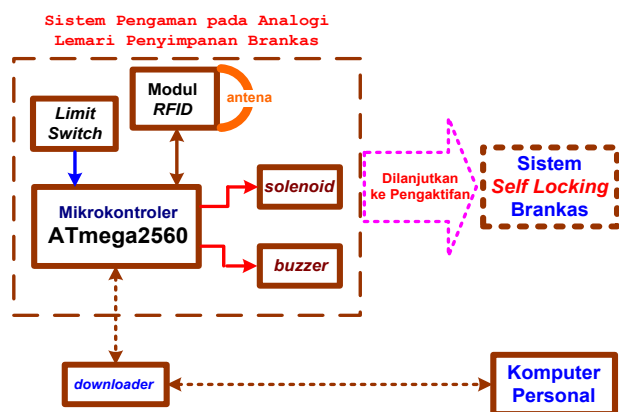
Keberadaan salah satu teknologi modern paling efektif untuk pengamanan di lingkungan rumah, adalah sistem keamanan (*security system*) [1]. Sistem keamanan ini untuk pemantauan area paling kritis di rumah, sebagai

pendeteksi gangguan atau anomali lain yang mungkin tidak diperhatikan [1]. Perhatian utama setiap penghuni rumah tangga ketika meninggalkan rumah, adalah keamanan rumah dan sistem perlindungannya [2], terlebih setelah kemunculan *Internet of Things* (IoT) [3]-[5]. Penjelmaan IoT sebagai salah satu teknologi yang paling

menjanjikan untuk masa depan [6], sangat berkaitan erat dengan *home automation* dalam hal pengembangan sistem yang murah dan aman untuk penggunaan dalam ruangan [6], sehingga diperoleh kemajuan teknologi dan ketersediaan sistem dalam dimensi yang kecil, fleksibel, dan cerdas [6]. Implementasi sebuah sistem pengamanan pengganti atau pelengkap yang bersifat bertingkat (*redundancy*) dengan penempatan di posisi awal atau akhir terhadap sebuah lemari tempat penyimpanan brankas dapat menjadi suatu keniscayaan [7], melalui keberadaan sebuah sistem minimum (*minimum system*) berbasis mikrokontroler [8], [9], maupun komputer personal (PC, *personal computer*) [10]. Mekanisme sistem pengamanan terhadap brankas yang bersifat bertingkat dibuat dengan tujuan untuk penciptaan sejumlah kebingungan terhadap pembobol (*picker*). Pembobolan terhadap sistem penguncian (*lock picking*) merupakan fenomena yang didasarkan kepada kombinasi seni dan ilmu pengetahuan, sehingga dibutuhkan siasat dan strategi dengan sejumlah pembedahan (*dissection*) dan uji coba (*trial and error*) [11].

Keberadaan brankas (*safes*) sangat berkaitan dengan barang-barang berharga, seperti emas dan perhiasan lainnya, dokumen, maupun uang, sehingga menjadikan perhatian tersendiri dalam hal penyimpanannya, karena brankas merupakan tempat penyimpanan yang dianggap praktis dan sering digunakan [12]. Penyimpanan terhadap barang-barang berharga tersebut, diperlukan suatu tempat yang aman dan tidak selalu berdampak kepada timbulnya kekhawatiran bagi pemilik bankas [11]. Kunci utama untuk sistem penguncian melekat (*self locking*) yang terdapat pada brankas saat ini didasarkan kepada sifat andal terhadap sistem keamanan manual melalui sistem pengamanan mekanis dengan model penguncian yang unik dan langka [11]. Sistem keamanan secara mekanis masih dengan risiko tinggi untuk tingkat pengamanan, karena sejumlah kekurangan seperti mudah diduplikasi dan tidak terdapat sistem pengamanan yang melekat kepada pemiliknya [11].

Berdasarkan latar belakang tersebut, dibuat sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560



Gambar 1. Diagram skematis sistem pengaman berbentuk sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang ditempatkan pada analogi lemari penyimpanan brankas

berbantuan sensor *Radio Frequency Identification* (RFID) [13]-[15] dan *limit switch* sebagai sensor, agar dapat difungsikan sebagai sistem pengaman. Implementasi terhadap sistem pengaman tersebut, ditempatkan pada sebuah analogi lemari penyimpanan brankas. Pentahapan untuk perolehan sistem pengaman, dilakukan melalui (i) pengintegrasian rangkaian atau modul untuk perolehan sebuah sistem minimum berbasis mikrokontroler AVR ATmega2560 [16], (ii) pemrograman terhadap sistem mikrokontroler AVR ATmega2560 [17], dan (iii) uji validasi melalui pengukuran kinerja sistem minimum berbasis mikrokontroler. Diagram skematis sistem pengaman berbentuk sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang ditempatkan pada analogi lemari penyimpanan brankas, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Berpedoman kepada Gambar 1 dibuat uraian tujuan penelitian, yaitu: (i) memperoleh integrasi sistem berdasarkan keberadaan chip mikrokontroler ATmega2560, RFID, *limit switch*, dan subsistem pendukung, (ii) memperoleh hasil pemrograman terhadap sistem mikrokontroler ATmega2560 berbasis bahasa pemrograman Arduino IDE (*Arduino Software*) [18]-[22] melalui penentuan algoritme dan penyusunan *sintaks*, dan (iii) memperoleh hasil uji validasi berupa pengukuran kinerja yang dilakukan dengan pemberian kondisi buatan secara paksa.

## II. METODE PENELITIAN

Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

### A. Pengintegrasian Perangkat Elektronika Berbasis Mikrokontroler ATmega2560

Sejumlah pentahapan diperlukan pada pengintegrasian ini. Penentuan dan perakitan perangkat pada *port* masukan berupa sensor RFID dan *limit switch* [23] dan pengoperasian aktuator pada port keluaran yang ditekankan sesuai kebutuhan kondisi tempat penyimpanan brankas dan penggerak mekanik, yaitu *solenoid* [24] dan buzzer [25]. Pembuatan board mikrokontroler diawali dengan pembuatan diagram skematis berbantuan aplikasi *Easily Application Guide Layout Editor* (EAGLE) [26],[27], dilanjutkan dengan pencetakan ke lempeng PCB, perlarutan, dan pengeboran. Pengawatan terintegrasi untuk perolehan perangkat elektronika dilakukan setelah ketersediaan perangkat pada jalur masukan dan keluaran pada board melalui pengawatan dan penyambungan terhadap komponen-komponen elektronika. Pemilihan catu daya ditekankan kepada kebutuhan terhadap nilai tegangan dan arus sistem.

### B. Pemrograman terhadap Sistem Mikrokontroler

Langkah-langkah untuk pemrograman terhadap sistem mikrokontroler, melalui (a) pembuatan algoritme dan (b)



penulisan *sintaks*. Pembuatan algoritme dipilih dalam bentuk diagram alir, yaitu proses awal sampai akhir berupa konfigurasi pin, deklarasi variabel dan konstanta, inisialisasi, program utama, ambil dan kirim data, dan keluaran. Penyusunan sintaks didasarkan kepada algoritme dan berbantuan bahasa Arduino IDE [18]-[22].

C. Uji Validasi berupa Pengukuran Kinerja

Pengukuran kinerja minimum sistem dilakukan melalui pemberian kondisi langsung dan nyata terhadap sistem pengaman pada analogi lemari untuk penyimpanan brankas, yaitu (a) keberadaan pembukaan pintu dan (b) pembacaan RFID. Logika terhadap pintu terdiri atas dua pengaman, yaitu: *limit switch* sebagai sensor dan *solenoid* sebagai pengunci. Pembacaan RFID melalui media kartu yang di dalamnya terdapat kode berbeda untuk setiap kartu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Integrasi Sistem Minimum

1. Penentuan dan perakitan perangkat pada port masukan dan keluaran

Perolehan diagram skematis rangkaian elektronika berbantuan aplikasi *Easily Application Guide Layout Editor* (EAGLE) merupakan dasar untuk pembuatan board sistem mikrokontroler. Untuk eksperimental pengoperasian aktuator (berupa *solenoid* elektromagnetik) yang berfungsi sebagai pengunci pada pintu analogi lemari penyimpanan brankas dengan bantuan kondisi “Normally Opened (NO)” pada kontak bantu (*auxiliary contact*) relai yang terkontrol oleh mikrokontroler. Berdasarkan perolehan diagram skematis rangkaian elektronika merupakan dasar untuk pembuatan board untuk sistem mikrokontroler yang ditindaklanjuti dengan pentransferan ke *paper* dan pencetakan pada lempeng *printed circuit board* (PCB).

2. Pembuatan board

Penampang atas tampilan perletakan komponen

elektronika dan pembentukan jalur pada *board* sistem mikrokontroler ATmega2560, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Penyediaan 4 (empat) pin utama pada board mikrokontroler ATmega2560, digunakan untuk kebutuhan jalur masukan sebanyak 2 (dua) pin yang terhubung ke sensor RFID dan *limit switch* dan kebutuhan jalur keluaran sebanyak 2 (dua) pin yang terhubung ke *solenoid* dan *buzzer*. Pin data serial terhubung ke mikrokontroler sebagai jalur pemberian perintah pengalamatan pada pin data RFID untuk pantauan terhadap data yang masuk. Pin-pin yang digunakan pada modul RFID, adalah GND, VCC, RX, dan TX. Pin-pin tersebut dihubungkan ke pin-pin bersesuaian pada mikrokontroler.

3. Pengawatan terintegrasi

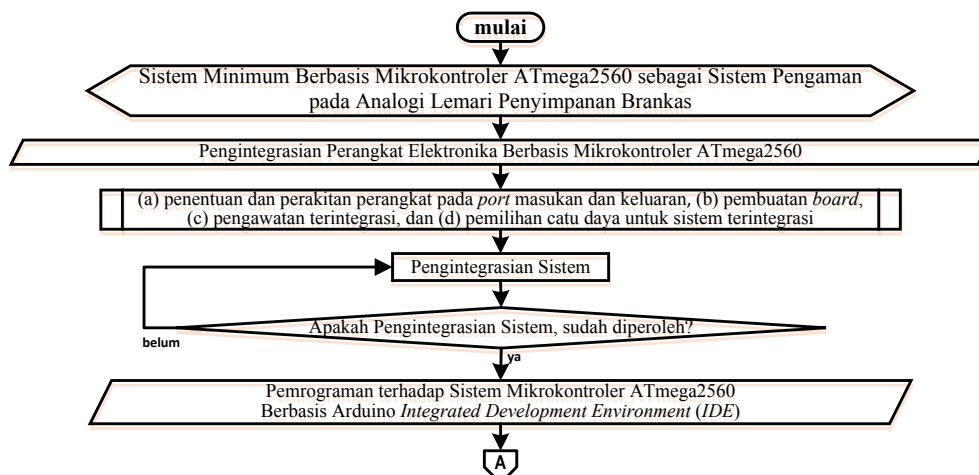
Pengawatan terintegrasi merupakan penyambungan terhadap semua komponen elektronika pada board. Penampang atas penempatan dan pemasangan komponen-komponen elektronika pada board sistem mikrokontroler, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 5, ditunjukkan bahwa board sistem utama tersedia port untuk konektor ke masukan (*input*) dan keluaran (*output*) untuk keperluan hubungan ke sistem RFID, *limit switch*, *solenoid*, dan *buzzer*.

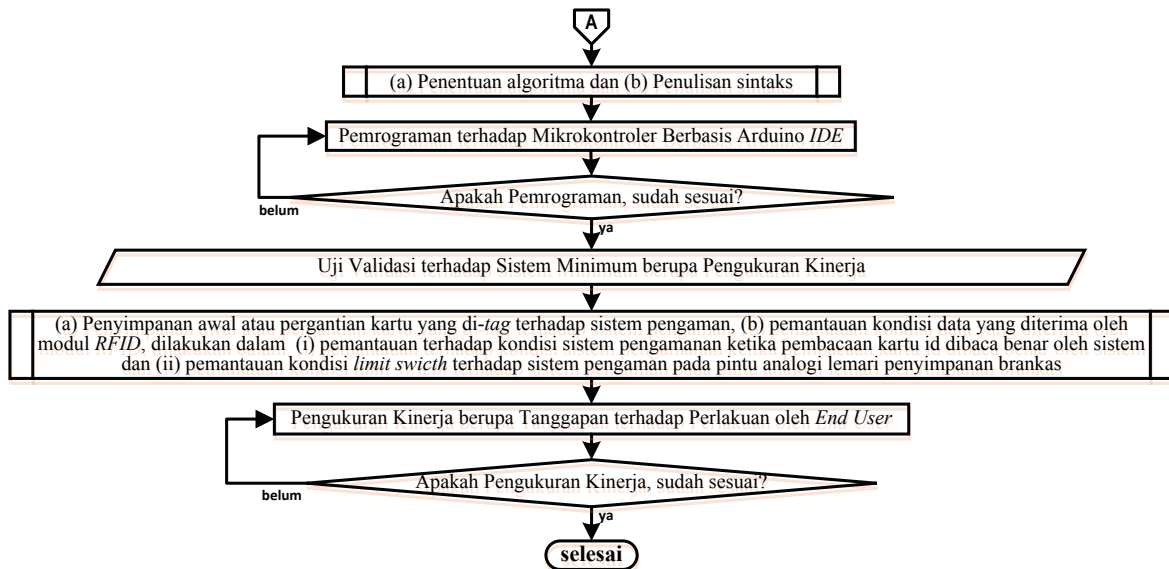
Perolehan sistem minimum terintegrasi berbasis mikrokontroler ATmega2560 untuk pengoperasian sensor dan aktuator. Penampang sistem minimum terintegrasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

4. Pemilihan catu daya (*power supply*) untuk sistem terintegrasi

Keberadaan catu daya menjadi faktor terpenting pada rangkaian terintegrasi. Catu daya untuk keperluan mikrokontroler maupun komponen pendukung lain, berupa catu daya dengan sistem tegangan 12 Vdc dengan arus 2 ampere. Hasil pengukuran terhadap catu daya sistem 12 Vdc dari regulator, diketahui bahwa tegangan keluaran tanpa beban pada nilai rata-rata 11,98 volt dc, sedangkan tegangan keluaran dengan beban pada nilai rata-rata 11,86 volt dc. Berdasarkan hal tersebut, ditunjukkan



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian (lanjutan)

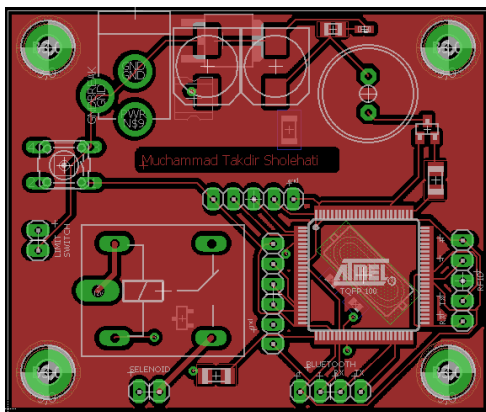
bahwa tegangan pada catu daya untuk mikrokontroler relatif tetap stabil. Keberadaan rangkaian regulator 5 Vdc sebagai pemasok ke sensor dan aktuator yang bersumber dari catu daya 12 Vdc. Untuk keperluan catu daya dengan sistem tegangan 5 Vdc dilakukan dengan pemberian chip regulator. Tegangan keluaran regulator sebesar 5 Vdc digunakan untuk catu daya sistem mikrokontroler

ATmega2560, sensor, dan aktuator, sedangkan catu daya untuk pengoperasian aktuator dicatu langsung dari mikrokontroler.

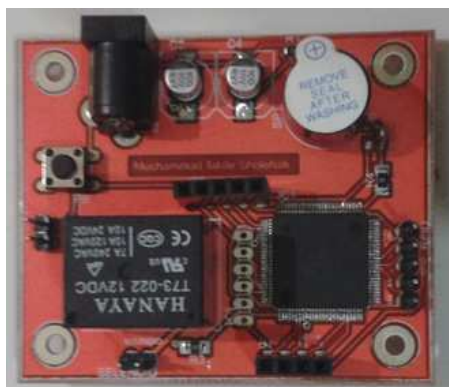
### B. Pemrograman terhadap Mikrokontroler ATmega2560

Penggunaan bahasa pemrograman Arduino IDE (*Arduino Software*) dilakukan terhadap sistem mikrokontroler ATmega2560, agar sistem dapat dioperasikan sesuai tujuan penelitian. Tahapan pemrograman terdiri atas penentuan algoritme dan penyusunan sintaks. Algoritme untuk pemrograman berbentuk diagram alir. Diagram alir pemrograman pengoperasian sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560 sebagai sistem pengaman pada analogi lemari penyimpanan brankas, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

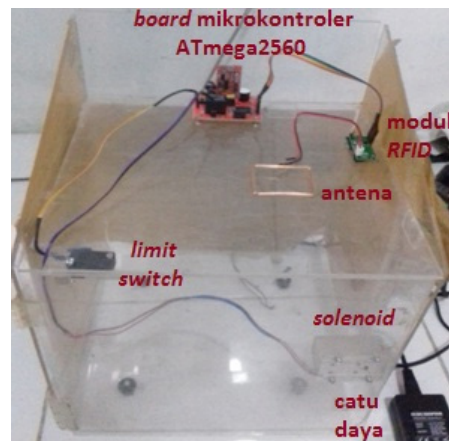
Berdasarkan Gambar 6, ditunjukkan bahwa untuk penyusunan struktur sintaks program dilakukan dengan sejumlah tahapan. Tahapan-tahapan tersebut meliputi (i) konfigurasi pin, (ii) deklarasi variabel dan konstanta, (iii)



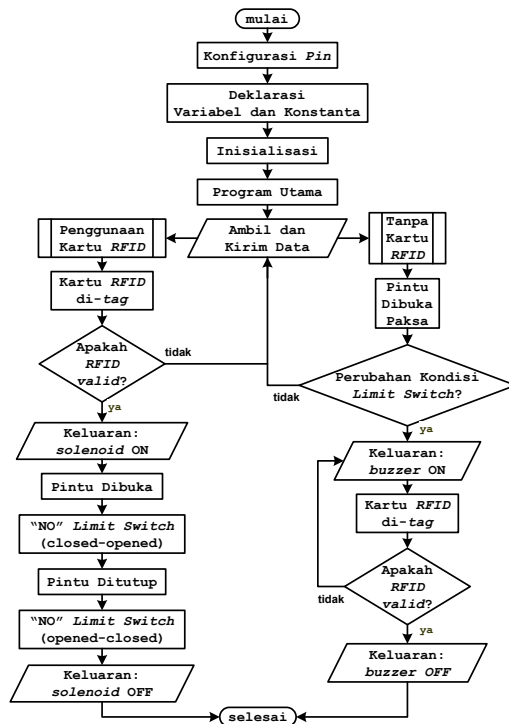
Gambar 3. Penampang atas tampilan perletakan komponen elektronika dan pembentukan jalur pada board sistem mikrokontroler ATmega2560



Gambar 4. Penampang atas penempatan dan pemasangan komponen-komponen elektronika pada board sistem mikrokontroler



Gambar 5. Penampang sistem terintegrasi yang ditempatkan pada analogi lemari penyimpanan brankas



Gambar 6. Diagram alir pemrograman pengoperasian sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560 sebagai sistem pengaman pada analogi lemari penyimpanan brankas

inisialisasi, (iv) program utama, (v) ambil dan kirim data, dan (vi) keluaran.

#### Konfigurasi pin

Konfigurasi pin merupakan penentuan terhadap pin yang digunakan, baik sebagai masukan maupun keluaran. Penentuan pin tersebut dijadikan sebagai acuan dalam setiap pengalamanan program pada ATmega2560, baik untuk sensor RFID, *limit switch*, *solenoid*, maupun *buzzer*.

*Sintaks* program untuk konfigurasi *pin*, yaitu:

```
int a = 0;
int ls = 5;
int buzz = 24;
int solenoid = 13;
#define rfid
```

#### Deklarasi variable dan konstanta

Deklarasi variabel dilakukan untuk pendeklarasian jenis data yang harus dikerjakan. *Sintaks* program untuk deklarasi variabel, yaitu:

```
#include <EEPROM.h>
String data;
uint64_t i="";
uint64_t data_rfid="";
boolean RFID = false;
```

Deklarasi konstanta merupakan pemberian nilai konstanta pada program berdasarkan datasheet sensor sebagai masukan terhadap sistem mikrokontroler ATmega2560 untuk sistem pengaman awal brankas. Deklarasi konstanta langsung disebutkan nilai. Pemakaian tanda titik koma (;) digunakan pada deklarasi konstanta, tidak seperti pada deklarasi variabel dengan penggunaan tanda sama dengan (=). *Sintaks* program untuk deklarasi

konstanta, yaitu:

```
pinMode(ls,INPUT_PULLUP);
pinMode(buzz,OUTPUT);
pinMode(solenoid,OUTPUT);
```

#### Program Utama

Program utama merupakan sumber dari pengontrolan program, karena semua perintah pada program diurutkan dari tampilan awal, pengambilan data, dan penampilan data. Struktur *sintaks* program utama pada pemrograman, yaitu:

```
void loop() {
i="";
if(Serial.available(>0){
data = Serial.readString();
if(data == 'change'){a=0; set();}
}
if(Serial3.available(>0){
baca();
//Serial.println(i);
//Serial.println(data_RFID);
if(i==data_RFID){buka();}
else{
digitalWrite(buzz, LOW);
delay(100);
digitalWrite(buzz, HIGH);
delay(100);
digitalWrite(buzz, LOW);
delay(100);
digitalWrite(buzz, HIGH);
}
while(Serial3.read()>=0){delay(10);}
}
if(digitalRead(ls)==HIGH){buzzer();}
}
void buka(){
digitalWrite(buzz, LOW);
delay(100);
digitalWrite(buzz, HIGH);
digitalWrite(solenoid, HIGH);
delay(5000);
while(digitalRead(ls)==HIGH){digitalWrite(solenoid, HIGH);}
digitalWrite(solenoid, LOW);
}
void set(){
Serial.println("ready to change");
while(a<=14){
if(Serial3.available(>0){
i += Serial3.read();
delay(10);
a++;
}
}
Serial.println("DONE");
//Serial.println(i);
while(Serial3.read()>=0){delay(10);}
EEPROM.put(0,i);
EEPROM.get(0,data_RFID);
```

```

Serial.print("your id is save");
//Serial.println(data_RFID);
}
void buzzer(){
while(i!=data_RFID){
digitalWrite(buzz, LOW);
delay(100);
digitalWrite(buzz, HIGH);
delay(100);
if(Serial3.available(>0){baca();}
}
}
void baca(){
a=0;
while(a<=14){
if(Serial3.available(>0){
i += Serial3.read();
delay(10);
a++;
}
}
}
}

```

*Ambil dan kirim data*

Data perintah atau ketentuan yang sesuai dengan masukan pada sensor tersebut dikirim untuk dan selanjutnya digunakan untuk isyarat ke penggerak aktuator. *Sintaks* program untuk ambil dan kirim data, yaitu:

```

void baca(){
a=0; while(a<=14){
if(Serial3.available(>0){
i += Serial3.read(); delay(10);
a++;
}
}
}
}

```

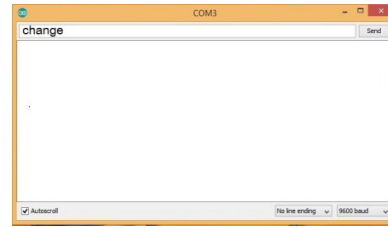
*Keluaran*

Keluaran program merupakan reaksi yang diakibatkan oleh masukan sensor. *Sintaks* program untuk keluaran, yaitu:

```

void buka(){
digitalWrite(buzz, LOW);
delay(100);
digitalWrite(buzz, HIGH);
digitalWrite(solenoid, HIGH);
delay(5000);
while(digitalRead(ls)==HIGH){digitalWrite(solenoid, HIGH);}
digitalWrite(solenoid, LOW);
}
void buzzer(){
while(i!=data_rfid){
digitalWrite(buzz, LOW);
delay(100);
digitalWrite(buzz, HIGH);
delay(100);
if(Serial3.available(>0){baca();}
}
}
}

```



Gambar 7. Tampilan hasil penyimpanan awal atau pergantian kartu melalui pen-tag-an terhadap sistem Arduino IDE yang ditampilkan pada monitor

*C. Uji Validasi*

Uji validasi berupa sejumlah pelaksanaan eksperimental, yaitu i) langkah awal penyimpanan/ pergantian kartu di-tag terhadap sistem pengamanan, ii) pemantauan terhadap kondisi sistem pengamanan, ketika pembacaan kartu dibaca benar oleh sistem, meliputi \*) pemantauan kondisi data yang diterima oleh modul RFID dan \*\*) pemantauan kondisi *limit swicth* terhadap pengaman pada pintu analogi lemari.

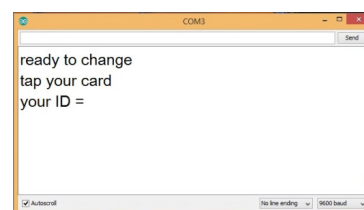
1. Penyimpanan awal atau pergantian kartu melalui pen-tag-an kartu pada antena RFID

Penyimpanan awal atau pergantian kartu melalui pen-tag-an terhadap sistem Arduino IDE yang ditampilkan pada serial monitor. Tampilan hasil penyimpanan awal atau pergantian kartu melalui pen-tag-an terhadap sistem Arduino IDE yang ditampilkan pada monitor, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa pilihan change sebagai langkah awal untuk komentar terhadap ATmega2560 dengan penggunaan serial monitor yang terdapat pada Ardiuno IDE. Komentar ATmega2560 terhadap *personal computer* (PC, komputer personal) dan siap untuk pelaksanaan scan kartu RFID baru sebagai kartu pengganti. Tampilan *change to ready*, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa modul RFID telah dengan perubahan data, berupa data digital yang dikirim balik oleh kartu RFID berupa kode digital yang terdapat pada kartu RFID. Setiap kartu RFID dengan kode berbeda-beda. Setiap pembacaan satu kartu RFID dengan 16 digit angka yang dapat dibaca oleh modul RFID dan data tersebut disimpan di EEPROM.

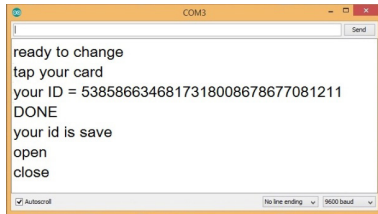
2. Pemantauan kondisi terhadap sistem pengaman, ketika pembacaan kartu RFID dibaca secara benar  
Pembacaan data digital pada kartu RFID, yang terdapat



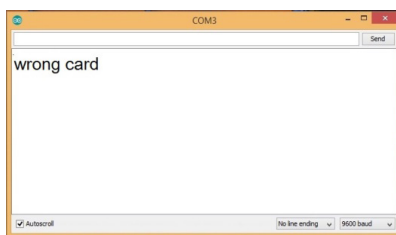
Gambar 8. Tampilan change to ready



Gambar 9. Tampilan pergantian kartu telah diakses



Gambar 10. Tampilan pergantian kartu telah diakses

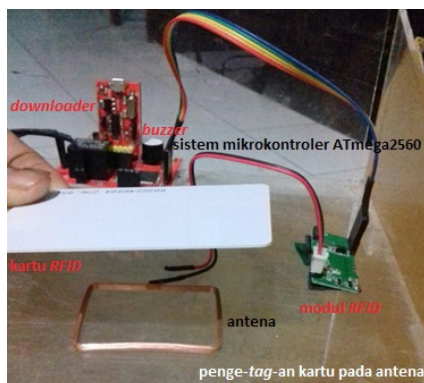


Gambar 11. Tampilan kode digital tidak terbaca atau salah

pada kartu RFID terdapat pembacaan pada modul RFID dan data yang diterima sama dengan yang tersimpan pada EEPROM, maka tertampilkan *solenoid* terbuka. Tampilan pergantian kartu telah diakses, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Berdasarkan Gambar 9, ditunjukkan bahwa hasil dari pembacaan data digital yang terdapat pada kartu RFID terdapat pembacaan pada modul RFID dan data yang diterima sama dengan yang tersimpan pada EEPROM, maka tertampilkan *solenoid* terbuka. Tampilan pergantian kartu telah diakses, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Kartu RFID yang digunakan sebelumnya, kini tidak dapat digunakan kembali, apabila sudah diganti dengan kartu baru. Modul RFID hanya dapat dengan satu kartu saja sebagai pengoperasian *solenoid* untuk pembukaan pintu. Untuk kondisi dimana digunakan kartu lama, tetapi telah di-tag kembali atau kartu baru, maka tertampilkan



Gambar 12. Pengukuran kinerja sistem RFID

your ID = 538586634682731800867915982103110831153120612091211

Gambar 13. Tampilan salah satu hasil pengukuran data ID-card sistem RFID pada sistem mikrokontroler ATmega2560

kondisi berbeda. Tampilan kode digital kartu tidak terbaca atau salah, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

Berdasarkan Gambar 11, ditunjukkan bahwa program berbasis Arduino IDE yang telah dibuat dilakukan melalui pembuatan berbagai macam kondisi sesuai parameter yang dibutuhkan, yaitu: (i) data diterima oleh modul RFID dan (ii) kondisi *limit switch* terhadap kondisi pintu.

### 3. Pemantauan kondisi data yang diterima oleh modul RFID

Tampilan pembacaan ID-card melalui antena RFID, seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Berdasarkan Gambar 12 ditunjukkan, bahwa hasil pengukuran modul RFID berupa angka yang terdiri atas sejumlah digit angka arab dan data tersebut disimpan pada EEPROM.

Modul RFID dengan kondisi perubahan data, berupa data digital yang dipancarkan oleh antena RFID dan dipantulkan balik oleh kartu dengan frekuensi serupa. Pembacaan data digital yang dikirim balik oleh kartu berupa angka digital yang terdapat pada kartu RFID dengan kondisi, bahwa setiap kartu RFID berciri khas dengan susunan angka-angka berbeda. Tampilan salah satu hasil pengukuran data ID-card (kartu RFID) ditampilkan berupa susunan angka-angka, seperti ditunjukkan pada Gambar 13.

Setiap pembacaan satu kartu RFID dengan 16 angka yang dapat dibaca oleh modul RFID dan data tersebut disimpan di EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*), selanjutnya jika terdapat pembacaan pada modul RFID dan data yang diterima sama dengan data tersimpan pada EEPROM, maka *solenoid* ter-energi-kan (*energized*) untuk pembukaan kunci, sedangkan jika data yang tersimpan tidak terbaca, maka *buzzer* tetap berbunyi sampai kartu RFID di-tag kembali.

### 4. Pemantauan kondisi *limit switch* terhadap sistem

Tampilan kondisi *limit switch* terhadap pengamanan pintu brankas, seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Berdasarkan Gambar 14, ditunjukkan bahwa hasil dari pengukuran dengan pintu tertutup berkondisi *high* dan sistem dalam mode *stand by*, maka dalam mode ini sistem dengan pemaksimalan pengamanan terhadap pintu brankas



Gambar 14. Tampilan kondisi limit switch terhadap kondisi pintu analogi lemari penyimpanan brankas

secara paksa dan siap untuk penerimaan pembacaan kartu RFID oleh modul RFID. Kondisi pintu terbuka, maka *limit switch* dalam kondisi *low* dan sistem terus dengan pembukaan kunci pada pintu sampai pintu tersebut tertutup kembali. Untuk kondisi dimana pintu terbuka paksa tanpa penggunaan RFID, maka *buzzer* dalam kondisi berbunyi.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan dapat disimpulkan sesuai tujuan penelitian. Jalur masukan dihubungkan ke sensor RFID dan *limit switch* dipasang sebagai transduser untuk pembacaan kondisi pintu analogi lemari penyimpanan brankas, sedangkan jalur keluaran dihubungkan ke *solenoid* yang dilengkapi dengan tuas pengunci dan *buzzer* sebagai penimbul sinyal alarm.

Pemrograman terhadap mikrokontroler ATmega2560 didasarkan kepada algoritme dan penyusunan sintaks berbasis Arduino IDE, melalui 6 (enam) tahapan, yaitu: (i) konfigurasi pin, (ii) deklarasi variabel (peubah) dan konstanta (tetapan), (iii) inisialisasi, (iv) program utama, (v) ambil dan kirim data, dan (vi) keluaran. Berdasarkan hasil pemrograman tersebut, jika diperlukan dapat dilakukan uji verifikasi berupa simulasi berbantuan aplikasi Proteus.

Uji validasi dilakukan dalam bentuk pemberian 4 (empat) kondisi terhadap sistem minimum yang meliputi (a) ketika kartu tidak terdeteksi modul RFID, (b) ketika kartu terdeteksi modul RFID, (c) ketika pintu dibuka paksa (tanpa modul RFID) dan *buzzer* “on”, kartu tidak terdeteksi oleh modul RFID saat di-tag pada antena, dan (d) ketika pintu dibuka secara paksa (tanpa modul RFID) dan *buzzer* “on”, kartu terdeteksi oleh modul RFID saat di-tag pada antena. Hasil uji validasi secara keseluruhan sesuai harapan, dimana semua sensor tergantung kepada setelan pemberian tegangan masukan yang diberikan. Pembacaan nilai frekuensi oleh sensor RFID berdasarkan pantulan yang diterima dari *ID-card* (kartu RFID) dengan isian data digital berupa serial number. Setiap kartu RFID disertai susunan angka yang berbeda-beda. Setiap pembacaan satu kartu RFID, maka data tersebut disimpan di EEPROM. Untuk kondisi dimana terdapat pembacaan pada modul RFID dan data yang diterima sama dengan yang tersimpan pada EEPROM, maka *solenoid* ter-energi-kan (*energized*) dan pintu dapat dibuka. Pemaksimalan terhadap keamanan pintu analogi lemari berupa pendeteksian oleh kondisi *limit switch* saat pintu dibuka paksa dan *buzzer* berbunyi. Untuk kondisi penetralan terhadap kondisi *buzzer*, dilakukan melalui pen-tag-an kartu RFID melalui antena. *Buzzer* tetap berbunyi, jika data tersimpan tidak terbaca oleh modul RFID, sedangkan *buzzer* dapat dinetralkan, jika saat pen-tag-an kartu data tersimpan terbaca oleh modul RFID.

#### REFERENSI

[1] S. Kanagamalliga, S. Vasuki, A. Vishnu Priya3, and V. Viji, “Security Monitoring Using Embeadded Systems,”

in International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, Special Issue 3, March 2014, pp. 620-623.

[2] C. Yaashuwanth, P. Prabhavathy, and C. Gopinath, “Smart home security surveillance robot using ATMega 2560 microcontroller,” in International Journal of Soft Computing, Vol. 9, Issue 5, 2014, pp. 348-354. DOI: 10.3923/ijscmp.2014.348.354

[3] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” in Computer Networks, Vol. 54, Issue 15, 28 October 2010, pp. 2787-2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.

[4] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, I. Chlamtac, “Internet of things: Vision, Applications, and Research Challenges,” in Ad Hoc Networks, Vol. 10, Issue 7, September 2012, pp. 1497-1516. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>.

[5] S. Bhatia, A. Chauhan, and V.K. Nigam, “The Internet of Things: A Survey on Technology and Trends,” in International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 03, Issue 05, May 2016, pp. 1397-1405. [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5286.pdf>.

[6] A.A. Zandamela, “An Approach to Smart Home Security System using Arduino,” in Electrical Engineering: An International Journal (EEIJ), Vol. 4, No. 2/3, September 2017, pp. 1-18. [Online]. Available: <https://aircse.com/eeij/papers/4317eeij01.pdf>. DOI: 10.5121/eeij.2017.4301.

[7] T. Rubenoff. (2018, March, 29). How to Choose a Lock that is Bump and Pick Resistant. [Online] Available: <https://dengarden.com/SECURITY/HOW-TO-CHOOSE-A-LOCK-THAT-IS-RESISTANT-TO-KEY-BUMPING>.

[8] G. Gridling and B. Weiss, (2007, February 26). Introduction to Microcontrollers, Courses 182.064 & 182.074, Embedded Computing Systems Group, Institute of Computer Engineering, Vienna University of Technology, Version 1.4, 2007, pp. 11-88.

[9] A. Goeritno, dan I. Mustofa. “Minimum System Berbasis Mikrokontroler ATmega32 untuk Pemantauan dan Tampilan Kondisi Instalasi Kelistrikan Otobis,” di Jurnal Ilmiah Setrum, Vol. 6, No. 1, Juni 2017, hlm. 55-67.

[10] A. Goeritno, dan Y. Herutama, “Sistem Elektronis Berbantuan PC untuk Pemantauan Kondisi Pasokan Daya Listrik,” dalam Jurnal Rekayasa Elektrika, Vol. 14, No. 2, hlm. 96-104, Agustus 2018.

[11] R. Goodman, (2015, July, 31). 4 Locks That Cannot Be Picked. [Online]. Available: <http://united-locksmith.net/blog/4-locks-that-cannot-be-picked>.

[12] P. Brians, (retrieved on 2016, May 30). “Safety Deposit Box,” in Common Errors in English. Washington State University. [Online]. Available: <https://brians.wsu.edu/2016/05/30/safety-deposit-box/>.

[13] K. Finkenzyler, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, Second Edition (translated by Rachel Waddington), Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2003, pp. 1-9.

[14] M.H. Mickle, L. Mats, and P.J. Hawrylak, “Physics and Geometry of RFID,” in RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy (Edited by Syed Ahson and Mohammad Ilyas), Boca Raton: CRC Press, 2008, pp. 3-16.

[15] K. Finkenzyler, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, Third Edition (translated by Dorte Muller), Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2010, pp. 1-9.

[16] M.A. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, The AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C, Hoboken, NJ: Prentice Hall, pp. 40-43, 2011.

[17] Atmel Corporation, (2014, Feb.). 8-bit Atmel Microcontroller

- with 16/32/64KB In-System Programmable Flash. [Online], [http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf).
- [18] M. Banzi, (2011, September), Getting Started with Arduino, (2nd Edition), Sebastopol, CA: Maker Media, 2011, pp. 20-24.
- [19] W. Durfee, (2011, October), Arduino Microcontroller Guide. Course Material, University of Minnesota, Minneapolis. [Online]. Available: <http://www.me.umn.edu/courses/me2011/arduino/arduinoGuide.pdf>
- [20] M. Margolis and N. Weldin. (2011, March), Arduino Cookbook, First Edition. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc., pp. 1-18.
- [21] S.F. Barret, Arduino Microcontroller: Processing for Everyone, Part I. San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2010, pp. 39-42.
- [22] M. Banzi and M. Shiloh, Getting Started with Arduino, (3rd Edition). Sebastopol, CA: Maker Media, 2015, pp. 18-22.
- [23] S.L. Herman, "Limit Switch and Proximity Control," in Electric Motor Control, 9th Edition. Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning, 2010, pp. 127-132
- [24] Johnson Electric, Solenoid: Principle of Operation, Ledex, [Online], <http://www.johnsonelectric.com/en/resources-for-engineers/solenoids/~media/005A9A8652994C549B34B5C88C8284AC.ashx> (accessed January, 30rd 2017).
- [25] Future Electronics, What is a Buzzer?, Pointe Claire, Quebec, Canada. [Online]. Available: <http://www.futureelectronics.com/EN/PASSIVES/BUZZERS.ASPX>.
- [26] CadSoft. EAGLE Easily Applicable Graphical Layout Editor Manual Version 5. Palm Beach, FL: CadSoft Computer Inc., pp. 37-80, 2010.
- [27] K. Aono. "Application Note: PCB Design with EAGLE," in ECE480 Design Team 5, Department of Electrical & Computer Engineering. Michigan, MI: Michigan State University, 2011, pp. 1-33.

# Sistem Portable Dashboard Berbasis Android untuk Mobil Listrik

Bambang Sumantri, Anggita Abimayu, dan Ni'am Tamami  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Kampus PENS Jl. Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
e-mail: bambang@pens.ac.id

**Abstrak**—Dalam pengembangannya, banyak hal yang harus diperhatikan agar mobil listrik dapat menjadi kendaraan ramah lingkungan yang layak dipakai oleh publik, salah satunya adalah sistem antarmuka. Panel instrumen kendaraan bermotor (*dashboard*) adalah perangkat antarmuka yang menghubungkan pengemudi dengan sistem kelistrikan dan mekanik kendaraan. Dalam penelitian ini dikembangkan sebuah sistem *dashboard* untuk menampilkan informasi mengenai aspek kelistrikan pada mobil listrik. Sistem dashboard dikemas dalam smartphone berbasis Android yang diletakkan pada bagian *steering* mobil menggunakan transmisi *bluetooth*. Sistem yang dibuat bersifat *portable* dan *universal* pada semua smartphone Android, sehingga dengan adanya sistem ini pengemudi dapat memantau kondisi kelistrikan secara mudah dan nyaman. Parameter yang ditampilkan berupa tegangan dan kapasitas baterai, konsumsi arus, kecepatan putar motor BLDC, suhu motor, suhu baterai, kecepatan mobil, dan konsumsi energi. Sistem yang dibuat ini menghasilkan nilai pembacaan tiap parameter, dan telah dibandingkan dengan alat ukur terstandar dengan error rata-rata 0,38% untuk sensor tegangan, 1,06% untuk sensor arus, 1,21% dan 2,98% untuk sensor suhu, 0,07% untuk sensor kecepatan dan penggunaan metode *coulomb counting* untuk pembacaan nilai *state of charge* (SoC) menghasilkan rata-rata error 1,57%. Pengujian nilai akhir konsumsi energi pembacaan alat terhadap wattmeter buatan pabrik memiliki selisih error rata-rata 1,69 %.

**Kata kunci:** *mobil listrik, instrumentasi, dashboard portabel, state of charge baterai, Android*

**Abstract**— In the development of an electric car, many things should be considered for making it an environmentally friendly vehicle and therefore it is suitable for public use, one of them is the dashboard system. A dashboard is an interface device that connects the driver with the electrical and mechanical systems of the vehicle. In this study a dashboard system was developed to display information about electrical aspects of electric cars. The dashboard system is packaged in an Android-based smartphone that is placed on the steering wheel of the car using Bluetooth transmission. The system that is made is portable and universal on all Android smartphones so that with this system the driver can monitor the electrical condition easily and conveniently. The parameters displayed are battery voltage and capacity, current consumption, BLDC motor rotational speed, motor temperature, battery temperature, car speed and energy consumption. This system creates a reading value for each parameter that corresponds to the ratio of the standardized measuring instrument with an average error of 0.38% for the voltage sensor, 1.06% for the current sensor, 1.21% and 2.98% for the temperature sensor, 0.07% for the speed sensor and the use of the coulomb counting method for reading the state of charge (SoC) value produces an average error of 1.57%. By comparing the value of energy consumption reading with a standard wattmeter, we obtained an average difference of 1.69%.

**Keywords:** *electric cars, instrumentation, portable dashboards, state of battery charge, Android*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Ketersediaan fosil sebagai sumber bahan baku utama bahan bakar mesin *gasoline* semakin lama semakin menipis. Peningkatan jumlah manusia akan meningkatkan mobilisasi dengan menggunakan kendaraan. Peningkatan volume kendaraan yang semakin meningkat akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar yaitu semakin tercemarnya udara dan meningkatkan pemanasan global akibat dari penggunaan bahan bakar fosil pada mesin *gasoline* [1]. Transformasi kendaraan dengan mesin *gasoline* menjadi kendaraan dengan mesin

listrik merupakan langkah yang tepat untuk mengurangi pencemaran udara dan pemanasan global yang semakin meningkat. Salah satu yang menjadi concern saat ini adalah pengembangan mobil listrik. Terdapat banyak hal yang perlu dikembangkan agar mobil listrik dapat menjadi kendaraan ramah lingkungan yang layak dipakai oleh publik salah satunya adalah sistem interface.

Agar sebuah mobil listrik dapat bekerja dengan baik, maka dibutuhkan suatu sistem untuk memonitoring kinerja sebuah mobil listrik (*dashboard*). Namun dalam perkembangannya, sistem *dashboard* konvensional saat ini mayoritas masih bersifat mekanis dan analog. Hal



ini menyebabkan tingkat fleksibilitasnya rendah, sulit untuk mengubah dan meng-*upgrade* ulang panel-panel instrumennya [2]. Migrasi penggunaan berbasis analog menjadi digital sangat diperlukan. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah sistem *dashboard* digital berbasis mikrokontroler dan Android. Sistem yang dibuat dapat memantau tegangan dan kapasitas baterai, arus, daya, kecepatan, dan konsumsi energi. *Interface* atau tampilan dari sistem yang dirancang ditampilkan pada sebuah smartphone yang dipasang pada *dashboard* mobil. Maka dari itu sistem ini dibuat untuk memudahkan dalam hal monitoring dan dapat diaplikasikan di berbagai jenis kontrol dan kelistrikan mobil listrik. Sistem *dashboard* ini telah diuji-cobakan pada purwarupa mobil listrik CHAPENS.

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Battery Monitoring System (BMS)

Baterai berjenis Lithium Ion notabene digunakan di hampir setiap mobil listrik [3]. Karakteristik baterai Lithium-Ion mengharuskan adanya sebuah sistem manajemen dan monitoring serta pengaman sehingga jika terjadi hal-hal yang tidak diinginkan tidak membahayakan dari mobil listrik tersebut [3], [4]. *Driver* juga harus mengerti karakteristik alamiah dari *battery* yang digunakan pada mobil listrik tersebut. Tanpa konfigurasi dan pemahaman yang baik, sistem BMS tidak bisa mengkondisikan baterai dengan baik pada daerah kerja amannya [4]. Artinya, BMS tidak bisa melakukan manajemen dan monitoring baterai secara baik dengan parameter-parameter yang salah. Maka, perancangan sistem BMS harus memperhatikan seluruh aspek kelistrikan pada mobil listrik. Kemajuan teknologi terkini dan perbaikan dalam proses pembuatan baterai telah mengubah pendapat umum tentang kendaraan listrik dan saat ini kemungkinan untuk menggunakan mobil menjadi sangat menarik bagi konsumen dan perusahaan produsen mobil [5].

### B. Dashboard System

Perancangan sistem *dashboard* mengacu pada empat step secara berurutan [6], yaitu: mengidentifikasi permasalahan pada *dashboard*, menyusun rancangan meliputi masalah klarifikasi dan faktor internal external, menentukan dimensi dari *dashboard* itu sendiri, dan memilih rancangan konsep *dashboard*. Pengembangan sistem *dashboard* mobil listrik yang dilakukan oleh Jia dan Chien menghasilkan sebuah sistem untuk memantau aspek mekanik dari mobil seperti, kecepatan, pengereman, jarak, status baterai, dan sistem kemudi [7]. Tujuan dari pengembangan ini adalah fokus pada aspek mekanik sehingga pengemudi dapat mengantisipasi hal yang tidak diinginkan dan agar selamat dalam berkendara dan konsep dari smart and safe vehicle dapat tercapai [7], [8].

Fokus lain yang juga dikembangkan yaitu tampilan pengguna dan transmisi data untuk dapat memantau hal

Tabel 1. Estimasi nilai SOC dan AH Baterai Li-Ion [13]

Tegangan (V)	SOC(%)	AH
11,	0	0
12	6	0,25
12,5	38	1,5
13	69	2,75
13,5	100	4

atau parameter yang penting dalam sebuah mobil listrik [9]. Hal yang umum dan telah dilakukan adalah mengirimkan data sensor ke *Personal Computer* (PC) [9], [10]. Data yang dikirimkan harus bersifat *real-time* sehingga *user* dapat mengetahui apa yang terjadi pada mobil listrik tersebut. Sistem telemeteri merupakan salah satu metode yang dipakai untuk mengirimkan data dari mobil listrik kepada pengguna di sisi lain dari mobil [10]. Untuk menjadikan sistem ini *portable*, penggunaan protokol bluetooth dan aplikasi berbasis Android menjadi solusi agar driver dapat dengan mudah memantau kondisi yang terjadi pada mobil listrik. Penggunaan aplikasi *dashboard* berbasis Android dirancang untuk dapat menggantikan peran *dashboard* konvensional dan menyediakan interaksi yang lebih interaktif kepada pengemudi [2]. Selain itu, melalui aplikasi *dashboard* ini, akan lebih mudah untuk dikembangkan sebagai sistem monitoring jarak jauh dari mobil listrik melalui jaringan internet atau sistem cloud seperti yang dikembangkan pada referensi [5], [11], [12].

### C. State of Charge Baterai Li-Ion

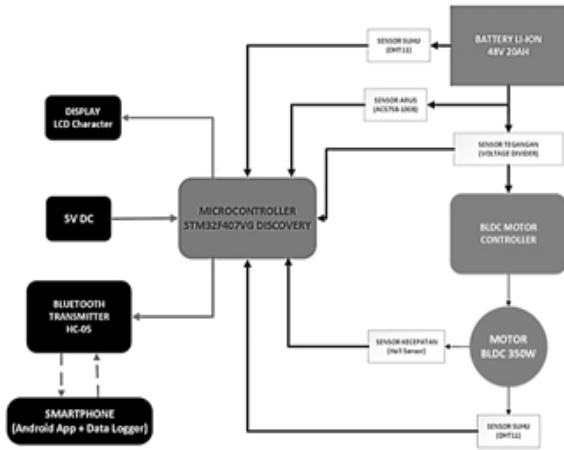
#### 1. Open Circuit Voltage

Baterai Li-Ion membutuhkan nilai SOC (*State of Charge*) sebagai manajemen untuk memperpanjang *lifetime* dari baterai [13], [14], [15], [16]. Untuk menentukan nilai kapasitas (*State of Charge*) dari baterai, ada banyak metode untuk menentukannya salah satunya adalah metode *Open Circuit Voltage* (OCV). OCV merupakan cara untuk menentukan SOC baterai dengan berdasarkan nilai tegangan baterai dan kondisi terbuka atau tanpa beban [14], [15], [17].

Keluaran dari metode OCV adalah berupa nilai estimasi *state of charge* baterai Li-Ion yang dapat digunakan sebagai acuan untuk pengukuran kapasitas baterai. Tabel 1 merupakan estimasi SOC dan AH untuk baterai Li-Ion 12V.

#### 2. Coulomb Counting

Metode coulomb counting merupakan salah satu metode yang banyak dipakai untuk mendapatkan nilai SOC pada baterai. Kelebihan metode ini adalah presisi, mudah diterapkan, akurasi dan *error* hanya dari faktor sensor yang digunakan [14]. Metode ini memanfaatkan nilai dari konsumsi arus dan kapasitas total dari baterai [13], [14], [17]. Persamaan coulomb counting untuk menentukan nilai SOC pada saat kondisi charging ditunjukkan oleh persamaan (1). dimana merepresentasikan nilai SOC awal, adalah konsumsi arus dari baterai dan adalah kapasitas nominal baterai.



Gambar 1. Blok diagram sistem

$$SOC = SOC(t_0) + \frac{\int_{t_0}^{t_0+\tau} I_{bat} \Delta \tau}{Q_{rate}} * 100. \tag{1}$$

Sedangkan untuk kondisi discharging ditunjukkan dengan persamaan (2).

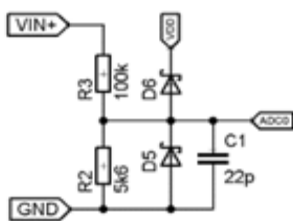
$$SOC = SOC(t_0) - \frac{\int_{t_0}^{t_0+\tau} I_{bat} \Delta \tau}{Q_{rate}} * 100. \tag{2}$$

### III. DESAIN SISTEM

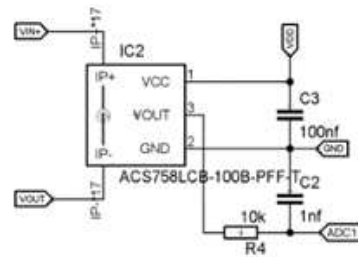
Sistem yang dirancang pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler ARM-Cortex based yaitu STM32F407VG. Mikrokontroler menerima data dari sensor-sensor yang digunakan yang meliputi pembagi tegangan untuk sensor tegangan, ACS758-100B untuk sensor arus, DHT11 untuk sensor suhu yang diletakkan pada baterai dan motor, dan memanfaatkan Hall Effect Sensor internal motor BLDC untuk sensor kecepatan. Selanjutnya data yang didapat akan ditampilkan pada LCD character dan dikirimkan ke perangkat smartphone dengan bluetooth sebagai media trasmisinya. Aplikasi Android yang dirancang memiliki user interface yang informatif dan memiliki fitur data logger untuk menyimpan hasil monitoring. Gambar 1 merupakan blok diagram keseluruhan sistem.

#### A. Sensor Tegangan

Sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Gambar 2 merupakan skematik rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 2. Rangkaian sensor tegangan



Gambar 3. Rangkaian sensor arus

Keluaran dari sensor tegangan ini akan dibaca ADC yang memiliki resolusi 12-bit. Tegangan referensi ADC Mikrokontroler STM32F407VG adalah 3,3V, maka output sensor pembagi tegangan tidak lebih dari 3,3V. Persamaan (3) menunjukkan perhitungan nilai resistor dan tegangan keluaran sensor.

$$V_{adc} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{input}. \tag{3}$$

Jika tegangan yang dikehendaki adalah 54V dan nilai resistor pada R2 adalah 5k6 ohm dan R1 adalah 100k ohm, maka:

$$V_{adc} = \frac{5k6}{100k + 5k6} * 54 = 2,86 \text{ Volt}$$

#### B. Sensor Arus

Sensor arus menggunakan IC ACS758-100B yang kemudian nilai ADC dibaca oleh mikrokontroler. Gambar 3 adalah rangkaian sensor arus.

ACS758-100B merupakan tipe Bidirectional dimana untuk menentukan nilai tegangan keluaran IC ketika arus yang mengalir adalah sama dengan nol (Quiescent output voltage) adalah berdasarkan persamaan (4) yaitu:

$$V_{out(Q)} = \frac{V_{cc}}{2}. \tag{4}$$

Jika Vcc yang dipakai adalah 3,3V, maka:

$$V_{out(Q)} = 1,65 \text{ Volt}.$$

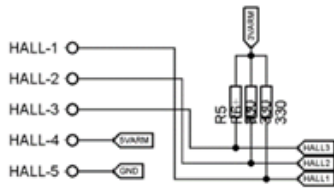
Dapat diketahui nilai zero offset dari ACS758-100B dengan menggunakan persamaan (5).

$$Zero \text{ Offset} = \frac{2^n}{V_{ref}} * V_{out(Q)}. \tag{5}$$

Sebagaimana diketahui bahwa 2<sup>n</sup> adalah nilai resolusi ADC yaitu 12bit, V<sub>ref</sub> merupakan tegangan referensi yang dipakai yaitu 3,3V dan V<sub>out(Q)</sub> adalah Quiescent Output Voltage yang didapatkan dari persamaan (4). Dapat dihitung nilai zero offset dari sensor arus sebagai berikut:

$$Zero \text{ Offset} = \frac{4096}{3,3} * 1,65 = 2048.$$

ACS758-100B mempunyai nilai sensitifitas 20mV/A, sehingga kalibrasi pembacaan nilai arus dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (6) dimana I<sub>m</sub> adalah arus yang terukur oleh sensor, Zero Offset didapatkan dari



Gambar 4. Rangkaian pull-up pembacaan hall effect sensor

persamaan (5) dan *Sensitivity* adalah 20mV/A.

$$I_m = \frac{(ADC - ZeroOffset) * \left(\frac{V_{ref}}{2^n}\right)}{\left(\frac{V_{cc}}{5}\right) * Sensitivity} \tag{6}$$

C. Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan didesain dengan memanfaatkan *hall effect sensor* internal dari motor BLDC. Dibutuhkan rangkaian *pull-up* untuk membaca sinyal masukan dari *hall effect sensor*. Gambar 4 merupakan rangkaian *pull-up hall effect sensor* menggunakan resistor 330 ohm.

Untuk masukan ke mikrokontroler melalui pin *External Interrupt* (EXTI) berupa sinyal dari hall effect sensor internal motor BLDC. Jumlah *pole* dalam motor BLDC 1KW berjumlah 23, sehingga rumus untuk mendapatkan kecepatan dari metode perhitungan *hall effect* menggunakan persamaan (7) dimana  $N_{count}$ , pembacaan *hall effect* dan  $N_{pole}$  adalah jumlah kutub.

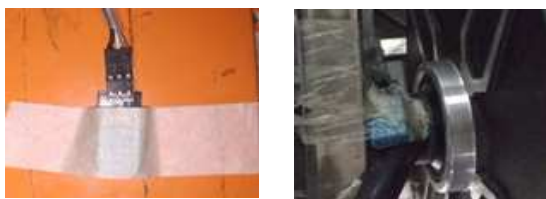
$$RPM = \frac{N_{count} * 60}{N_{pole}} \tag{7}$$

D. Sensor Suhu

Sensor suhu dipakai untuk mengukur suhu baterai dan suhu motor BLDC. Sensor suhu yang dipakai adalah DHT11. Jenis komunikasi yang digunakan untuk mengakses DHT11 dengan mikrokontroler adalah *OneWire*. Gambar 5 merupakan sensor DHT11 untuk baterai (a) dan motor BLDC (b).

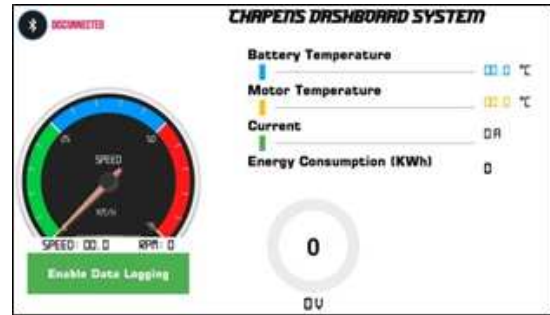
E. User Interface

Untuk menampilkan semua hasil pembacaan sensor mobil listrik yang ditransmisikan melalui *bluetooth*, dibuat aplikasi Android dengan menggunakan *web-based android programming* yaitu APP Inventor. Bagian aplikasi terdiri dari 8 bagian utama yang ditunjukkan Gambar 6.



(a) (b)

Gambar 5. (a) DHT11 pada baterai, (b) DHT11 pada motor BLDC



Gambar 6. User interface aplikasi Android

- Bluetooth Setting untuk menghubungkan aplikasi dengan *hardware*
- Speedometer Gauge untuk menampilkan kecepatan putar motor BLDC dan kecepatan mobil
- Indikator suhu baterai
- Indikator suhu motor BLDC
- Indikator arus yang dikonsumsi
- Indikator konsumsi energi mobil listrik
- Indikator kapasitas & tegangan baterai
- Fitur data logger untuk menyimpan hasil monitoring

IV. HASIL PENGUJIAN SISTEM

Pengujian sistem dilakukan dengan mengintegrasikan *hardware* pada mobil listrik dan *smartphone* pada *steering* mobil listrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sistem *hardware* diujikan untuk mengetahui karakteristik sensor yang digunakan. Hasil pengujian dibandingkan dengan alat ukur standar sehingga dapat dilihat nilai *error* dari pembacaan sensor. Alat yang digunakan sebagai pembanding adalah:

Alat ukur arus, tegangan dan energi digunakan ScopeCorder Yokogawa tipe DSO DL850.

Alat ukur kecepatan putar motor digunakan photo/contact tachometer Lutron Model: DT-2268.

Alat ukur temperature digunakan thermometer infrared Fluke tipe 62-Max.

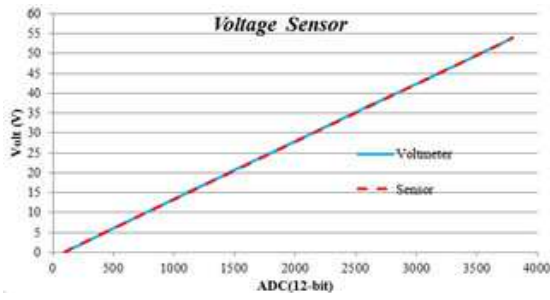
A. Sensor Tegangan

Nilai ADC 12 bit yang terbaca di-sampling sebanyak 1000 kali per detik agar pembacaan lebih stabil dan presisi. Gambar 8 merupakan kurva perbandingan pembacaan nilai tegangan antara sistem dengan multimeter digital. Sistem memiliki *error* terbesar sekitar 3,5% dan tidak melebihi 5% seperti ditunjukkan pada Gambar 9 dan *error*

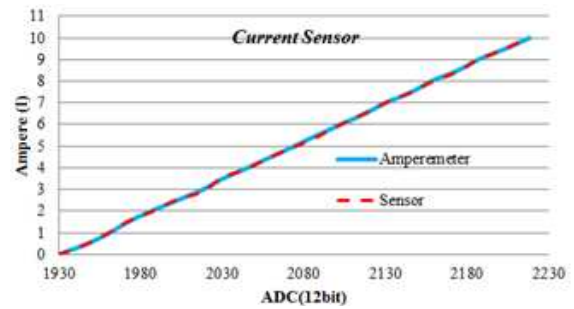


(a) (b)

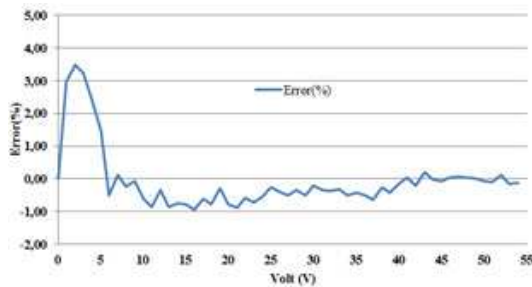
Gambar 7. (a) Integrasi hardware pada mobil listrik, (b) Penempatan smartphone pada steering mobil



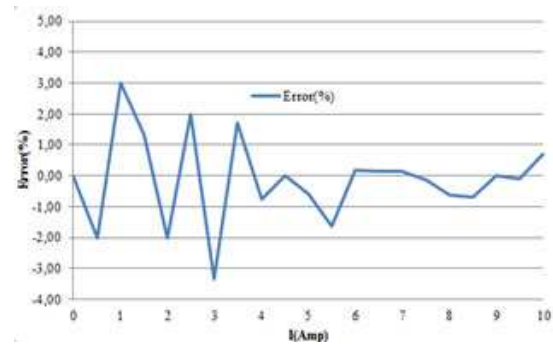
Gambar 8. Grafik perbandingan sensor tegangan



Gambar 12. Grafik perbandingan sensor arus



Gambar 9. Grafik error pembacaan sensor tegangan

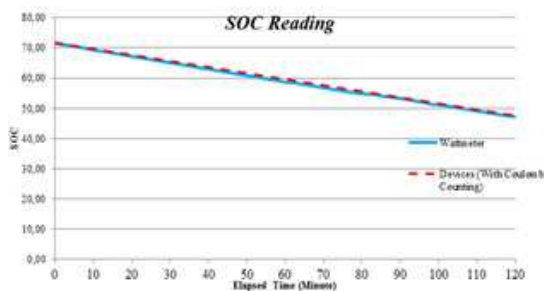


Gambar 13. Grafik error pembacaan sensor arus

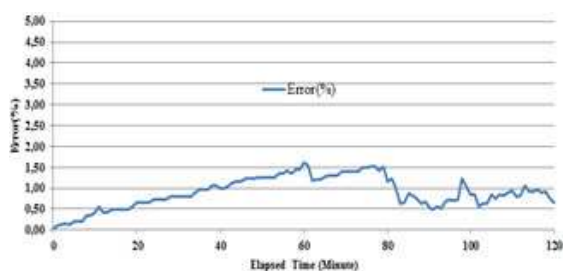
rata-rata dari keseluruhan percobaan adalah sebesar 0,38% sehingga disimpulkan bahwa sensor tegangan berfungsi dengan baik untuk mendeteksi tegangan baterai dari mobil listrik.

**B. SOC Baterai**

Sistem ini dibangun dengan menerapkan persamaan (1) dan (2), serta diujikan dengan penggunaan beban motor BLDC selama 120 menit. Gambar 10 merupakan perbandingan hasil pembacaan nilai SOC antara wattmeter buatan pabrik dan sistem yang dibuat. Gambar 11 menunjukkan error dari sistem. Sistem memiliki error rata-rata sebesar 1,57%. Nilai error disebabkan karena nilai SOC pada baterai didapatkan dari tabel estimasi serta



Gambar 10. Grafik perbandingan pembacaan SOC baterai



Gambar 11. Grafik error pembacaan SOC baterai

wattmeter melakukan pembacaan setiap 12 detik.

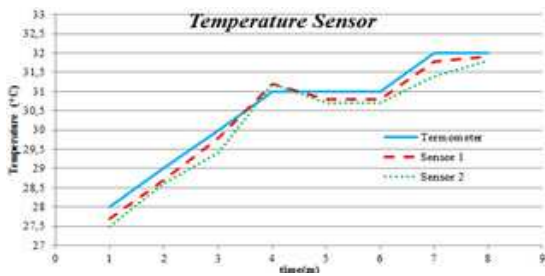
**C. Sensor Arus**

Keluaran dari sensor arus dibaca oleh ADC 12 bit yang di-sampling sebanyak 1000 kali per detik agar pembacaan lebih stabil dan presisi. Gambar 12 merupakan kurva perbandingan pembacaan nilai arus antara sistem dengan amperemeter. Sistem memiliki error tidak melebihi 5% seperti ditunjukkan pada Gambar 13 yaitu rata-rata error dari keseluruhan percobaan adalah sebesar 1,06%. Hal ini disebabkan oleh sensor arus yang dipakai memiliki sensitivitas yang kecil yaitu 20mV/A. Semakin tinggi nilai ampere yang terbaca, semakin kecil error yang didapat karena sensor arus ACS758-100B dirancang dan digunakan untuk mendeteksi arus besar.

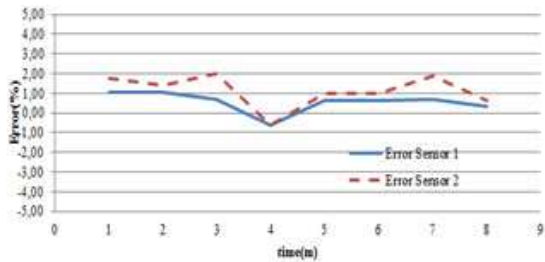
**D. Sensor Suhu**

Pengujian sensor suhu dilakukan dengan cara mengukur suhu pada ruangan yang sama untuk kedua sensor kemudian membandingkan hasil pembacaannya dengan termometer. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor yang digunakan agar dapat berfungsi dengan baik untuk mengukur suhu pada motor BLDC dan baterai mobil listrik.

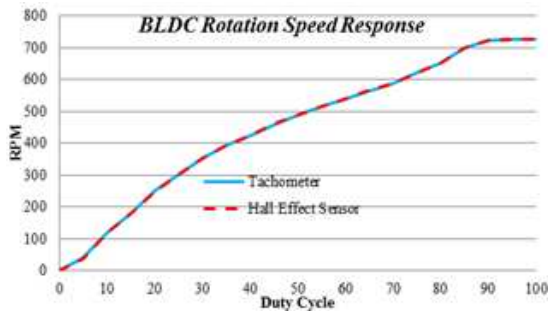
Gambar 14 merupakan perbandingan hasil pembacaan suhu antara DHT11 dan termometer. Gambar 15 menunjukkan error dari masing-masing sensor dengan error tidak melebihi 2% yang artinya kedua sensor suhu dapat mengukur suhu dengan baik. Sensor suhu akan digunakan untuk mengukur suhu pada motor BLDC dan baterai.



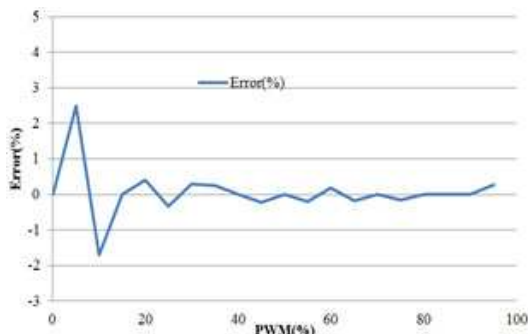
Gambar 14. Grafik perbandingan sensor suhu



Gambar 15. Grafik error pembacaan sensor suhu



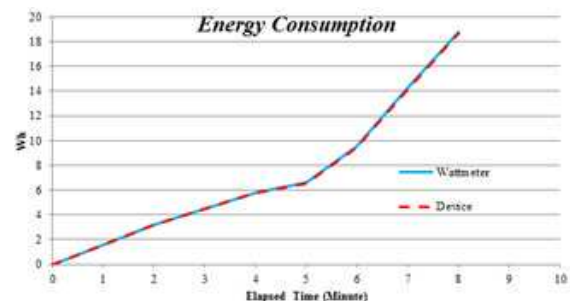
Gambar 16. Grafik perbandingan sensor kecepatan



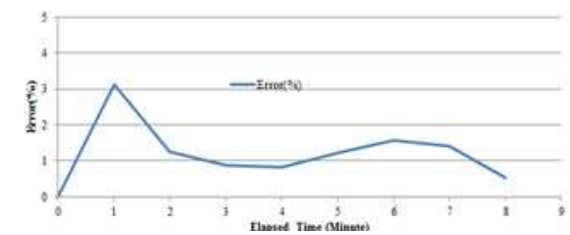
Gambar 17. Grafik error pembacaan sensor kecepatan

E. Sensor Kecepatan

Gambar 16 merupakan grafik perbandingan hasil pembacaan kecepatan putar motor BLDC antara sistem tachometer. Dapat terlihat bahwa nilai kecepatan putar motor BLDC berbanding lurus dengan besar perubahan duty cycle. Data pembacaan nilai RPM yang ditampilkan pada alat/smartphone memiliki selisih *error* yang sangat kecil tidak melebihi 3% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17. Rata-rata *error* dari keseluruhan pengujian senilai 0,07%.



Gambar 18. Grafik perbandingan pembacaan konsumsi energi



Gambar 19. Grafik error pembacaan konsumsi energi

F. Konsumsi Energi

Pengujian yang dilakukan adalah dengan memasang seri antara wattmeter buatan pabrik dan sistem yang dibuat. Kemudian mobil listrik dijalankan dengan kecepatan konstan. Gambar 18 merupakan grafik perbandingan hasil pembacaan konsumsi energi mobil listrik selama 8 menit antara sistem dengan wattmeter buatan pabrik. Hasil pembacaan nilai konsumsi energi antara alat dan wattmeter memiliki rata-rata *error* sebesar 1,69%, seperti ditunjukkan pada Gambar 19. *Error* yang terjadi karena pembacaan wattmeter pabrik memiliki jeda 12 detik untuk menampilkan hasil pembacaan konsumsi energi.

V. KESIMPULAN

Sistem yang dibuat ini menghasilkan nilai pembacaan tiap parameter yang sesuai dengan perbandingan terhadap alat ukur terstandar dengan *error* rata-rata 0,38% untuk sensor tegangan; 1,06% untuk sensor arus; 1,21% dan 2,98% untuk sensor suhu; 0,07% untuk sensor kecepatan; dan penggunaan metode coulomb counting untuk pembacaan nilai kapasitas baterai (state of charge) menghasilkan rata-rata *error* 1,57%. Pengujian nilai akhir konsumsi energi pembacaan alat terhadap wattmeter buatan pabrik memiliki selisih *error* yang kecil dengan rata-rata *error* 1,69 %.

Alat ini telah diintegrasikan dan diuji-cobakan pada sistem prototipe mobil listrik CHAPENS. Perangkat lunak interface dengan sistem Android yang diletakkan pada steering memudahkan pengemudi untuk memonitor kondisi kelistrikan pada mobil listrik saat sedang berjalan secara realtime.

## REFERENSI

- [1] CHAPENS Team, "Laporan Desain Kendaraan Kontes Mobil Hemat Energi 2017 CHAPENS Tim," Surabaya, 2017.
- [2] A. Nugraha, "Rancang Bangun Aplikasi Dashboard Mobil Listrik Menggunakan Protokol Bluetooth Berbasis Android," Yogyakarta, 2014.
- [3] A. Scherer, "A Smart Battery Management System for Electric Vehicles using Powerline Communication,"
- [4] J. Sainio, "Battery Management System Design and Implementation in Electric Raceabout - Electric Sportscar," Helsinki, 2013.
- [5] G. Hristov, P. Zahariev, S. Borisov and D. Kyuchukova, "An educational system for real-time monitoring and evaluation of the parameters of electric vehicles," in
- [6] S. R. Ardiansyah, I. Iftadi and D. Danardono, "Designing dashboard of national electric cars Smart EV.2 regarding to the ergonomic aspects," in
- [7] J.-S. Hu and C.-C. Yeh, "System Design and Implementation of Smart Dashboard for Electric Vehicles,"
- [8] P. Sivakumar, J. Varadhan, N. Ponnusamy and R. Reginald, "Driver's intelligent dashboard and vision system for modern armoured fighting vehicles,"
- [9] J. M. G. Valle, J. C. C. García and E. R. Cadaval, "Electric vehicle monitoring system by using MATLAB/App Designer," in
- [10] S. Sonti and S. Khan, "Data acquisition system for a 600cc formula SAE race car," in
- [11] P. D. U. Coronado, H. Ahuett-Garza, R. Morales-Menendez, P. O. Castanˆo'n, L. D. Da'vila and M. R. F. Escalera, "Connectivity of a modular electric vehicle by the use of a mobile device,"
- [12] L. Ionescu, A. Mazare, G. Serban and S. Ionita, "Real time monitoring system used in route planning for the electric vehicle,"
- [13] J.-S. Hu and C.-C. Yeh, "System Design and Implementation of Smart Dashboard for Electric Vehicles,"
- [14] A. Faiz Farizy, D. Anton Asfani and Soedibjo, "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature,"
- [15] I. Bacchouce, S. Jemmali, A. Mlaya, B. Manai and N. E. B. Amara, "Implementation of an Improved Coulomb-Counting Algorithm Based on a Piecewise SOC-OCV Relationship for SOC Estimation of Li-Ion Battery,"
- [16] S. Cheon and S.-J. Kang, "An Electric Power Consumption Analysis System for the Installation of Electric Vehicle Charging Stations,"
- [17] N. D. Setyo, "Battery Management System (BMS)," Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2017.

# Pengenalan Gestur Jari Menggunakan Pengolahan Citra untuk Mengendalikan Joint pada Base Robot Lengan

Ali Rizal Chaidir, Wahyu Muldayani, dan Guido Dias Kalandro  
Fakultas Teknik Universitas Jember  
Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Tegal Boto, Jember 68121  
e-mail: ali.rizal@unej.ac.id

**Abstrak**—Robot merupakan teknologi yang dapat membantu manusia dalam melakukan suatu kegiatan tertentu. Salah satu jenis robot adalah robot lengan. Robot lengan dapat bekerja secara otomatis maupun manual, beberapa teknik yang dapat digunakan untuk memberikan perintah pada robot adalah menggunakan gestur tangan dan jari, untuk melakukan teknik tersebut dapat memanfaatkan mesin *vision*. Salah satu kelebihan menggunakan mesin *vision* adalah tidak memerlukan banyak komponen elektronika untuk mengenali gestur tangan atau gerakan jari. Fokus penelitian ini adalah mengimplementasikan kamera untuk mengenali gestur jari operator sehingga mampu memberikan perintah kepada robot. Kamera akan menangkap citra dari jari operator, citra tersebut akan diproses di dalam komputer untuk mendapatkan parameter koordinat piksel ujung jari telunjuk dan piksel bagian bawah kanan dari citra, dan kemudian akan ditentukan sudut yang diperoleh dari kedua koordinat tersebut. Hasil yang didapat adalah robot dapat mengikuti gerakan jari pada sudut antara 30° sampai 150°.

**Kata kunci:** *gestur, pengolahan citra, robot lengan*

**Abstract**— The Robot is a technology that can help human to do daily activities. One type of robot is an arm robot, arm robot can work automatically, manually, and a combination of both. Some techniques that can be used to give commands to the robot are to use hand and finger gestures, to do the techniques can utilize the vision machine. One of the advantages of using a vision machine is that it does not require many electronic components to recognize hand and finger gestures. The focus of this research is to implement a camera to recognize the operator's finger gestures so that the gesture can give commands to the robot. The camera captures the image of operator's finger, the image is a process inside the computer to obtain the pixel coordinate parameters of the index fingertip and right lower pixel of the image, and then the angle obtained from both coordinates using trigonometric equations. The result is that the robot can follow the movement of the finger when the angle between 30° to 150°.

**Keywords:** *gesture, image processing, arm robot*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

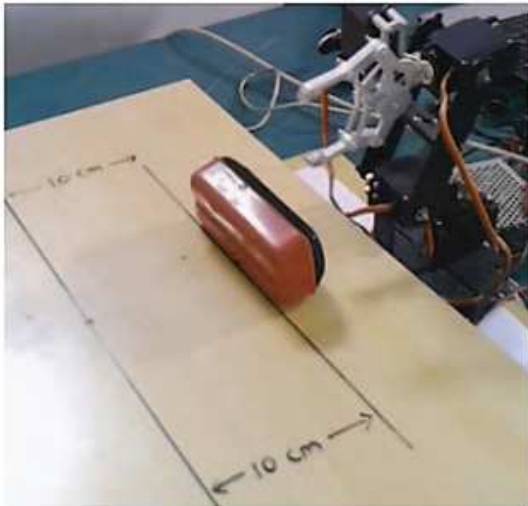
## I. PENDAHULUAN

Robot adalah teknologi yang dapat memberikan manfaat untuk kehidupan manusia [1]. Robot dapat membantu manusia dalam berbagai bidang, misalnya di bidang pertanian [2], [3], industri [1], dan medis [4]. Robot dapat bekerja secara otomatis dan manual, gestur tangan atau jari adalah salah satu teknik yang digunakan untuk memberikan perintah pada robot secara manual. Untuk menggunakan teknik tersebut bisa menggunakan sarung tangan yang sudah terpasang sensor [5] dan menggunakan pengenalan gestur berbasis komputer *vision* [6]. Salah satu kelebihan komputer *vision* dibandingkan dengan menggunakan perangkat sensor pada sarung tangan adalah tidak memerlukan banyak komponen elektronika untuk mengenali gerakan tangan atau jari.

Pengendalian berbasis komputer *vision* telah menjadi

topik penelitian yang populer, salah satu alasannya adalah pengguna tidak langsung terhubung dengan komponen elektronika seperti misalnya sensor.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan komputer *vision* sebagai perintah gerakan suatu perangkat atau robot adalah robot beroda yang dikendalikan menggunakan gestur tangan [7]. Tidak hanya robot, perangkat lain seperti pengaturan posisi tempat tidur bagi pasien juga dapat dikendalikan menggunakan gestur tangan, tujuannya adalah agar pasien tidak memerlukan tenaga yang besar untuk mengubah posisi tempat tidur [8]. Selain itu ada beberapa contoh penelitian yang menerapkan komputer *vision* untuk mengendalikan gerakan robot lengan dua DOF, misalnya untuk proses pengambilan barang [9], robot lengan dua DOF tersebut bekerja pada koordinat x dan y (Gambar 1), sehingga robot tersebut dapat memindahkan atau menggeser barang pada sumbu tersebut. Hal tersebut



Gambar 1. Robot pengambil objek dua DOF

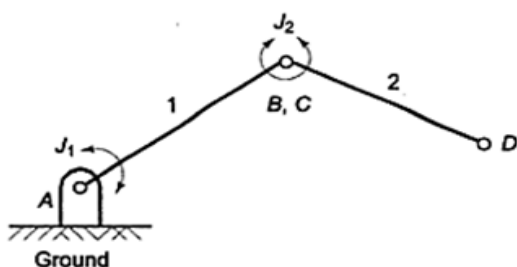
dikarenakan robot lengan tersebut belum memiliki aktuator pada base robot.

Robot lengan atau robot manipulator memiliki kesamaan dengan lengan manusia. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi robot manipulator [10], struktur mekanik robot manipulator terdiri dari links, joint, dan end effector, J1 merupakan posisi joint pada base robot lengan, J2 adalah penghubung antara link 1 dan 2 robot lengan, dan D merupakan posisi *end effector robot*. Joint J1 bergerak ke atas dan ke bawah, sedangkan pada joint J2 bergerak ke kanan dan ke kiri.

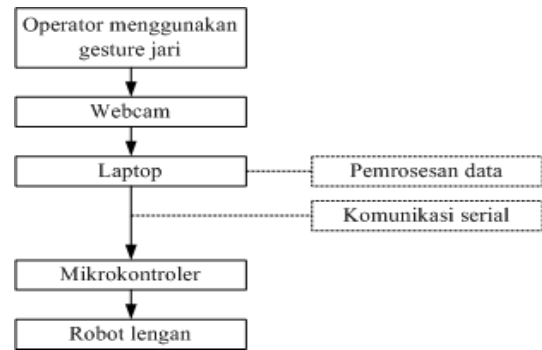
Pada penelitian ini telah dirancang suatu pengenalan gestur tangan untuk mengendalikan robot lengan. Komputer vision digunakan sebagai pengenalan gestur tangan, algoritma *skin detector* akan diterapkan untuk mengenali tangan, berbeda dengan penelitian sebelumnya [11], [12] yang menggunakan algoritma *template matching*, *signature signal algorithm*, dan jaringan syaraf tiruan untuk pengenalan gestur tangan. Pada penelitian ini langkah setelah proses *skin detector* adalah menerapkan algoritma *scanning pixel* untuk menemukan koordinat tangan yang kemudian akan dijadikan sebagai acuan gerakan robot lengan, dengan menggunakan algoritma *scanning pixel*, gerakan tangan pengguna dapat merepresentasikan gerakan robot lengan.

## II. METODE

Blok sistem yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3, webcam diletakkan di atas jari operator,



Gambar 2. Ilustrasi robot manipulator dua DOF



Gambar 3. Blok sistem

intensitas cahaya disekitarnya konstan, webcam akan meng-capture setiap gerakan dari jari. Setiap gambar yang diambil oleh webcam akan diproses menggunakan laptop, data hasil pemrosesan gambar selanjutnya dikirim ke mikrokontroler menggunakan komunikasi serial, dan tahap terakhir adalah mikrokontroler memberikan sinyal kepada servo. Proses pengolahan gambar terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pemisahan *background*, penerapan algoritma deteksi ujung jari dan selanjutnya adalah pengenalan perubahan sudut.

### A. Pemisahan Background

Langkah awal untuk melakukan proses pemisahan background adalah mengkonversi gambar yang diperoleh menggunakan webcam A4tech pk-920h HD 1080P menjadi gambar YCbCr menggunakan persamaan (1), tahapan pemisahan background ditunjukkan pada Gambar 4. YCbCr dianggap lebih baik dalam pengenalan karakter daripada RGB [13] dan memiliki tumpang tindih yang kecil antara skin color dan non-skin color dalam berbagai kondisi pencahayaan [14], [15], dan [16].

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2568 & 0.5041 & 0.0979 \\ -0.1482 & -0.2910 & 0.4392 \\ 0.4392 & -0.4392 & -0.00714 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Di setiap citra dimungkinkan akan terdapat derau yang berbentuk bintik-bintik. Untuk mengurangi derau tersebut, tahap selanjutnya adalah melakukan filter median menggunakan persamaan (2), filter median berguna untuk menghilangkan bintik-bintik pada sebuah citra [17].

$$Y[x,y] = \text{median}(I_{orig}[i,j], i, j \in \text{nbor}[x,y]) \quad (2)$$

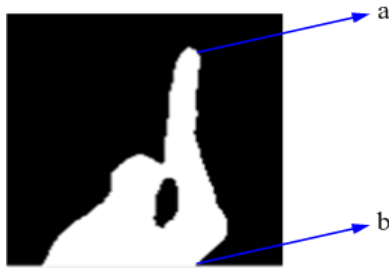
dengan  $\text{nbor}[x,y]$  adalah sub image dari citra YCrCb dan  $Yorig[i,j]$  adalah sebuah citra YCrCb.

Langkah terakhir adalah melakukan proses *thresholding* menggunakan persamaan (3). Nilai ambang diatur untuk



Gambar 4. Tahapan pemisahan citra





Gambar 5. Posisi Parameter a dan b pada jari operator

memisahkan citra background dan foreground, citra foreground direpresentasikan dengan nilai piksel di setiap parameter YCbCr dengan nilai 255 (berwarna putih), sedangkan warna piksel citra background adalah berwarna hitam.

$$G(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } T_{y\max} \geq Y(x,y) \geq T_{y\min} \text{ and} \\ & T_{c\max} \geq Y(x,y) \geq T_{c\min} \text{ and} \\ & T_{cb\max} \geq Y(x,y) \geq T_{cb\min} \\ 0 & \text{if } T_{y\max} < Y(x,y) < T_{y\min} \text{ and} \\ & T_{c\max} < Y(x,y) < T_{c\min} \text{ and} \\ & T_{cb\max} < Y(x,y) < T_{cb\min} \end{cases} \quad (3)$$

dimana  $G(x,y)$  adalah image biner,  $Y(x,y)$  adalah image YCrCb,  $T_{y\max}$  dan  $T_{y\min}$  menyatakan nilai *threshold* maksimal dan minimal komponen Y,  $T_{c\max}$ , dan  $T_{c\min}$  menyatakan nilai *threshold* maksimal dan minimal komponen Cr,  $T_{cb\max}$  dan  $T_{cb\min}$  menyatakan nilai *threshold* maksimal dan minimal komponen Cb.

### B. Algoritma Deteksi Ujung Jari

Dibutuhkan dua koordinat untuk menentukan besaran sudut servo, koordinat pertama diperoleh dari ujung jari telunjuk operator (huruf 'a' pada Gambar 5), yang kedua adalah diperoleh dari piksel putih dari gambar paling kanan bawah (huruf 'b' pada Gambar 5).

Tahap selanjutnya setelah mendapatkan 2 koordinat tersebut adalah mencari nilai gradien dari 2 koordinat tersebut dan selanjutnya adalah menemukan besaran sudut dengan menggunakan persamaan trigonometri. Tahap terakhir adalah mengirimkan nilai sudut tersebut secara serial ke mikrokontroler untuk kemudian digunakan servo untuk menentukan gerakan dari robot.

Koordinat pertama (posisi 'a' pada Gambar 5) diperoleh menggunakan listing program berikut ini:

```
For i = 0 To 240 - 1
  For j = 0 To 320 - 1
    If gam_bin.Data(i, 319 - j, 0) = 255 Then
      y_jari = 320 - j
      x_jari = 240 - i
      keluar = 1
    Exit For
  End If
Next
If keluar = 1 Then
  Exit For
End If
Next
```

Sedangkan koordinat kedua (posisi 'b' pada Gambar 5) diperoleh menggunakan listing program berikut ini:

```
For i = 0 To 240 - 1
  For j = 0 To 320 - 1
    If gam_bin.Data(239 - i, 319 - j, 0) = 255 Then
      y_bawah = 320 - j
      x_bawah = i
      keluar = 1
    Exit For
  End If
Next
If keluar = 1 Then
  Exit For
End If
Next
```

Citra yang digunakan adalah dengan ukuran lebar 320 piksel dan tinggi 240 piksel, proses pemindaian koordinat piksel titik 'a' dimulai dari piksel terkanan dan teratas citra. Proses pemindaian tersebut dilakukan sampai menemukan piksel dengan warna putih, dan kemudian koordinat titik piksel tersebut disimpan. Hampir sama dengan proses pemindaian koordinat piksel titik 'a', proses pemindaian koordinat piksel titik 'b' dimulai dari piksel terkanan dan terbawah. Koordinat 'a' disimpan di variabel  $x\_jari$  dan  $y\_jari$ , sedangkan koordinat 'b' disimpan di variabel  $x\_bawah$  dan  $y\_bawah$ . Selanjutnya untuk mendapatkan besaran sudut menggunakan listing program berikut:

```
m = (y_jari - y_bawah) / (x_jari - x_bawah)
sudut = (Math.Atan(m)) / Math.PI * 180
```

Setelah nilai besaran sudut diperoleh selanjutnya nilai tersebut dikirim ke mikrokontroler melalui komputer menggunakan perintah:

```
SerialPort1.Write(TextBox9.Text)
```

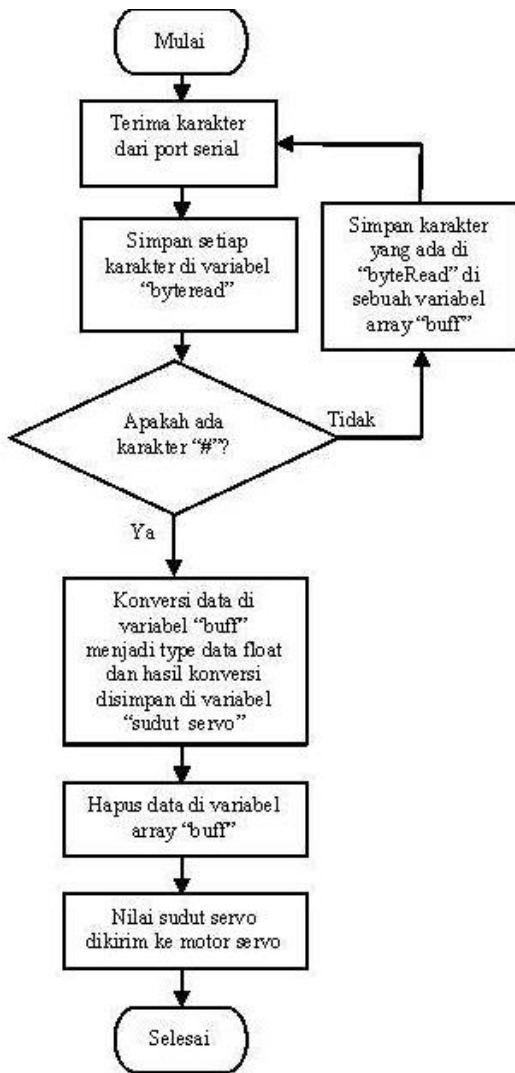
Arti perintah tersebut adalah data yang ditampilkan pada textbox 9 akan dikirim ke mikrokontroler, tapi sebelum itu di setiap akhir nilai sudut yang akan dikirim diberi tanda '#'. Hal ini dilakukan untuk memberikan informasi ke mikrokontroler bahwa data yang dikirim adalah satu paket data serial, perintah yang digunakan adalah

```
str1 = Convert.ToString(sudut)
TextBox9.Text = str1 + "#"
```

Sedangkan pada mikrokontroler program yang digunakan adalah terdiri dari 3 tahap, tahap pertama

```
#include <Servo.h>
Servo myservol;
byte byteRead;
char buff[20];
float sudut_servo[1]={50};
int i=0;
int r=0;
void setup()
{ myservol.attach(9);
  Serial.begin(9600);}
```

adalah persiapan variabel, pin output untuk motor servo, komunikasi serial, dan library yang digunakan, yaitu:

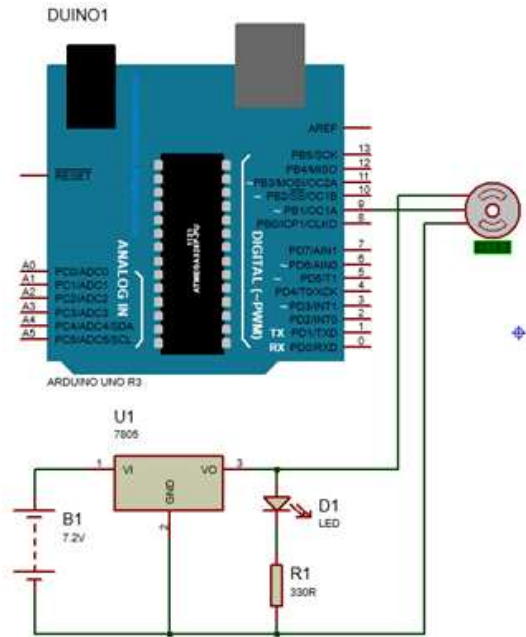


Gambar 6. Diagram alir tahap kedua dari kode program pada mikrokontroler

Tahap kedua adalah algoritma untuk membaca data serial yang dikirim oleh komputer ke mikrokontroler. Mikrokontroler harus mampu membaca data yang dikirim oleh komputer untuk kemudian digunakan sebagai nilai sudut servo pada robot. Program yang digunakan yaitu:

```
void baca_serial()
{
  if (Serial.available())
  {
    byteRead=Serial.read();
    if (byteRead=='#')
    {
      sudut_servo[r]=atof(buff);
      sudut_servo[r]=sudut_servo[r]/1;
      i=0;
      for (int del=0;del<20;del++)
      {buff[del]=0;}
      r++;
      if (r==0)
      {r=0;}
    }
    else
    { buff[i]=byteRead;
      i++; }
  }
}
```

Diagram alir dari kode program tahap kedua pada mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 6. Setiap karakter yang dikirim oleh komputer akan diterima



Gambar 7. Rangkaian elektronika

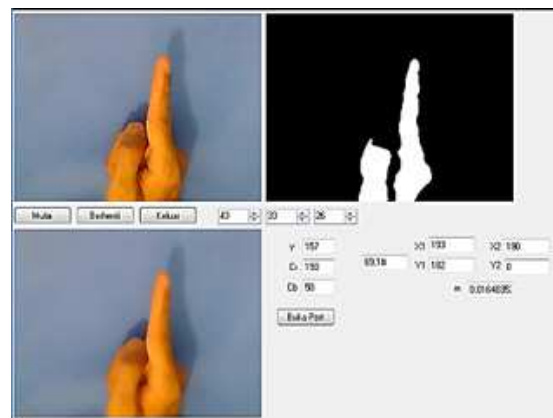
mikrokontroler melalui jalur serial. Setiap karakter yang diterima mikrokontroler disimpan di sebuah variabel, selama karakter yang diterima bukan karakter '#'. Karakter akan disimpan terlebih dahulu di variabel tersebut. Setelah mikrokontroler menerima karakter '#' proses konversi dilakukan. Karakter yang tersimpan sebelumnya dikonversi menjadi tipe data float dan selanjutnya data tersebut digunakan untuk menentukan sudut putaran motor servo.

Tahap ketiga adalah melakukan pengiriman data ke motor servo robot lengan. Program yang digunakan adalah:

```
void putar_servo()
{ myservol.write(sudut_servo[0]); }
```

Program pada tahap ketiga mengirimkan data yang telah dikonversi menjadi tipe data float. Data yang telah dikonversi disimpan di variabel sudut\_servo array ke 0.

### C. Rangkaian Elektronika





















Gambar 8. Tampilan antarmuka algoritma pengenalan gestur jari

Diperlukan rangkaian elektronika untuk mengendalikan motor servo yang digunakan robot lengan. Motor servo tersebut digerakkan oleh sinyal yang diberikan oleh pin “analog out” dari mikrokontroler, mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega328P yang telah terpasang pada board Arduino, pin yang digunakan tersebut adalah pin ke 9. Pin 9 dihubungkan pada kaki “sig” dari motor servo (Gambar 7), sedangkan pin 5 V dan GND motor servo dihubungkan ke keluaran dari IC regulator 7805.



















### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan antarmuka dari algoritma gestur jari ditunjukkan pada Gambar 8, beberapa informasi yang dapat

Tabel 1. Hasil pengujian gerakan robot terhadap gestur jari (jarak antara webcam dengan jari operator adalah 30 cm)

No	Gestur Jari	Sudut yang dikirim	Respon robot
1		50	
2		30	
3		45	
4		60	
5		90	
6		120	
7		135	
8		150	
9		117	



















Tabel 2. Hasil pengujian gerakan robot terhadap gestur jari (jarak antara webcam dengan jari operator adalah 45 cm)

No	Hand gesture	Sudut yang dikirim	Respon robot
1		45	
2		30	
3		45	
4		60	
5		90	
6		120	
7		135	
8		150	
9		136	

ditampilkan di tampilan antarmuka tersebut diantaranya adalah gambar jari dalam ruang warna RGB dan YCbCr, nilai kemiringan antara ujung telunjuk dan pangkal, dan informasi yang dapat dilihat juga adalah informasi sudut yang harus dikirim ke motor.

Algoritma pemrograman tersebut telah berhasil mengenali gestur jari. Kesimpulan tersebut dilihat dari hasil pengujian algoritma untuk menggerakkan motor servo yang terletak pada base dari robot lengan. Beberapa pengujian dapat dilihat pada Tabel 1, 2, dan 3. Pengujian dilakukan sebanyak 9 kali pada setiap jarak yang berbeda antara webcam dengan jari telunjuk operator, dan pengujian

Tabel 3. Hasil pengujian gerakan robot terhadap gestur jari (jarak antara webcam dengan jari operator adalah 60 cm)

No	Hand gesture	Sudut yang dikirim	Respon robot
1		36	
2		30	
3		45	
4		60	
5		90	
6		120	
7		135	
8		150	
9		13	

dilakukan dengan sudut yang berbeda yaitu 20°, 30°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°, 150°, dan 170°. Dari tabel yang ditunjukkan tersebut dapat dilihat bahwa pengujian ke 2 sampai 8 arah gerakan robot lengan di setiap jarak yang berbeda mengikuti gerakan jari, sedangkan pengujian ke 1 dan ke 9 di setiap jarak yang berbeda, yaitu pada sudut 20° dan 170° gerakan robot tidak sesuai dengan arah gestur jari.

Ketidaksesuaian gerakan robot dengan gestur jari tersebut disebabkan karena algoritma yang digunakan

tidak berhasil membaca koordinat piksel ujung jari dan koordinat piksel bagian bawah kanan dari tangan.

Algoritma yang telah dibuat pada penelitian ini dapat digunakan untuk tujuan lain, seperti misalnya untuk mengendalikan posisi tempat tidur pasien disabilitas. Pengendalian posisi tempat tidur pasien disabilitas menggunakan gestur tangan telah dilakukan [8]. Pada penelitian tersebut terdapat empat gestur yang perlu dikenali, gestur pertama digunakan untuk menaikkan posisi tempat tidur, gestur kedua untuk menurunkan, ketiga dan keempat digunakan untuk memiringkan tempat tidur ke kanan dan ke kiri. Berbeda dengan penelitian tersebut yang dapat dikatakan bahwa setiap gestur tersebut menggantikan sebuah tombol untuk mengubah posisi tempat tidur, pada penelitian ini menawarkan algoritma lain yaitu gestur tidak digunakan sebagai pengganti tombol, akan tetapi dapat dikatakan sebagai pengganti tuas untuk merubah posisi tempat tidur pasien disabilitas.

#### IV. KESIMPULAN

Algoritma pengenalan gestur jari telunjuk untuk mengendalikan robot berhasil dibuat. Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan proses pemisahan citra jari operator dengan latar belakangnya. Citra yang dihasilkan adalah citra biner, warna piksel putih menunjukkan jari operator dan piksel warna hitam adalah latar belakang citra. Langkah berikutnya adalah melakukan pengenalan perubahan gerakan jari operator, posisi ujung jari telunjuk dan posisi warna piksel yang berada di posisi kanan bawah dari citra digunakan sebagai parameter untuk menentukan nilai sudut. Langkah terakhir adalah mengirim nilai tersebut ke mikrokontroler dan kemudian mikrokontroler mengirimkannya ke sebuah motor servo robot. Algoritma pemrograman mampu mengenali gestur jari dan data yang diterima mikrokontroler secara serial sesuai dengan yang dikirimkan dari komputer, sehingga gerakan robot mampu mengikuti gestur jari operator. Hasil yang didapat adalah robot dapat mengikuti gerakan jari antara sudut antara 30° sampai 150° di setiap jarak antara kamera dan jari operator yang berbeda.

#### REFERENSI

- [1] B. Siciliano, L. Sciavicco, G. Oriolo, "Robotics: modelling planning and control," Springer, 2009.
- [2] U. Masood Ul, U. Mukhtar, I. Jamshed, "Towards autonomy in agriculture: design and prototyping of a robotic vehicle with seed selector," International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI), pp 37 - 44, 2016.
- [3] U. Saurabh, K. Anil, "Automated seed sowing agrobot using arduino," International Conference on Communication and Signal Processing (ICCCSP), pp 1379 - 1383, 2016.
- [4] B. Siciliano, O. Khatib, "Springer Handbook of Robotics," Springer, 2008.
- [5] U. Rajkanna, M. Mathankumar, K. Gunasekaran, "Hand gesture based mobile robot control using PIC microcontroller," International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT], pp 1687 - 1691, 2014.

- [6] K. Kishore, S. Hannes, K. Achim, S. Dirk, "Real time interaction with mobile robots using hand gestures," ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), pp 177 - 178, 2012.
- [7] M. Manigandan, I. Manju Jackin, "Wireless vision based mobile robot control using hand gesture recognition through perceptual color space," International Conference on Advances in Computer Engineering, pp. 95 - 99, 2010.
- [8] L. Kalpana, M. Swati, "Automatic bed position control based on hand gesture recognition for disabled patients," International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), pp.148 - 153, 2016.
- [9] C. Ali Rizal, S. Alfredo Bayu, K. Guido Dias, "Design of a gripping imitator robotic arm for taking an object," International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT), pp. 1 - 5, 2016
- [10] R. K. Mittal, I. J. Nagrath, "Robotics and Control," McGraw-Hill.
- [11] C. İbrahim Baran, K. Mehmet, "Development of a robotic-arm controller by using hand gesture recognition," International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, pp 1 - 5, 2012.
- [12] S. Hongyong, F. Weijiang, G. Naiyang, H. Xuhu, L. Zhigang, "Toward robust ego-centric hand gesture analysis for robot control", IEEE International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), pp. 661 - 666, 2016.
- [13] W. Wei, P. Jing, "Hand segmentation using skin color and background information," International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol. 4., pp. 1487 - 1492, 2012.
- [14] D. Ahmad Yahya, A. Junaidi, Md. Jahangir Alam, "Adaptive skin color model for hand segmentation," International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics, pp. 486 - 489, 2010.
- [15] D. Ahmad Yahya, A. Junaidi, Md. Jahangir Alam, "A new method for hand segmentation using free-form skin color model," International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE), Vol. 2, pp. V2-562 - V2-566, 2010.
- [16] B. Ganesh Choudhary, Chethan Ram B V, "Real time robotic arm control using hand gestures," International Conference on High Performance Computing and Applications (ICHPCA), pp. 1 - 3, 2014.
- [17] E. Ramaraj, A. Senthil Rajan, "Median filter using open multiprocessing in agriculture," IEEE 10th International conference on signal processing proceedings, pp. 42-45, 2010.

# Robot Keseimbangan Beroda Dua dengan Sistem Kontrol Keseimbangan dan Posisi Menggunakan Metode PID Bertingkat

Niam Tamami, Ibrahim Muhammad Diin, Bambang Sumantri, dan Endra Pitowarno  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
e-mail: niam@pens.ac.id

**Abstrak**—Robot keseimbangan beroda dua yang dibahas pada penelitian ini merupakan sebuah robot yang akan menjaga keseimbangannya untuk tetap tegak dengan menggunakan 2 roda sebagai penggerak robot. Robot ini tidak dapat stabil pada saat kondisi tegak dan membutuhkan mekanisme kontrol ketika bergerak. Setidaknya terdapat 2 mekanisme kontrol pada robot ini, yaitu kontrol keseimbangan, dan kontrol posisi (jarak dan arah hadap). Metode yang digunakan sebagai mekanisme kontrol adalah PID bertingkat, yang terdiri kontrol keseimbangan sebagai kontrol primer dan kontrol posisi sebagai kontrol sekunder. Metode ini telah diterapkan pada robot. Berdasarkan percobaan pertama, kedua, dan ketiga, konfigurasi terbaik kontrol PID bertingkat yaitu PID untuk blok kontrol keseimbangan, PD untuk kontrol jarak, dan PD untuk kontrol arah hadap. Dengan menggunakan metode kontrol PID bertingkat, robot keseimbangan beroda dua telah mampu menyeimbangkan diri dengan osilasi berkisar  $\pm 15,00$  derajat saat bergerak dan robot dapat bergerak menuju posisi yang diperintahkan dengan selisih kesalahan posisi terhadap target yaitu (0,17, -0,26) pada percobaan keempat dan (0,45, -0,43) pada percobaan kelima.

**Kata kunci:** robot keseimbangan beroda dua, kontrol PID bertingkat, kontrol keseimbangan, kontrol posisi

**Abstract**— The two-wheeled balancing robot is a robot that will maintain its balance to stay upright by using two wheels. This robot cannot be stable when the condition is upright and requires a control mechanism when moving. There are at least two control mechanisms in this robot, first is balance control, and the second is position control. The cascade PID method is proposed as a control mechanism, which consists of balance control as primary control and position control (distance and direction) as a secondary control. This method has been applied to robots. Based on the first, second, and third experiment, the best configuration of cascade PID control is PID for the balance control block, PD for distance control, and PD for direction control. By using cascade PID control, the two-wheeled balancing robot has been able to balance itself with oscillations ranging from  $\pm 15.00$  degrees when moving and it can move towards the ordered position with the error position from the target. Fourth experiment position error is (0.17, -0.26) and (0.45, -0.43) for the fifth experiment.

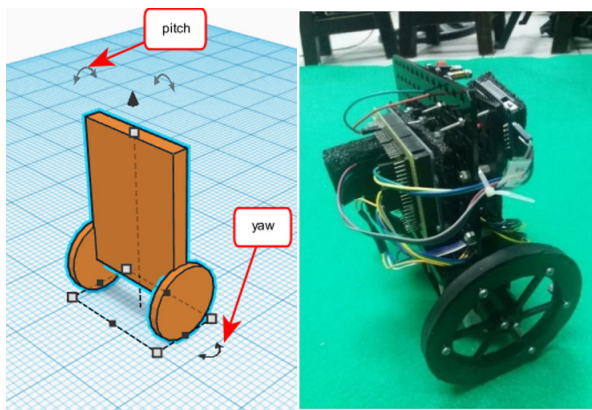
**Keywords:** two-wheeled balance robot, cascade PID control, balance control, position control

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman menuntut adanya jenis robot dengan biaya produksi minimal, dengan kemampuan optimal yang dimilikinya. Faktor harga komponen merupakan salah satu penyumbang tingginya biaya produksi. Tingginya biaya produksi dapat dikurangi dengan mengurangi penggunaan komponen. Salah satu jenis robot dengan komponen aktuator minimal adalah robot keseimbangan dengan dua roda. Robot ini hanya memiliki aktuator berupa roda yang ada di bagian kiri dan kanan untuk dapat bergerak. Robot ini tidak dapat menstabilkan dirinya tanpa ada sensor keseimbangan dan kontroler. Untuk dapat bergerak, robot ini perlu untuk menyondongkan maju atau mundur tubuhnya dan berbelok.

Terdapat beberapa penelitian mengenai robot keseimbangan beroda dua. Michal Okulski melakukan penelitian mengenai robot keseimbangan roda dua dengan menggunakan metode kontrol PD bertingkat. Pada penelitian ini, robot dapat mengendalikan kestabilan dan kecepatan geraknya [1]. Firas membuat simulasi robot keseimbangan dengan menggunakan *fuzzy logic* sebagai kontrol keseimbangan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB [2]. Ji-Hyun Park membuat robot keseimbangan beroda dua dengan menambahkan kontrol momen giroskop sebagai alat bantu stabilisasi. Hasilnya penambahan kontrol momen giroskop dapat memberikan kompensasi pada sistem pada saat diganggu [3]. Ejaz Ahmad menerapkan metode kontrol *backstepping* untuk robot keseimbangan dengan dua roda [4]. Muhaimin Rahman membandingkan kinerja tiga jenis controller



Gambar 1. Bentuk robot keseimbangan beroda dua

untuk robot keseimbangan beroda dua. Metode yang dibandingkan adalah metode PID, LQR, dan fuzzy dengan menggunakan simulasi dengan perangkat lunak *Robot Operating System* [5]. Muhaimin Rahman juga menerapkan metode *Q Learning* dan *Deep Q Network* untuk sistem kontrol robot keseimbangan beroda dua [6]. He Chun-hong melakukan penelitian mengenai desain robot keseimbangan dua roda termasuk pemrosesan sinyal sensor menggunakan *complementary filter*, dengan menggunakan kontrol keseimbangan PD [7]. Barlian melakukan penelitian mengenai penolakan gangguan pada robot keseimbangan beroda dua menggunakan kontrol *Feed-Forward* [8]. Navid Razmjoooy menerapkan sistem kontrol robot keseimbangan beroda dua menggunakan metode *Chebyshev Inclusion* [9]. Abhijeet Singh Chouhan melakukan penelitian mengenai robot keseimbangan dengan menggunakan *fuzzy tipe sugeno* sebagai kontrol keseimbangan [10]. Frankovský memodelkan robot keseimbangan beroda dua dalam *state space* [11]. Hai N. Phan melakukan penelitian mengenai robot keseimbangan dengan menggunakan pendekatan *quasi time optimal* untuk mensintesis metode kontrolnya [13]. Derry melakukan penelitian mengenai sistem kontrol pergerakan dan keseimbangan robot keseimbangan dengan dua roda menggunakan PID bertingkat [15]. Hau-Shiue Juang membandingkan kinerja metode PID dengan PI-PD pada sistem robot keseimbangan beroda dua [17]. Qin Yong melakukan penelitian mengenai sistem kontrol keseimbangan robot dengan menggunakan T-S Fuzzy [19].

Selain itu terdapat beberapa penelitian yang berkaitan tentang metode kontrol keseimbangan untuk robot yang cukup kompleks dengan menggunakan PID. Pakorn dan Nurbaiti menggunakan PID sebagai metode kontrol sudut *pitch* pesawat dengan mekanisme pencarian konstanta PID [14], [18]. Brice menggunakan PID dan Niam menggunakan PD untuk sistem kontrol keseimbangan terbang quadcopter [11], [16].

Penelitian mengenai sistem kontrol robot ini masih perlu terus dikembangkan agar didapatkan metode kontrol yang cocok dan efisien untuk jenis robot ini. Penelitian ini difokuskan pada sistem kontrol keseimbangan dan kontrol posisi robot. Pada penelitian ini metode kontrol yang diusulkan adalah metode kontrol PID bertingkat.

## II. PERANCANGAN SISTEM

Pada penelitian ini, robot keseimbangan beroda dua memiliki misi utama agar dapat menuju pada posisi yang diinginkan. Berikut ini adalah detail perancangan dari sistem robot keseimbangan beroda dua.

### A. Perancangan Mekanik

Mekanik robot keseimbangan beroda dua dibuat dengan bahan akrilik hitam dengan ketebalan 2 mm. Spesifikasi detail robot memiliki panjang 17,5 cm, lebar 8,5 cm, tinggi 18 cm, diameter roda 10 cm. Pada bagian paling bawah terdapat baterai lipo 3 sel 2200 mAh. Diatas baterai terdapat penggerak motor DC 100 rpm yang sudah dilengkapi sensor *rotary encoder* dan terhubung dengan as roda. Pada bagian paling atas terdapat rangkaian mikrokontroler dan komponen pendukung. Berat keseluruhan robot ini 895 gram. Pada robot ini, sudut *pitch* ( $\Phi$ ) menyatakan kemiringan robot (kedepan atau kebelakang) terhadap posisi tegaknya. Sudut *yaw* ( $\Psi$ ) menyatakan arah hadap robot. Gambar 1 menunjukkan bentuk robot secara keseluruhan.

### B. Perancangan Elektronik

Sistem elektronik robot keseimbangan beroda dua dapat dibagi menjadi 4 macam yaitu kontroler, sensor, aktuator, dan perangkat komunikasi. Kontroler utama robot ini menggunakan Arduino MEGA 2560. Robot ini menggunakan baterai lipo 3 sel 12 Volt 2200 mAh. Untuk dapat memberikan catu daya 5 Volt untuk perangkat lain, pada robot ini terdapat regulator 5 Volt. Robot ini dilengkapi sensor inersia untuk mendapatkan sudut *pitch* dan *yaw*, yaitu sensor akselerometer 3 aksis dan giroskop 3 aksis yang terdapat pada modul rangkaian GY-25. Jalur akses modul GY-25 menggunakan I2C. Aktuator robot menggunakan modul pengendali motor L298N dan motor DC. Sebagai masukan modul pengendali motor L298N adalah PWM (*Pulse Width Modulation*). Motor penggerak roda yang digunakan adalah Motor DC 100 rpm yang telah dilengkapi sensor *rotary encoder* untuk pembacaan putaran motor. Untuk memudahkan pengamatan respon robot melalui komputer, robot ini dilengkapi dengan radio komunikasi data X-Bee S2 2,4 GHz dengan antarmuka serial USART. Pada Gambar 2 adalah blok diagram perangkat keras robot.

### C. Perancangan Antarmuka Grafik Komputer

Sesuai dengan misi utama dari robot keseimbangan beroda dua untuk dapat menuju posisi yang diinginkan, maka diperlukan antarmuka grafik yang dibuat di komputer sebagai pengendali robot. Pada antarmuka grafik yang dibuat, terdapat 4 grafik utama yaitu grafik lokasi robot, grafik jarak, grafik sudut *pitch*, dan grafik sudut *yaw*. Pada grafik lokasi robot, pengguna robot dapat memberikan perintah dimana titik posisi yang harus dikunjungi robot.

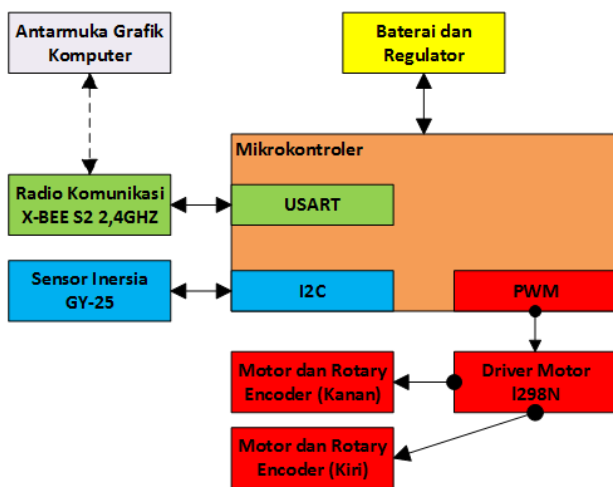
Setiap satuan pada peta robot mewakili jarak 20 cm. Pada grafik jarak, akan menunjukkan total jarak dalam skalar yang telah ditempuh robot. Pada grafik sudut *pitch*, menunjukkan kemiringan robot dengan acuan jika robot berdiri tegak lurus terhadap lantai datar maka nilai sudut *pitch* 0 derajat, jika condong ke depan nilai sudut *pitch* negatif, jika condong ke belakang nilai sudut *pitch* positif. Pada grafik sudut *yaw*, menunjukkan arah hadap dari robot dengan acuan 0 derajat merupakan nilai awal pada saat robot pertama kali dinyalakan. Pada penelitian ini sikap awal robot selalu dihadapkan ke depan. Gambar 3 menunjukkan tampilan antarmuka grafik komputer yang digunakan dalam penelitian.

### III. METODE

#### A. Kontrol PID Bertingkat

Metode kontrol yang digunakan sengaja dirancang tanpa mengidentifikasi model matematika robot, tetapi menggunakan aturan sederhana dan intuitif yaitu:

1. Jika robot miring ke depan, robot bergerak maju. Demikian pula untuk sebaliknya.
2. Jika robot masih miring ke depan, robot bergerak maju dengan cepat. Demikian pula untuk sebaliknya.



Gambar 2. Blok diagram perangkat keras robot

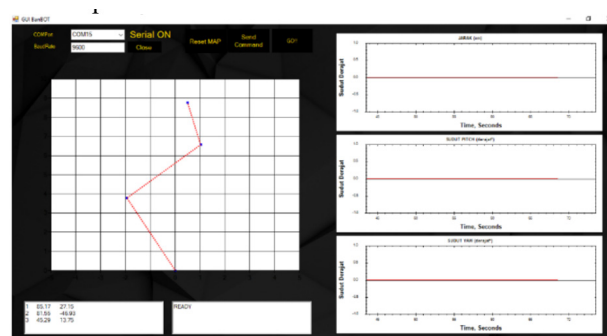
Pada penelitian ini, metode kontrol PID digunakan sebagai metode dasar sistem kontrol robot keseimbangan beroda dua. Pemilihan metode ini dikarenakan PID mampu diproses dengan cepat pada mikrokontroler. Berikut adalah dasar persamaan PID yang dipakai

$$u(n) = K_p E(n) + K_i \sum_{k=0}^n E(k) + K_d (E(n) - E(n-1)), (1)$$

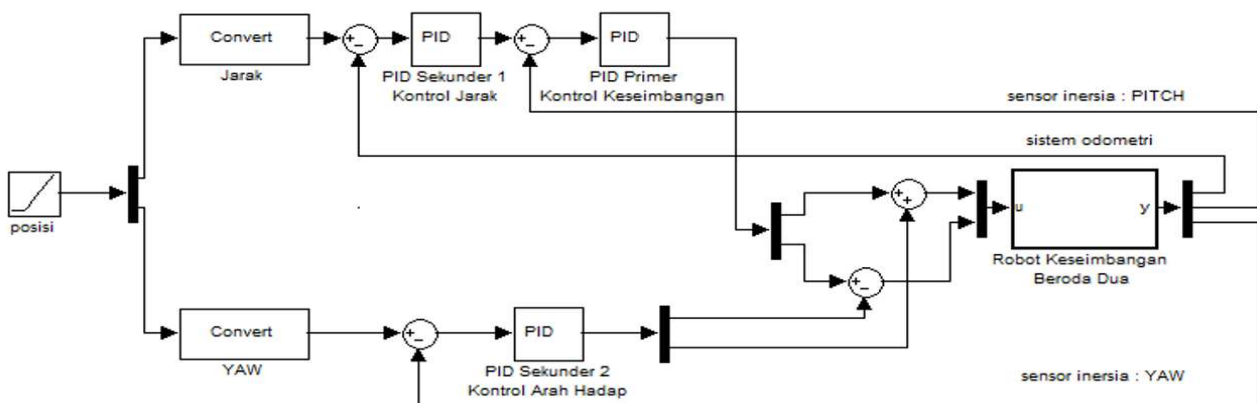
dengan  $\mu$  adalah keluaran kontrol, E adalah *error*, yaitu selisih nilai referensi dengan nilai actual,  $K_p$  adalah penguat proporsional,  $K_i$  adalah penguat integral, dan  $K_d$  adalah penguat derivatif.

Pada sistem robot keseimbangan beroda dua, diperlukan 2 jenis kontrol yaitu kontrol keseimbangan dan kontrol posisi. Kontrol keseimbangan merupakan prioritas utama dari robot, karena jika sistem kontrol ini gagal, maka robot jatuh. Prioritas kedua adalah kontrol posisi dari robot. Untuk dapat mengontrol posisi robot, terdapat 2 parameter yang perlu diatur, yaitu jarak dan arah hadap. Dengan demikian, setidaknya terdapat 3 blok kontrol PID pada sistem ini, yaitu blok kontrol keseimbangan, blok kontrol jarak, dan blok kontrol arah hadap.

Sistem kontrol PID yang diusulkan pada penelitian ini menggunakan PID bertingkat yang dapat dilihat pada Gambar 4. PID ini terdiri dari blok PID primer untuk kontrol keseimbangan, blok PID sekunder 1 untuk kontrol jarak dan blok PID sekunder 2 untuk kontrol arah hadap robot. Keluaran dari PID sekunder 1 menjadi masukan PID primer, dengan begitu masukan nilai referensi PID primer bergantung pada keluaran PID sekunder 1. Ini berarti jika titik tujuan robot di depan semakin jauh, maka robot akan



Gambar 3. Tampilan antarmuka grafik komputer



Gambar 4. Metode kontrol PID bertingkat yang digunakan pada robot keseimbangan beroda dua



semakin mencondongkan tubuhnya ke depan untuk bisa bergerak maju. Pada penelitian ini terdapat pembatasan nilai kemiringan maksimal pada robot agar robot tetap mampu menstabilkan tubuhnya. Pada blok diagram PID sekunder 2, nilai PID akan mempengaruhi nilai putaran roda kanan dan kiri secara berlawanan. Hal ini bertujuan agar robot dapat mengubah arah hadapnya sesuai dengan yang diinginkan.

Untuk strategi pencarian nilai konstanta PID primer dengan melakukan percobaan secara langsung sehingga didapatkan konstanta PID terbaik dan nilai batas sudut pitch untuk keseimbangan robot. Nilai batas sudut *pitch* merupakan nilai batas maksimal robot untuk dapat menstabilkan tubuhnya lagi pada sudut pitch 0 derajat. Setelah didapatkan parameter tersebut, langkah selanjutnya adalah mencari nilai konstanta terbaik pada PID sekunder 1 dengan melakukan percobaan langsung. Keluaran nilai PID sekunder 1 terbatas sesuai nilai batas sudut pitch robot pada blok PID primer. Terakhir adalah PID sekunder 2, untuk pencarian nilai konstanta PID juga berdasarkan percobaan langsung.

Pada Gambar 4 keluaran blok PID sekunder 1 akan menjadi nilai referensi baru untuk blok PID primer. Blok PID primer mempunyai keluaran yang berfungsi untuk menggerakkan motor dengan umpan balik sensor agar tetap stabil. Karena blok PID primer sebagai prioritas, maka blok ini dieksekusi lebih cepat daripada blok diagram PID sekunder 1 dan 2. Pada blok PID primer dieksekusi dalam frekuensi 500 Hz, sedangkan sekunder 1 dan 2 pada frekuensi 100 Hz.

### B. Odometri

Untuk mengetahui posisi robot dalam koordinat (x, y) maka diperlukan metode untuk mendapatkan posisi dan rotasi robot. Pada robot keseimbangan beroda dua terdapat sensor *rotary encoder* pada tiap-tiap roda untuk menghitung putaran motor dan sensor inersia untuk mendapatkan sudut arah hadap robot. Pada penelitian ini digunakan metode odometri untuk mengolah data sensor *rotary encoder* dan sensor inersia.

Data keluaran rotari encoder berupa jumlah pulsa (jp), maka jarak tempuh roda (d) dinyatakan dalam persamaan

$$d = jp / tjp * 3,14 * D, \quad (2)$$

dimana D adalah diameter roda dan tjp adalah total jumlah pulsa dalam satu kali putaran.

Jarak tempuh roda (d) yang dihitung dalam 1 periode eksekusi program (P) merupakan kecepatan dari robot.

$$v = d / P. \quad (3)$$

Jarak tempuh robot mengacu pada titik tengah robot (dTengah). Jarak tempuh titik tengah robot didapatkan berdasarkan rata-rata dari jarak tempuh roda kanan (dKanan) dan jarak tempuh roda kiri (dKiri) sesuai persamaan berikut ini.

$$dTengah = (dKanan + dKiri) / 2. \quad (4)$$

Untuk menghitung posisi robot untuk gerakan berbelok, maka diperlukan data sudut *yaw* dari robot ( $\Psi$ ) yang didapatkan secara langsung dari sensor inersia.

Selanjutnya posisi baru robot ( $x'$ ,  $y'$ ) merupakan hasil penjumlahan posisi sebelumnya dengan posisi sesaat/posisi dalam satu periode eksekusi program/kecepatan robot.

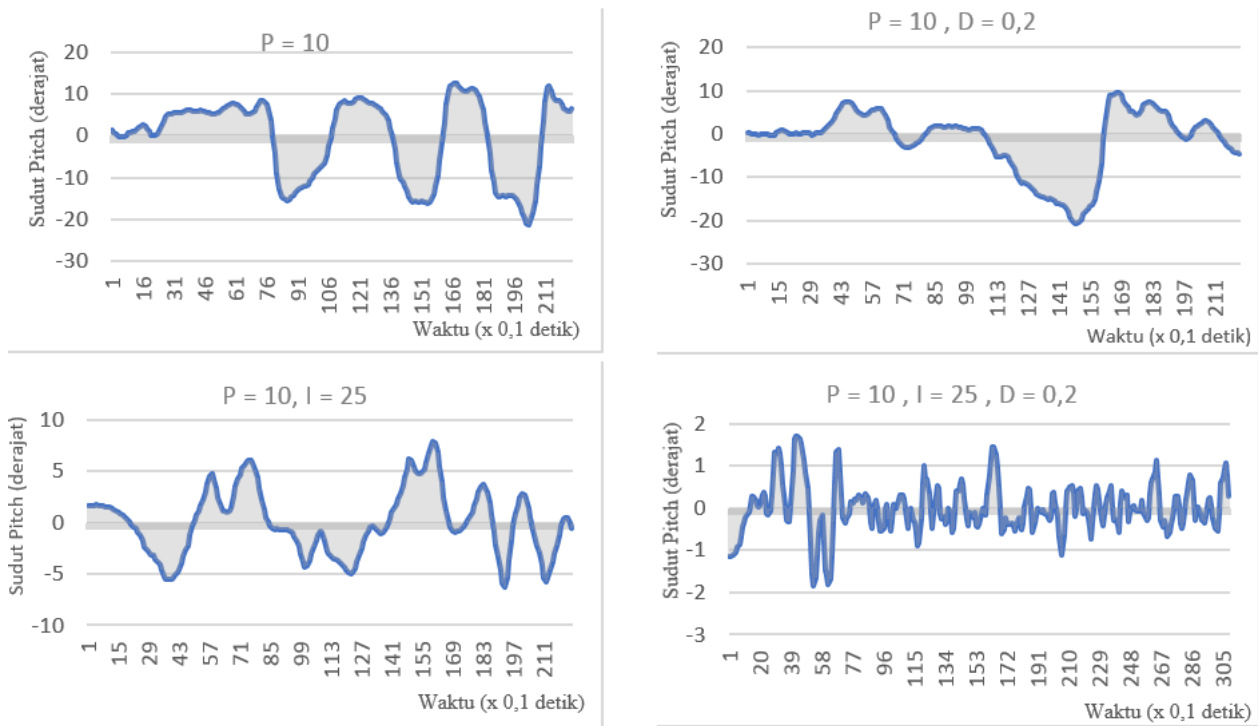
## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat lima percobaan pada bagian ini. Percobaan pertama dilakukan untuk mencari konfigurasi dan konstanta PID keseimbangan robot. Percobaan kedua dilakukan untuk mencari konfigurasi dan konstanta PID jarak robot. Percobaan ketiga dilakukan untuk mencari konfigurasi dan konstanta PID arah hadap robot. Percobaan keempat dilakukan untuk menguji kinerja robot dengan memberikan dua titik tujuan. Percobaan kelima dilakukan untuk menguji kinerja robot dengan memberikan tiga titik tujuan.

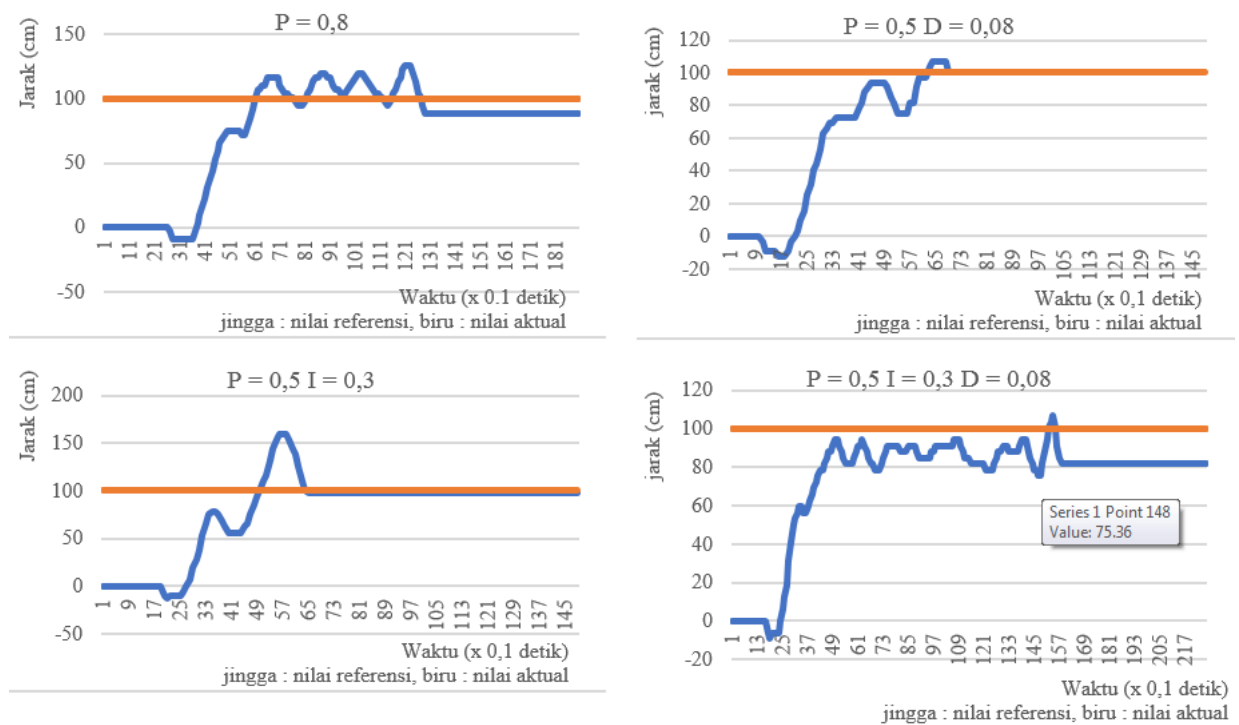
Percobaan pertama merupakan uji pencarian konstanta blok PID primer atau blok kontrol keseimbangan robot. Nilai referensi yang digunakan adalah 0 derajat. Metode pencarian konstanta blok PID primer dengan percobaan secara langsung. Kemudian menentukan kombinasi PID dengan respon terbaik dengan konfigurasi metode kontrol yaitu P, PI, PD, PID. Parameter respon terbaik didapatkan dari nilai terkecil simpangan *error* terhadap sudut pitch 0 derajat robot. Pada percobaan ini nilai awal konstanta kontrol P adalah 10 dengan simpangan *error*  $\pm 20$  derajat. Nilai ini dipilih karena telah memberikan respon terbaik jika dibandingkan dengan nilai lain pada respon keseimbangan robot. Selanjutnya diujicobakan kombinasi PI, PD, dan PID. Pada kombinasi kontrol PI, digunakan konstanta P=10 dan I = 25. Kombinasi kontrol PD, digunakan kombinasi P=10 dan D=0,2. Pada kombinasi PID, digunakan konstanta P=10, I=25, dan D=0,2. Keempat kontrol ini, yaitu P, PI, PD, dan PID dibandingkan hasil respon kontrolnya. Berdasarkan data yang didapatkan, nilai *error* blok PID primer dengan konstanta P=10, I=25, dan D=0,2 memberikan respon terbaik dengan nilai *error*  $\pm 2$  derajat. Dengan demikian, konstanta pada blok PID primer diatur dengan nilai P=10, I=25, dan D=0,2. Data hasil percobaan pertama dapat dilihat pada Gambar 5.

Percobaan kedua merupakan uji pencarian konstanta blok PID sekunder 1 atau blok kontrol jarak robot. Blok PID sekunder 1 perlu didukung dengan blok PID primer agar robot bisa seimbang ketika bergerak maju. Nilai konstanta blok PID primer sesuai dengan konstanta yang telah didapatkan pada percobaan pertama, yaitu P=10, I=25, D=0,2.

Metode pencarian blok PID sekunder 1 dengan percobaan secara langsung. Nilai referensi yang digunakan adalah 100 cm. Kemudian menentukan kombinasi PID dengan respon terbaik dengan konfigurasi kontroler yaitu P, PI, PD, PID. Parameter respon terbaik didapatkan dari *error* jarak dan *overshoot* terkecil dari respon jarak robot.



Gambar 5. Percobaan pertama, hasil percobaan kombinasi metode PID untuk blok kontrol keseimbangan

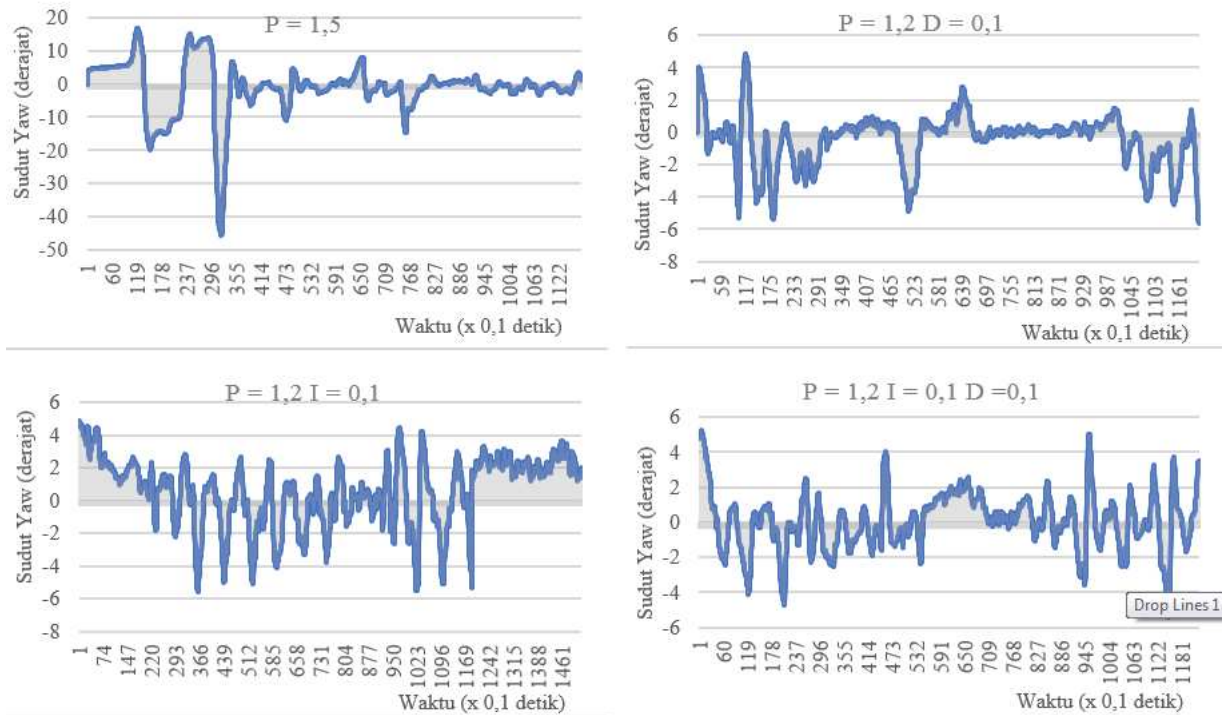


Gambar 6. Percobaan kedua, hasil percobaan kombinasi metode PID untuk blok kontrol jarak

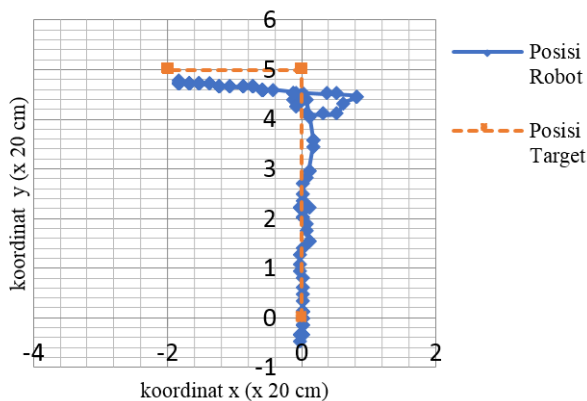
Pada percobaan ini nilai awal konstanta kontrol P adalah 0,8, nilai ini dipilih karena robot sudah mampu menuju target posisi yang telah ditentukan meskipun masih terdapat osilasi. Selanjutnya diujicobakan kombinasi PI, PD, dan PID. Pada kombinasi kontrol PI, digunakan konstanta  $P=0,5$  dan  $I = 0,3$ .

Kombinasi kontrol PD, digunakan kombinasi  $P=0,5$  dan  $D=0,08$ . Pada kombinasi PID, digunakan konstanta

$P=0,5$ ,  $I=0,3$ , dan  $D=0,08$ . Keempat kontrol ini, yaitu P, PI, PD, dan PID dibandingkan hasil respon kontrolnya. Berdasarkan data yang didapatkan, nilai *error* blok PID sekunder 1 dengan konstanta  $P=0,5$  dan  $D=0,08$  memberikan respon terbaik dengan *error* dan *overshoot* terkecil. Dengan demikian, konstanta pada blok PID sekunder 1 diatur dengan nilai  $P=0,5$ , dan  $D=0,08$ . Data hasil percobaan pertama dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 7. Percobaan ketiga, hasil percobaan kombinasi metode PID untuk blok kontrol arah hadap



Gambar 8. Percobaan keempat, data rekam kontrol posisi robot

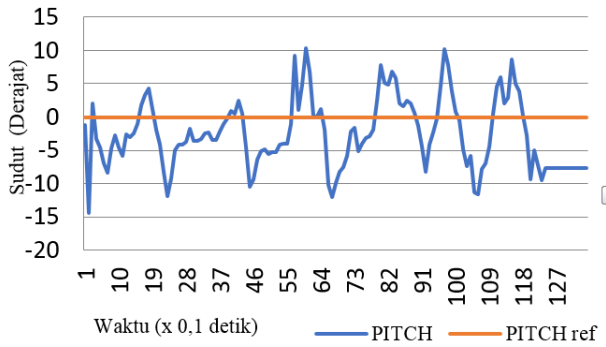
Percobaan ketiga merupakan uji pencarian konstanta blok PID sekunder 2 atau blok kontrol arah hadap robot. Blok PID sekunder 2 perlu didukung dengan blok PID primer agar robot bisa seimbang ketika mengubah arah hadapnya. Nilai konstanta blok PID primer sesuai dengan konstanta yang telah didapatkan pada percobaan pertama, yaitu  $P=10$ ,  $I=25$ ,  $D=0,2$ . Metode pencarian blok PID sekunder 2 dengan melakukan percobaan secara langsung. Nilai referensi yang digunakan adalah 0 derajat. Kemudian menentukan kombinasi PID dengan respon terbaik dengan konfigurasi kontroler yaitu P, PI, PD, PID. Parameter respon terbaik didapatkan dari *error* posisi dan osilasi terkecil dari target arah hadap robot. Pada percobaan ini nilai awal konstanta kontrol P adalah 1,5, nilai ini dipilih karena robot sudah mampu mengatur arah hadapnya sesuai dengan target yang telah ditentukan meskipun masih terdapat osilasi. Selanjutnya diujicobakan kombinasi PI, PD, dan PID. Pada kombinasi kontrol

PI, digunakan konstanta  $P=1,2$  dan  $I = 0,1$ . Kombinasi kontrol PD, digunakan kombinasi  $P=1,2$  dan  $D=0,1$ . Pada kombinasi PID, digunakan konstanta  $P=1,2$ ,  $I=0,1$ , dan  $D=0,1$ . Keempat kontrol ini, yaitu P, PI, PD, dan PID dibandingkan hasil respon kontrolnya. Berdasarkan data yang didapatkan, nilai *error* blok PID sekunder 2 dengan konstanta  $P=1,2$  dan  $D=0,1$  memberikan respon terbaik dengan osilasi terkecil. Dengan demikian, konstanta pada blok PID sekunder 2 diatur dengan nilai  $P=1,2$ , dan  $D=0,1$ . Data hasil percobaan pertama dapat dilihat pada Gambar 7.

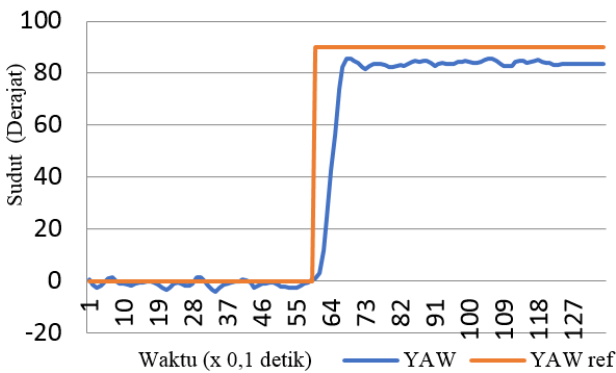
Pada percobaan keempat, pengujian robot keseimbangan beroda dua untuk mencapai titik-titik target tujuan yang dikirimkan lewat peta antarmuka grafik komputer. Skala yang digunakan pada peta adalah 1 satuan menyatakan 20 cm panjang sebenarnya.

Data rekam posisi robot dapat dilihat pada Gambar 8. Pada percobaan ini robot diperintahkan menuju titik (0,00 , 5,00) kemudian diteruskan menuju titik terakhir (-2,00 , 5,00) sesuai garis merah pada peta. Garis biru menunjukkan respon pergerakan robot. Berdasarkan data rekam posisi robot, robot telah menuju posisi (-1,83, 4,74). Masih terdapat selisih *error* posisi robot yaitu sebesar 0,17 untuk koordinat x, dan -0,26 untuk koordinat y.

Data rekam keseimbangan robot pada saat bergerak dari (0,00, 0,00) menuju (0,00, 5,00) kemudian menuju (2,00, 5,00) dapat dilihat pada Gambar 9. Garis merah merupakan nilai referensi keseimbangan, yaitu 0 derajat. Garis biru menyatakan respon sudut robot ketika bergerak menuju posisi yang diperintahkan. Dari perekaman data yang telah dilakukan, robot mampu menjaga keseimbangannya hingga sampai pada target posisi tetapi masih terdapat osilasi sudut *pitch* dari robot berkisar dari



Gambar 9. Percobaan keempat, data rekam kontrol keseimbangan robot saat berjalan



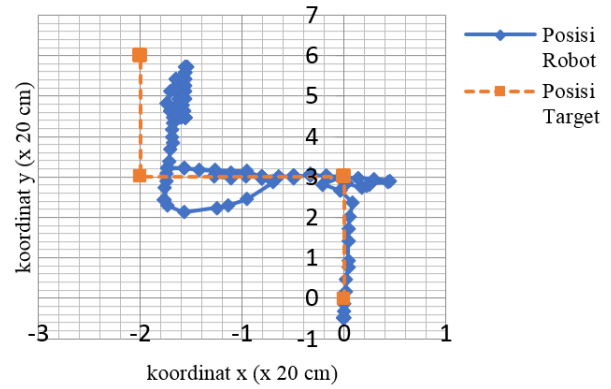
Gambar 10. Percobaan keempat, data rekam kontrol arah hadap robot

-14,42 derajat hingga 10,24 derajat.

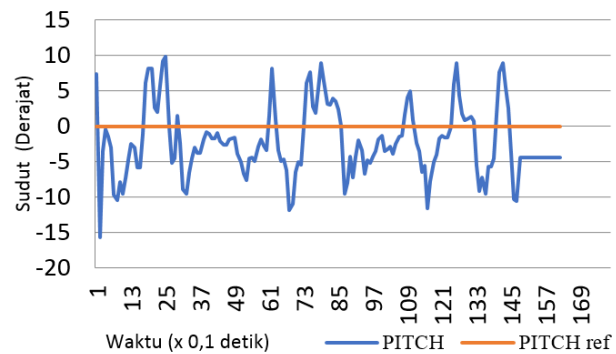
Data rekam arah hadap robot pada saat bergerak dari (0,00, 0,00) menuju (0,00, 5,00) kemudian menuju (2,00, 5,00) dapat dilihat pada Gambar 10. Garis merah merupakan nilai referensi arah hadap. Nilai referensi berubah dari 0,00 derajat menuju 90,00 derajat pada detik 6,10 saat berbelok dari titik (0,00, 5,00) ke (2,00, 5,00). Garis biru menyatakan respon arah hadap robot ketika bergerak menuju posisi yang diperintahkan. Dari perekaman data yang telah dilakukan, robot mengubah arah hadap hingga 83,65 derajat dan menjaga keseimbangannya hingga sampai pada target posisi.

Pada percobaan kelima, hampir sama dengan percobaan keempat, tetapi robot diperintahkan menuju 3 titik target. Data rekam posisi robot dapat dilihat pada Gambar 11. Pada percobaan ini robot diperintahkan menuju titik (0,00, 5,00) kemudian diteruskan menuju titik (-2,00, 3,00) dan terakhir menuju titik (-2,00, 6,00) sesuai garis merah pada peta. Garis biru menunjukkan respon pergerakan robot. Berdasarkan data rekam posisi robot, robot telah menuju posisi (-1,55, 5,57). Masih terdapat selisih *error* posisi robot yaitu sebesar 0,45 untuk koordinat x, dan -0,43 untuk koordinat y.

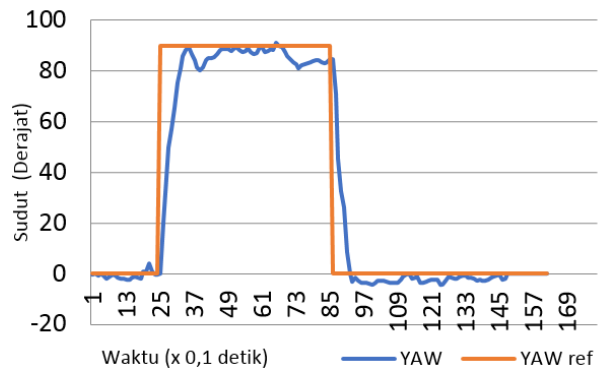
Data rekam keseimbangan robot pada saat bergerak dari (0,00, 0,00) menuju (0,00, 3,00) kemudian menuju (-2,00, 3,00) kemudian menuju (-2,00, 6,00) dapat dilihat pada Gambar 12. Garis merah merupakan nilai referensi keseimbangan, yaitu 0 derajat. Garis biru menyatakan respon sudut robot ketika bergerak menuju posisi yang



Gambar 11. Percobaan kelima, data rekam kontrol posisi robot



Gambar 12. Percobaan kelima, data rekam kontrol keseimbangan robot saat berjalan



Gambar 13. Percobaan kelima, data rekam kontrol arah hadap robot

diperintahkan. Dari perekaman data yang telah dilakukan, robot mampu menjaga keseimbangannya hingga sampai pada target posisi tetapi masih terdapat osilasi sudut *pitch* dari robot berkisar dari -15,65 derajat hingga 9,85 derajat.

Data rekam arah hadap robot pada saat bergerak dari (0,00, 0,00) menuju (0,00, 3,00) kemudian menuju (-2,00, 3,00) kemudian menuju (-2,00, 6,00) dapat dilihat pada Gambar 13. Garis merah merupakan nilai referensi arah hadap. Nilai referensi berubah dari 0,00 derajat menuju 90,00 derajat pada detik 2,50 saat berbelok dari (0,00, 3,00) menuju (-2,00, 3,00). Kemudian arah hadap berubah menjadi 0,00 derajat pada detik 8,60 saat berbelok dari (-2,00, 3,00) ke (-2,00, 6,00). Garis biru menyatakan respon arah hadap robot ketika bergerak menuju posisi yang diperintahkan. Dari perekaman data yang telah

dilakukan, robot mengubah arah hadap hingga 83,65 derajat dan menjaga keseimbangannya hingga sampai pada target posisi.

Masih terdapat selisih posisi target dengan posisi aktual robot. Hal ini dipengaruhi dua faktor. Faktor pertama yaitu selip pada roda robot. Berdasarkan data rekam posisi terlihat jalur pergerakan robot (garis biru) tidak benar-benar sesuai dengan nilai referensi (garis merah), dapat dilihat pada saat robot berbelok. Hal ini dikarenakan terdapat proses penyeimbangan tubuh robot sehingga terdapat gerakan maju atau mundur yang bisa menimbulkan selip. Faktor kedua yaitu selisih arah hadap robot. Berdasarkan data rekam arah hadap dapat dilihat bahwa masih terdapat selisih respon arah hadap terhadap nilai referensi. Contohnya dapat dilihat pada saat nilai referensi arah hadap berubah 90,00 derajat untuk berbelok, robot hanya berbelok 83,65 derajat. Kedua faktor kesalahan ini yang menyebabkan adanya selisih posisi target dan aktual robot.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan pertama, kedua, dan ketiga konfigurasi terbaik kontrol PID bertingkat yaitu PID pada blok kontrol keseimbangan, PD pada kontrol jarak, dan PD pada kontrol arah hadap.

Dengan menggunakan kontrol PID bertingkat, robot keseimbangan beroda dua telah mampu menyeimbangkan diri dengan osilasi berkisar  $\pm 15,00$  derajat dan dapat bergerak menuju posisi yang diperintahkan dengan selisih posisi (0,17, -0,26) pada percobaan keempat dan (0,45, -0,43) pada percobaan kelima yang disebabkan karena faktor selip roda pada robot dan selisih respon arah hadap robot terhadap titik referensi.

## REFERENSI

- [1] Okulski, Michał, and Maciej Ławryńczuk. "A Cascade PD Controller for Heavy Self-balancing Robot." In *Conference on Automation*, pp. 183-192. Springer, Cham, 2018.
- [2] Mohammed, Hussein S., Bashar F. Midhat, and Firas A. Raheem. "PID and Fuzzy Logic Controller Design for Balancing Robot Stabilization." *Iraqi Journal of Computers, Communication and Control & Systems Engineering* 18, no. 1 (2018): 1-10.
- [3] Park, Ji-Hyun, and Baek-Kyu Cho. "Development of a self-balancing robot with a control moment gyroscope." *International Journal of Advanced Robotic Systems* 15, no. 2 (2018): 1729881418770865.
- [4] Ahmad, Ejaz, Ateeq ur Rehman, Owais Khan, Muhammad Haseeb, and Nihad Ali. "Backstepping control design for two-wheeled self balancing robot." In *2018 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid (ICPESG)*, pp. 1-6. IEEE, 2018.
- [5] Rahman, MD Muhaimin, SM Hasanur Rashid, KM Rafidh Hassan, and M. M. Hossain. "Comparison of different control theories on a two wheeled self balancing robot." In *AIP Conference Proceedings*, vol. 1980, no. 1, p. 060005. AIP Publishing, 2018.
- [6] Rahman, M. D., S. M. Rashid, and M. M. Hossain. "Implementation of Q Learning and Deep Q Network For Controlling a Self Balancing Robot Model." *arXiv preprint arXiv:1807.08272* (2018).
- [7] He, Chun-hong, and Bin Ren. "Design of two wheel self balancing car." In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 113, no. 1, p. 012074. IOP Publishing, 2018.
- [8] Prasetyo, Barlian Henryranu, and Wijaya Kurniawan. "Disturbance rejection using feed-forward control system on self balancing robot." In *MATEC Web of Conferences*, vol. 154, p. 03002. EDP Sciences, 2018.
- [9] Razmjoo, Navid, and Mehdi Ramezani. "Optimal Control of Two-Wheeled Self-Balancing Robot with Interval Uncertainties Using Chebyshev Inclusion Method." *Majlesi Journal of Electrical Engineering* 12, no. 1 (2018): 13-21.
- [10] Chouhan, Abhijeet Singh, Dayal R. Parhi, and Animesh Chhotray. "Control and Balancing of Two-Wheeled Mobile Robots using Sugeno Fuzzy Logic in the domain of AI Techniques." *Emerging trends in Engineering, Science and Manufacturing, (ETESM-2018)*, IGIT, Sarang, India (2018).
- [11] Njinwoua, Brice J., and Alain Vande Wouwer. "Cascade attitude control of a quadcopter in presence of motor asymmetry\*." *IFAC-PapersOnLine* 51, no. 4 (2018): 113-118.
- [12] Frankovský, P., L. Dominik, A. Gmiterko, I. Virgala, P. Kurylo, and O. Perminova. "Modeling of two-wheeled self-balancing robot driven by DC gearmotors." *International Journal of Applied Mechanics and Engineering* 22, no. 3 (2017): 739-747.
- [13] Phan, Hai N., and Chiem X. Nguyen. "Building embedded quasi-time-optimal controller for two-wheeled self-balancing robot." In *MATEC Web of Conferences*, vol. 132, p. 02005. EDP Sciences, 2017.
- [14] Poksawat, Pakorn, Liuping Wang, and Abdulghani Mohamed. "Automatic tuning of attitude control system for fixed-wing unmanned aerial vehicles." *IET Control Theory & Applications* 10, no. 17 (2016): 2233-2242.
- [15] Pratama, Derry, Eko Henfri Binugroho, and Fernando Ardilla. "Movement control of two wheels balancing robot using cascaded PID controller." In *International Electronics Symposium (IES), 2015*, pp. 94-99. IEEE, 2015.
- [16] Tamami, Niam, Endra Pitowarno, and I. Gede Puja Astawa. "Proportional Derivative Active Force Control for "x" Configuration Quadcopter." *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology* 5, no. 2 (2014): 67-74.
- [17] Juang, Hau-Shiue, and Kai-Yew Lurr. "Design and control of a two-wheel self-balancing robot using the arduino microcontroller board." In *Control and Automation (ICCA), 2013 10th IEEE International Conference on*, pp. 634-639. IEEE, 2013.
- [18] Wahid, Nurbaiti, and Nurhaffizah Hassan. "Self-tuning fuzzy PID controller design for aircraft pitch control." In *Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS), 2012 Third International Conference on*, pp. 19-24. IEEE, 2012.
- [19] Yong, Qin, Liu Yanlong, Zang Xizhe, and Liu Ji. "Balance control of two-wheeled self-balancing mobile robot based on TS fuzzy model." In *Strategic Technology (IFOST), 2011 6th International Forum on*, vol. 1, pp. 406-409. IEEE, 2011.

# Pemantauan Energi Listrik pada Satu kWh-meter Fase Tunggal untuk Empat Kelompok Beban Berbasis Metode Payload Data Handling

Suhendri dan Arief Goeritno  
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2 Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164  
e-mail: hendri.henhan@gmail.com

**Abstrak**—Telah dibuat sebuah sistem minimum untuk pemantauan energi listrik pada satu kWh-meter fase tunggal untuk empat kelompok beban berbasis metode *Payload Data Handling* (PDH). Tujuan penelitian ini, yaitu memperoleh sebuah sistem berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dan pengukuran kinerja sistem. Metode perolehan sistem dilakukan melalui (i) pembuatan board untuk modul sensor dan relai; (ii) pembuatan board untuk modul sistem pengendali; (iii) pengawatan terintegrasi terhadap sejumlah board dan modul; dan (iv) pemrograman terhadap sistem berbantuan Arduino IDE berpedoman kepada metode PDH. Metode pengukuran kinerja sistem dilakukan melalui uji verifikasi dan validasi. Modul sensor dan relai terdiri atas sebuah sensor tegangan, empat buah sensor arus, empat buah relai, dan rangkaian elektronika pendukung. Modul pengintegrasian sejumlah pin difungsikan sebagai pengintegrasian terhadap semua pin yang berhubungan dengan pin-pin pada sistem mikrokontroler yang berkaitan dengan masukan dan keluaran. Pemrograman sistem mikrokontroler didasarkan terhadap penentuan algoritma dan penyusunan sintaks. Uji verifikasi berbantuan aplikasi Proteus dilakukan dalam bentuk simulasi pemberian kondisi buatan berupa keberadaan nilai tegangan, arus, dan jumlah waktu untuk perolehan nilai energi. Simulasi dilakukan terhadap setiap jalur kelompok beban. Uji verifikasi merupakan penentuan linearitas nilai arus dan tegangan. Berdasarkan uji validasi, diperoleh nilai kWh dan jumlah biaya energi listrik (dalam rupiah) yang terpantau setiap saat dan dapat dilakukan pencetakan setiap pekanan atau bulanan.

**Kata kunci:** *Pemantauan energi listrik, kWh-meter fase tunggal, metode PDH, mikrokontroler Arduino*

**Abstract**— A minimum system has been made for monitoring the electric energy in a single phase kWh-meter for four load groups based on the Data Handling Payload (PDH) method. The purpose of this study, namely to obtain an integrated system based on Arduino MEGA2560 R3 microcontroller and measurement of the system performance. Method of obtaining the system is carried out through (i) making boards for sensor modules and relays; (ii) making boards for module of the driving the system; (iii) wiring integration of a number of boards and modules; and (iv) programming against the microcontroller system assisted by the Arduino IDE based on the PDH method. Method of measuring the system performance is carried out through verification and validation tests. Sensors and relays module consist of a voltage sensor, four current sensors, four relays, and a supporting electronic circuit. The integration module of a number of pins is functioned as an integration of all pins associated with pins on the microcontroller system with regard to input and output. Programming the microcontroller system is based on the determination of algorithms and the preparation of syntax. The verification test assisted by the Proteus application is carried out in the form of simulation of the provision of artificial conditions in the form of the value of voltage, current, and the amount of time for the acquisition of energy values. Simulations are carried out on each path of the load group. A verification test is the determination of the linearity of current and voltage values. Based on the validation test, it is obtained the kWh values and the amount of electric energy costs (in rupiah) that are monitored at any time and can be printed every time or monthly.

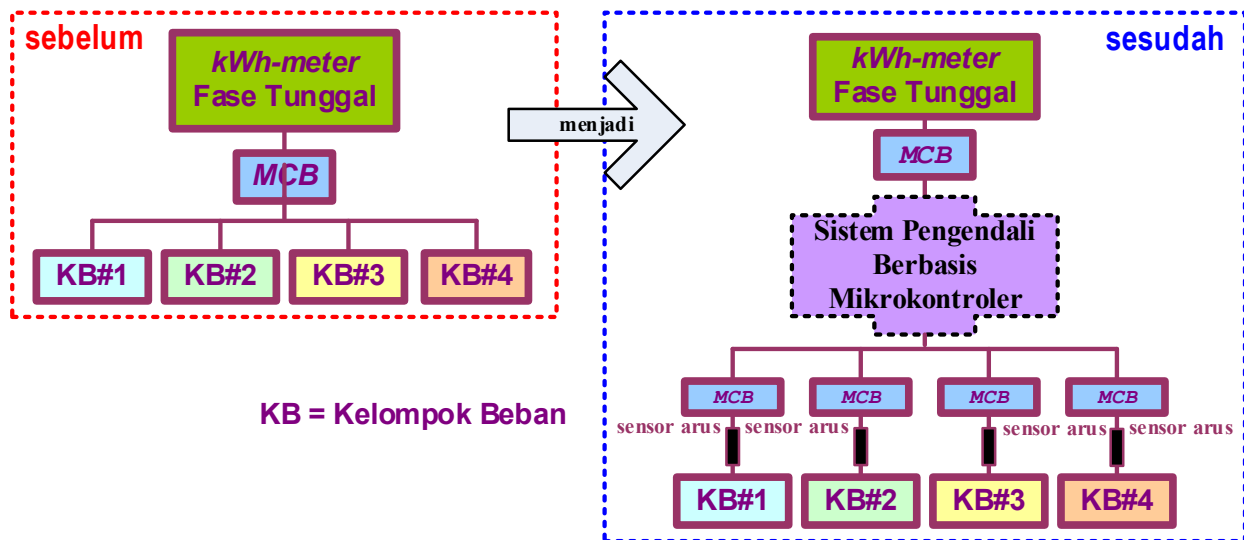
**Keywords:** *Monitoring the electric power, single phase kWh-meter, PDH method, Arduino microcontroller*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektriكا. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Penelitian berkaitan dengan pemantauan terhadap pemakaian energi listrik berbantuan mikrokontroler telah dilakukan melalui pembuatan sebuah prototipe untuk penampil nilai rupiah [1], maupun sebuah prototipe sistem prabayar pemakaian energi listrik untuk setiap

kamar sewa [2], termasuk juga pembuatan sebuah prototipe untuk pemantauan nilai arus listrik setiap kelompok beban yang tersambung pada sebuah kWh-meter fase tunggal [3], [4]. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang berbasis pada mikrokontroler ATmega [3], [4], menjadi berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dengan penambahan kemampuan sistem



Gambar 1. Diagram blok pengawatan instalasi listrik satu kWh-meter sebelum dan sesudah pemasangan sistem pengendali untuk empat kelompok beban

dalam hal penunjukan nilai energi listrik dan rupiah, masukan (*input*) untuk perubahan nilai Tarif Dasar Listrik (TDL), cetak hasil (*print out*) harian atau bulanan, dan penyetelan ulang (*reset*). Pemantauan energi listrik pada satu kWh-meter fase tunggal yang digunakan untuk satu kelompok beban atau kebutuhan untuk satu rumah tangga sangatlah mudah dan tidak terdapat banyak kendala, karena sudah sesuai dengan peruntukan [5]. Perbedaan muncul dengan sekelompok masyarakat yang mempunyai usaha penyewaan rumah kos-kosan, sewa rumah petak (kontrakan) dan keadaan lain yang sejenis yang hanya berbekal satu kWh-meter untuk keperluan lebih dari satu kelompok beban listrik. Fungsi kWh-meter sebagai penghitung seberapa besar pemakaian energi listrik suatu bangunan pelanggan, baik di rumah, kantor, maupun pabrik [6].

Pemantauan energi listrik pada kondisi rumah petak (kontrakan) atau kamar kos-kosan melalui meter pencatat energi listrik atau kilo watt hour meter (meter kWh atau kWh-meter) sangat mutlak dilakukan [7]-[10], sebagaimana halnya konsumen PT (Persero) PLN. Hal itu menjadi lebih sulit, jika hanya digunakan satu kWh-meter untuk pemantauan pemakaian energi listrik terhadap sejumlah kelompok beban, karena berpengaruh pada penentuan besar iuran biaya listrik, dan perilaku para pengguna listrik itu sendiri [5]. Pemantauan energi listrik untuk sejumlah kelompok beban dengan satu kWh-meter dapat dilakukan secara manual, namun hal itu tidak efisien, karena diperlukan sumber daya manusia sebagai pencatat terhadap sejumlah alat pengukur arus (tang ampere) setiap saat atau dilakukan pemasangan kWh-meter baru untuk masing-masing kelompok beban, sehingga hal itu berdampak kepada penambahan biaya untuk pengadaan sejumlah kWh-meter tersebut dan tetap dibutuhkan sumber daya manusia untuk pencatatan dan penghitungan [1]. Dewasa ini sejumlah perangkat dengan teknologi kontrol telah banyak diciptakan dan dikembangkan dengan tujuan khusus untuk kemudahan dalam pengerjaan dan pengurangan beban kerja manusia [2], baik berbasis

mikrokontroler maupun komputer personal (*PC, personal computer*), sebagaimana pemanfaatan sistem elektronis berbantuan PC untuk pemantauan kondisi pasokan daya listrik [11]. Penerapan metode *Payload Data Handling (PDH)* yang merupakan teknik kontrol untuk pemantauan, penyimpanan, pengiriman, dan penerimaan data yang beroperasi secara otomatis melalui sistem pengendalian jarak jauh atau dekat [12].

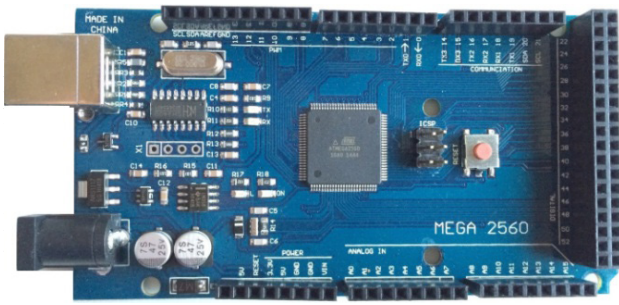
Berdasarkan latar belakang tersebut, maka diperlukan peranti elektronis yang dapat digunakan untuk kemudahan terhadap pemantauan energi listrik yang terpakai dan dimonitor secara proporsional sesuai dengan pemakaian energi listrik masing-masing kelompok beban. Jumlah pemakaian energi listrik dilakukan melalui pengukuran nilai arus yang teralirkan ke beban dan pemantauan nilai tegangan [3], [4]. Diagram blok pengawatan instalasi listrik satu kWh-meter sebelum dan sesudah pemasangan sistem pengendali untuk empat kelompok beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Berpedoman kepada Gambar 1, maka ditetapkan tujuan penelitian, yaitu memperoleh (i) integrasi sejumlah modul untuk sebuah sistem minimum berbasis sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dan pemrograman berbasis Arduino IDE [13]-[17] sesuai metode PDH [12], [3], [4]; dan (ii) pengukuran kinerja sistem minimum melalui uji verifikasi berupa simulasi dan uji validasi melalui pemberian beban-beban listrik sesungguhnya di setiap kelompok beban.

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Energi listrik dan Alat Pencatatnya

Pemantauan energi (tenaga) listrik merupakan proses manajemen energi listrik yang sangat penting dalam perolehan efisiensi dan penghematan pemakaian energi listrik untuk jangka panjang [18]. Pemantauan energi listrik dapat dipantau pada kWh-meter yang terpasang pada instalasi listrik sisi konsumen dalam penggunaan satuan



Gambar 2. Tampilan fisis sisi atas modul mikrokontroler ArduinoMEGA 2560 [17]

dan kWh-meter digital. Kedua kWh-meter tersebut dengan perbedaan dalam prinsip kerja, keuntungan dan kerugian, dan ketelitian yang berbeda juga [20].

Satu kWh-meter pada umumnya dengan peruntukan hanya untuk satu kelompok beban [7]-[10]. Berbeda halnya dengan sekelompok masyarakat dengan usaha sewa rumah petak (kontrakan), kamar kos-kosan, dan/atau keadaan lain yang sejenisnya. Tidak sedikit diantaranya dengan penggunaan satu kWh-meter dipakai untuk lebih dari satu kelompok beban, sehingga susah untuk pembagian iuran pembayaran listrik setiap bulannya secara adil dan proporsional. Karakter individu tiap kelompok pasti berbeda-beda dalam penggunaan daya listrik dan macam-macam peralatan listrik yang digunakan juga pasti berbeda.

Energi ( $W$ , dalam satuan joule), adalah kemampuan untuk dilakukan kerja ( $work$ ) dan daya adalah laju perubahan waktu saat dilakukan kerja ( $P$ , dalam satuan watt), sedangkan kerja adalah gaya saat gerakan yang dilakukan sepanjang jarak tertentu [18]. Nilai kWh dan Rupiah yang dibayarkan setiap bulan atau sesuai pemakaian daya listrik pelanggan listrik PLN dapat dihitung dengan Persamaan (1) dan (2) [21].

$$kWh = \text{daya listrik} \times \text{waktu}(\text{jam}) \div 1000, \quad (1)$$

$$\text{Biaya (Rp.)} = \text{jumlah kWh} \times \text{TDL}. \quad (2)$$

## B. Mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3

### 1. Modul Arduino MEGA2560 R3

Modul Arduino MEGA2560 R3 (spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1) merupakan sebuah board mikrokontroler berbasis pada IC ATmega2560 dengan flash memory 256 kB dan 8 kB digunakan untuk bootloader, SRAM 8 kB, EEPROM 4 kB, dan Clock Speed 16 Mega hertz [22]-[24]. Arduino MEGA2560 dengan 54 buah pin digital yang dapat digunakan sebagai input ataupun output. Berdasarkan jumlah 54 buah pin tersebut, 15 pin diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran Pulse Width Modulation (PWM), memiliki 16 pin analog input, 4 pin UARTs yang berfungsi sebagai port serial untuk hardware, sebuah oscillator kristal 16 Mega Hertz, sebuah jack female untuk koneksi USB, jack female adaptor, dan sebuah tombol reset. Dalam penelitian ini IC mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega2560 [25], [26]. Mikrokontroler ATmega2560 berbentuk persegi dengan jumlah pin

Tabel 1. Spesifikasi modul mikrokontroler Arduino MEGA 2560 R3

Parameter	:	Nilai
Tegangan Operasi	:	5 V
Tegangan masukan	:	7-12 V (disarankan)
Kisaran tegangan masukan	:	6-20 V
Jumlah pin untuk I/O digital	:	54 (15 pin digunakan sebagai keluaran PWM)
Jumlah pin masukan analog	:	16
Arus dc tiap pin I/O	:	40 mA
Arus dc untuk pin 3,3 V	:	50 mA
Flash Memory	:	256 kB (8 kB digunakan untuk bootloader)
SRAM	:	8 kB
EEPROM	:	4 kB
Clock Speed	:	16 Mega hertz

sebanyak 100 buah. Mikrokontroler ATmega2560 dengan kemampuan eksekusi terhadap instruksi program dalam satu siklus clock tunggal, sehingga ATmega2560 mampu dioptimalkan dengan keberadaan konsumsi daya yang dibandingkan dengan kecepatan pemrosesan program [22]-[26]. Tampilan fisis sisi atas modul mikrokontroler Arduino MEGA2560, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

### 2. Arduino software

Arduino software dikenal dengan Arduino Integrated Development Environment (IDE) yang merupakan kependekan dari atau Arduino Software, adalah sebuah software yang telah disiapkan oleh Arduino bagi para perancang untuk pelaksanaan berbagai proses yang berkaitan dengan pemrograman terhadap mikrokontroler Arduino [13]-[17]. Arduino IDE adalah sebuah platform bersifat open source untuk mikrokontroler dan dirancang untuk kemudahan penggunaan dalam rancangan sebuah sistem berbasis mikrokontroler. Arduino IDE bukan hanya sebuah bentuk pengembangan software pada mikrokontroler, tetapi merupakan sebuah platform bahasa pemrograman untuk sebuah board Arduino [13]-[17]. Arduino IDE tersedia secara gratis dan dapat diperoleh secara langsung pada laman resmi Arduino di <https://www.arduino.cc/en/main/software>. Arduino IDE sudah didukung oleh berbagai sistem pengoperasian populer saat ini, seperti Windows, Mac, dan Linux [13]-[17].

### C. Metode Payload Data Handling

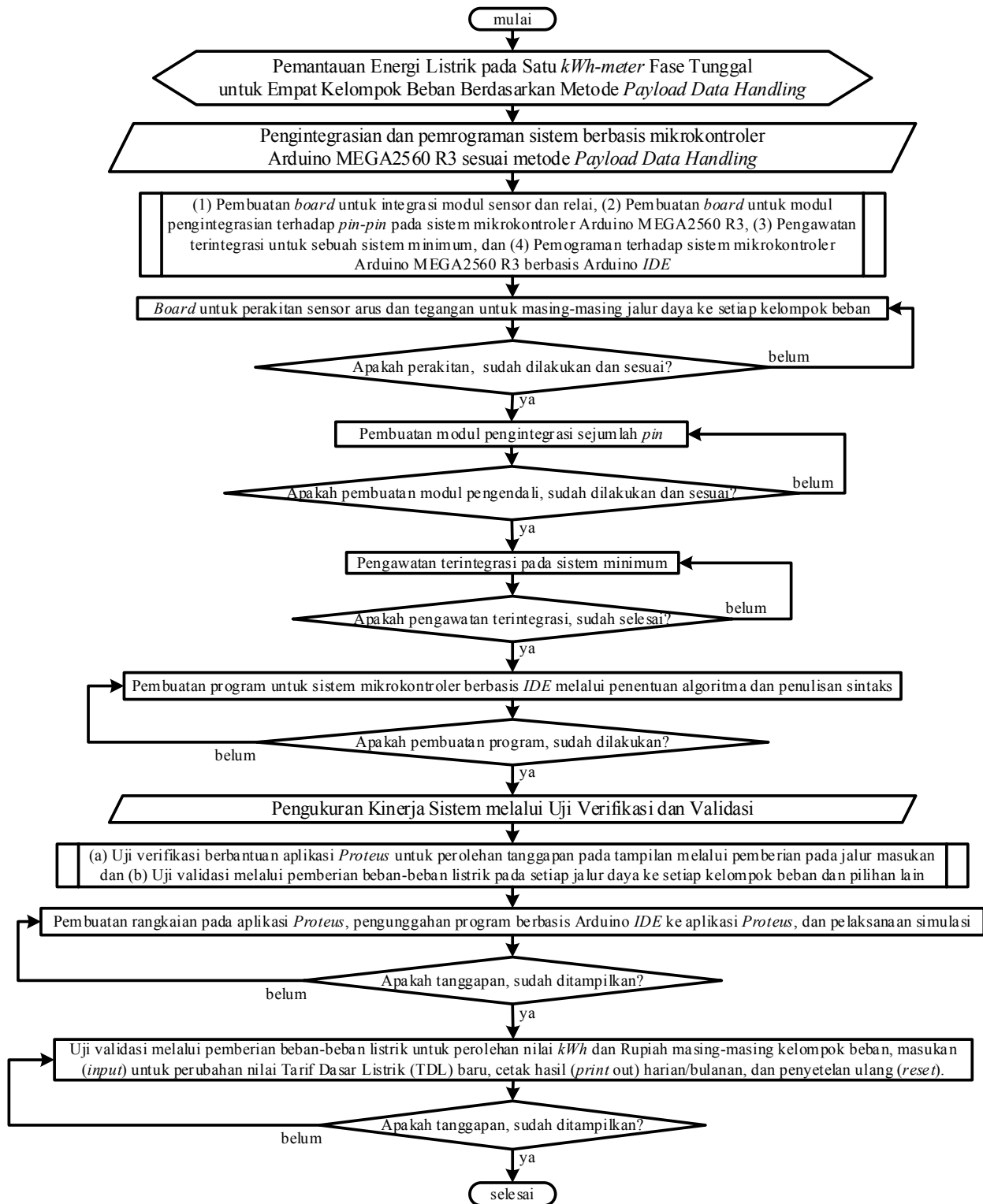
Metode Payload Data Handling (PDH) merupakan bentuk metode untuk sistem pemantauan, penyimpanan, pengiriman, dan penerimaan data yang beroperasi secara otomatis melalui sistem pengontrolan jarak jauh atau dekat [12], [3], [4]. Sistem berbasis PDH dengan beberapa kelebihan, yaitu rancangan rangkaian yang ringkas, tidak dibutuhkan sumber daya yang besar, dan terdapat tampilan untuk kemudahan pengguna dalam pemantauan beban



yang sedang digunakan [3]. Keterkaitan sistem berbasis metode *PDH* dan pemantauan pemakaian energi listrik pada satu *kWh-meter* untuk sejumlah rumah sewa, meliputi (a) saluran distribusi daya, (b) penggunaan saluran daya sebagai media pengiriman untuk keperluan komunikasi, dan (c) sistem pengontrolan berbasis metode *PDH* dengan pemanfaatan tegangan dan arus listrik [3], [4].

III. METODE

Metode penelitian dibuat dalam bentuk diagram alir. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

A. *Pengintegrasian dan Pemrograman Sistem Minimum Berbasis Sistem Mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3*

Perolehan sebuah sistem minimum berbasis sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dilakukan melalui langkah-langkah: (a) pembuatan *board* untuk integrasi modul sensor tegangan dan arus, relay, dan rangkaian elektronika pendukung pada masing-masing jalur daya ke setiap kelompok beban; (b) pembuatan *board* untuk modul pengintegrasian; (c) pengawatan terintegrasi untuk perolehan sebuah sistem minimum, dan (d) pembuatan program untuk sistem mikrokontroler berbasis Arduino IDE melalui penentuan algoritma dan penyusunan sintaks.

B. *Pengukuran Kinerja Sistem berupa Uji Verifikasi dan Validasi*

Perolehan pengukuran kinerja sistem dilakukan melalui simulasi untuk perolehan tanggapan pada tampilan melalui penanaman program berbasis Arduino IDE ke aplikasi Proteus dengan pemberian kondisi buatan dan uji validasi melalui pengukuran kinerja sistem minimum dengan pemberian beban-beban listrik sesungguhnya yang dilakukan pada setiap jalur daya ke kelompok beban.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

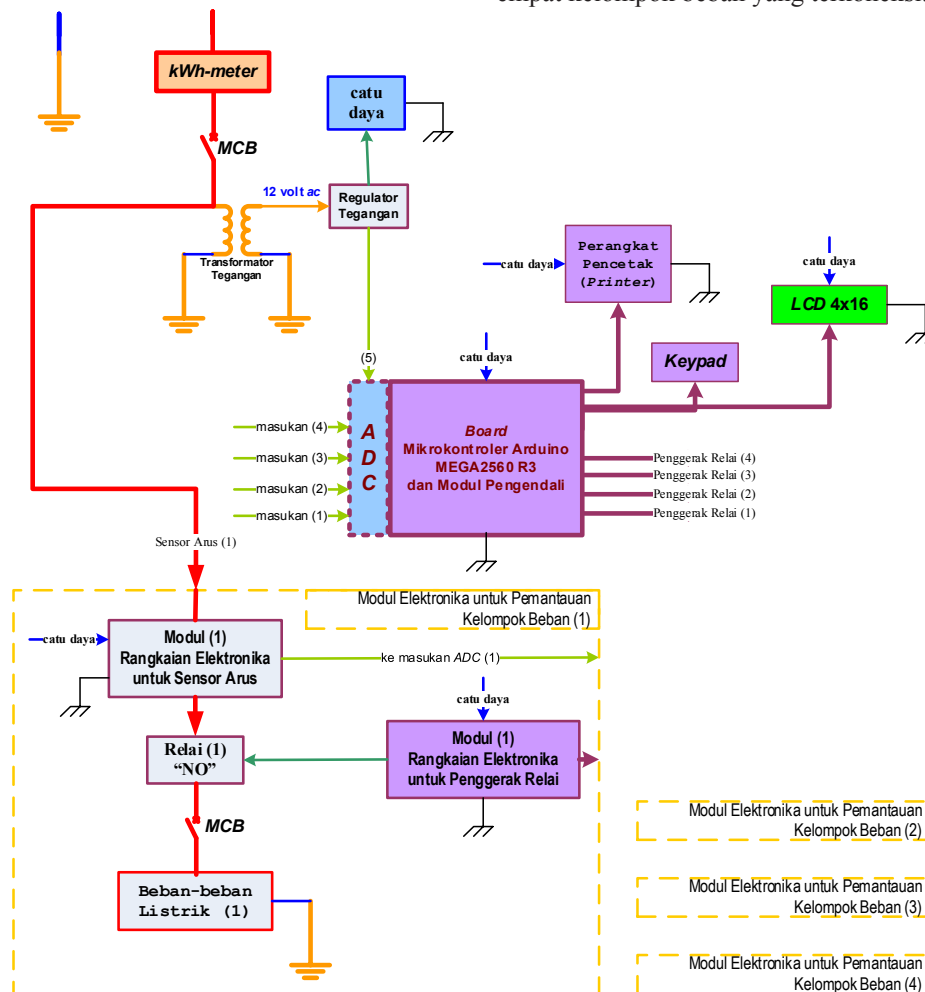
Pemantauan terhadap pemakaian energi listrik pada empat kelompok beban yang tersambung dan terlayani dari satu kWh-meter, dilakukan melalui sistem minimum berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dengan penerapan metode *Payload Data Handling*. Diagram skematis pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* dengan empat kelompok beban secara terpisah dan mandiri, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

A. *Pengintegrasian dan Pemrograman Sistem Berbasis Mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3*

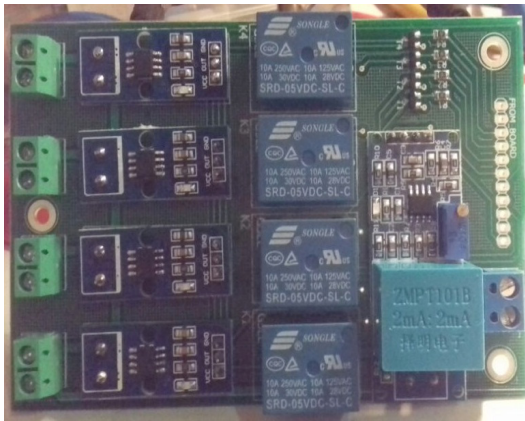
1. Board untuk integrasi modul sensor dan relay

Pengintegrasian terhadap sejumlah modul dan rangkaian elektronika yang disusun menjadi satu kesatuan dalam sebuah modul, digunakan untuk pemantauan terhadap setiap jalur kelompok beban. Bentuk fisis *board* untuk integrasi modul sensor dan relay, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

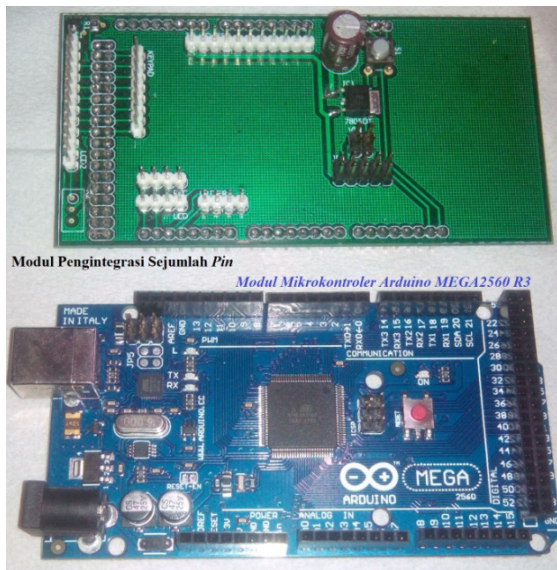
Berdasarkan Gambar 5, ditunjukkan bahwa pada *board* terdapat modul sensor tegangan dan rangkaian elektronika pendukung, empat buah modul relay, dan empat buah modul sensor arus untuk keperluan masing-masing dari ke empat kelompok beban yang terkoneksi.



Gambar 4. Diagram skematis pemantauan energi listrik dengan empat kelompok beban secara terpisah dan mandiri



Gambar 5. Bentuk fisis board untuk integrasi modul sensor dan relai



Gambar 6. Bentuk fisis modul pengintegrasi sejumlah pin dan modul mikontroler Arduino MEGA2560 R3

2. Board untuk modul pengintegrasi terhadap pin-pin pada sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3

Pembuatan *board* untuk modul pengendali digunakan untuk pengintegrasian *pin-pin* Arduino MEGA2560 R3 dengan komponen-komponen lain, seperti *Real Time Clock (RTC)*, *Liquid Crystal Display (LCD)*, *Printer*, *Keypad*, dan *board* modul sensor dan relai. Bentuk fisis modul pengintegrasi sejumlah *pin*, dan modul mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

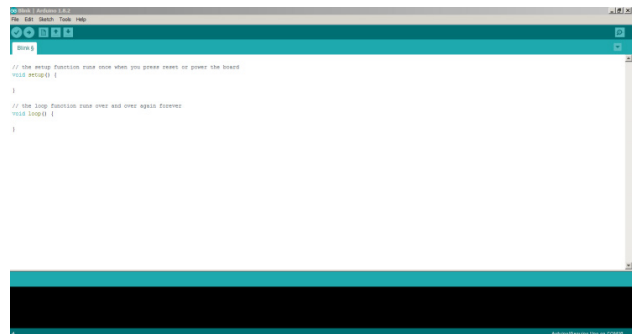
3. Pengawatan terintegrasi untuk sebuah sistem minimum

Pengawatan terintegrasi dimulai dari penggabungan modul pengintegrasi sejumlah *pin* terhadap modul Arduino MEGA2560 R3. Bentuk fisis sistem terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 untuk pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* fase tunggal guna pengelolaan empat kelompok beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

4. Pemrograman terhadap sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 berbasis Arduino IDE  
 Pemrograman terhadap mikrokontroler Arduino MEGA



Gambar 7. Bentuk fisis sistem terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 untuk pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* fase tunggal guna pengelolaan empat kelompok beban



Gambar 8. Tampilan jendela pada Arduino software

2560 R3 digunakan aplikasi *Integrated Development Environment (IDE)* yang merupakan aplikasi bawaan dari arduino yang menggunakan bahasa pemrograman C. Tahapan pemrograman yang harus dilalui terdiri atas pembuatan algoritma dan penulisan sintaks dan untuk kesesuaian hasil, dilakukan uji verifikasi. Tampilan jendela pada *Arduino software*, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

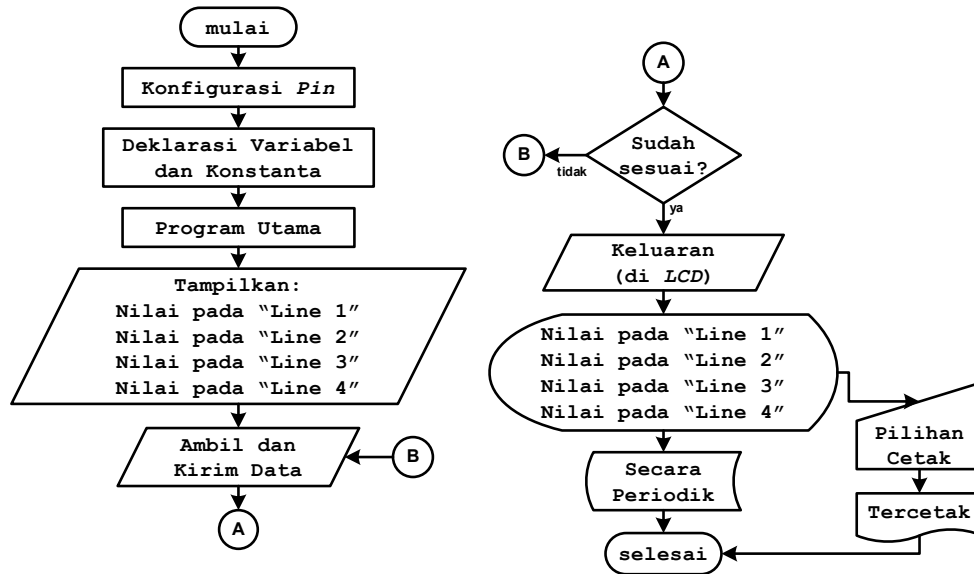
a. Pembuatan algoritma

Pembuatan algoritma dengan tujuan, agar diperoleh kemudahan dalam pemrograman, pemrograman menjadi terarah dan terstruktur dengan baik. Algoritma program untuk pemantauan energi listrik pada satu *kWh-meter* fase tunggal dengan empat kelompok beban berdasarkan metode *PDH*, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Berdasarkan Gambar 9, ditunjukkan bahwa pemrograman mikrokontroler terdiri atas beberapa tahapan untuk penyusunan sintaks.

b. Penyusunan sintaks

Penyusunan sintaks didasarkan kepada setiap tahapan-tahapan pada pembuatan algoritma, yaitu (a) konfigurasi *pin*, (b) deklarasi variabel dan konstanta (c) program utama, (d) ambil dan kirim data, dan (e) keluaran. Dalam *Arduino IDE* penulisan sintaks lebih dikenal secara umum dengan istilah *sketch*.



Gambar 9. Algoritma program untuk pemantauan energi listrik pada satu kWh-meter fase tunggal dengan empat kelompok beban berdasarkan metode PDH

- Konfigurasi pin

Tahapan konfigurasi *pin* merupakan tahapan penentuan *pin* yang akan digunakan sebagai keluaran atau sebagai masukan. *Pin* digunakan sebagai parameter didalam program yang berfungsi untuk penentuan *pin* pada mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 yang terhubung dengan sensor tegangan, sensor arus, relay, *keypad*, *printer*, dan *LCD*.

- Deklarasi variabel dan konstanta

Deklarasi variabel dilakukan untuk pendeklarasian jenis data yang harus dikerjakan.

- Program utama

Program utama merupakan sumber dari pengontrolan program, karena semua perintah pada program diurutkan dari tampilan awal, pengambilan data, menampilkan data pada *LCD* dan reaksi atau *output* dari program yang dibuat.

- Ambil dan kirim data

Pengambilan data dilakukan sampai mendapatkan perubahan datanya, setelah itu maka data tersebut dikirim untuk selanjutnya ditampilkan pada *LCD* dan diprint.

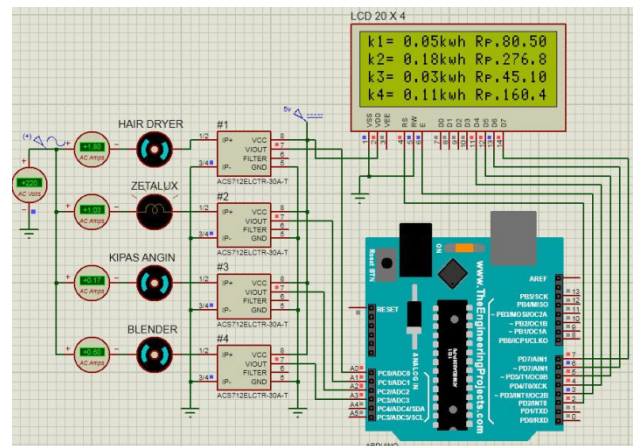
- Keluaran

Keluaran (*output*) program merupakan reaksi yang diakibatkan oleh masukan data yang diberikan oleh rangkaian sensor dan *keypad* yang dihubungkan dengan *pin* masukan pada sistem mikrokontroler. Kondisi keluaran program digunakan dan dihubungkan ke *LCD* dan *printer*.

### B. Kinerja Sistem melalui Uji Verifikasi dan Validasi

#### 1. Uji verifikasi berupa simulasi berbantuan aplikasi Proteus

Uji verifikasi terhadap program berbasis Arduino *IDE* yang telah dibuat pada mikrokontroler dilakukan dengan bantuan aplikasi *Proteus*. Langkah pertama dalam pengoperasian aplikasi *Proteus* dengan pengumpulan komponen-komponen yang tersedia sesuai kebutuhan, kemudian komponen-komponen tersebut dirangkai, kemudian program yang telah dibuat dengan bahasa

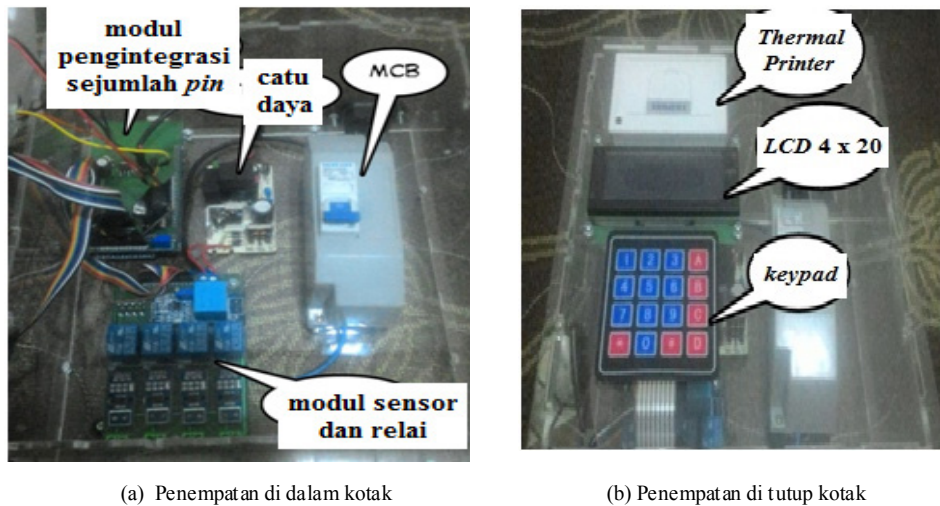


Gambar 10. Tampilan pada uji verifikasi berbantuan aplikasi Proteus

Arduino *IDE* di-*compile* menjadi bentuk heksa atau bahasa mesin dan di-*download*-kan ke rangkaian pada aplikasi *Proteus* tersebut. Keberadaan tegangan dan arus pada aplikasi *Proteus* yang terdeteksi pada simulasi dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan untuk pembuktian, apakah program yang telah dibuat sudah sesuai dengan yang diharapkan atau belum. Tampilan pada uji verifikasi berbantuan aplikasi *Proteus*, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 dijelaskan, bahwa masing-masing beban dipasang *AC-amperemeter* yang tersedia pada aplikasi *Proteus*.

Keberadaan beban terpasang pada masing-masing kelompok terhubung ke sensor ACS712. Nilai arus ke setiap kelompok beban sebagai keluaran (*output*) dari sensor ACS712 yang dihubungkan ke jalur masukan (*inputan*) ke sistem mikrokontroler untuk diproses sebagai faktor kali nilai tegangan dan ditampilkan pada *LCD* 4 x 20 dengan waktu pengujian selama satu jam. Beban terpasang pada kelompok beban #1 berupa *hair dryer* yang disimulasikan dengan komponen "motor" dengan arus yang terbaca sebesar 1,80 A, beban terpasang



Gambar 11. Tampilan fisis sistem terintegrasi untuk pemantauan energi listrik yang terhubung ke keempat kelompok beban

pada kelompok beban #2 berupa lampu sorot *Zetalux* disimulasikan dengan komponen “*lamp*” dengan arus terbaca sebesar 1,03 A, beban terpasang pada kelompok beban #3 berupa kipas angin yang disimulasikan dengan komponen “*motor*” dengan arus terbaca sebesar 0,17 A, dan beban terpasang pada kelompok beban #4 berupa blender yang disimulasikan dengan komponen “*motor*” dengan arus terbaca sebesar 0,60 A. Uji verifikasi merupakan penentuan linearitas nilai arus dan tegangan. Tanggapan semua sensor tergantung kepada nilai setelan masukan yang diberikan. Program yang telah dibuat dan disimulasikan memberikan hasil sebagaimana diharapkan.

## 2. Uji validasi berupa pemberian beban-beban listrik sesungguhnya pada masing-masing jalur pasokan daya ke kelompok beban

Uji validasi berupa pengukuran kinerja melalui pemberian beban sesungguhnya pada setiap jalur daya kelompok beban, sehingga pemantauan pemakaian energi listrik dibuat dalam bentuk miniatur rumah kaca berukuran 40 cm x 30 cm x 20 cm sebagai tempat penyimpanan *Miniature Circuit Breaker (MCB)*, catu daya, rangkaian sensor tegangan dan arus, modul relai, rangkaian pengintegrasi sejumlah pin, *keypad*, *Liquid Crystal Display (LCD)* 4 x 20, dan *thermal printer*. Tampilan fisis sistem terintegrasi untuk pemantauan energi listrik yang terhubung ke keempat kelompok beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

Nilai *kWh* dan rupiah yang dibayarkan untuk masing-masing kelompok beban sesuai perubahan besar beban yang terpakai dan nilai Tarif Dasar Listrik (TDL) yang terbaru dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Besar beban terbaca oleh sensor arus yang terpasang dan dilalui arus listrik ke masing-masing kelompok beban dan menjadi faktor kali dengan nilai hasil sensor tegangan yang terbaca dan nilai TDL yang dapat dimasukkan dari *keypad*. Keluaran sensor tegangan dan masing-masing sensor arus dan nilai TDL menjadi masukan dan diproses dalam mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 untuk selanjutnya proses pembacaan hasil perhitungan

ditampilkan melalui *LCD* 20x4, dan dapat dicetak melalui *thermal printer*. Berbagai macam kondisi sistem yang dapat ditampilkan, yaitu: nilai *kWh* dan Rupiah masing-masing kelompok beban, masukan untuk perubahan nilai tarif, cetak hasil harian/bulanan, dan 4) penyetelan ulang.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Pengintegrasian dan pemrograman sistem berbasis mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 menunjukkan bahwa pengintegrasian sistem merupakan upaya untuk perolehan secara fisis sebuah sistem minimum untuk pemantauan energi listrik pada satu kWh-meter fase tunggal yang dihubungkan ke keempat kelompok beban. Sistem minimum yang diperoleh merupakan sistem terintegrasi dengan sejumlah modul dan peranti elektronika, yaitu modul mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3, board pengintegrasi sejumlah pin, modul sensor dan relai, LCD, thermal printer, dan catu daya. Kelompok beban divisualkan dalam bentuk pemasangan empat buah kotak kontak yang tersambung dengan empat macam beban listrik yang berbeda. Pemrograman terhadap sistem mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 dibuat berbasis bahasa pemrograman Arduino IDE yang didasarkan kepada metode PDH. Pemrograman mutlak diperlukan sebagai upaya untuk pemantauan energi listrik yang diserap oleh masing-masing kelompok beban, sehingga diperoleh kemudahan dalam pembagian biaya sesuai dengan jumlah kWh yang tercatat.

Hasil pemrograman diuji verifikasi melalui simulasi berbantuan aplikasi Proteus melalui penanaman program untuk perolehan tanggapan pada tampilan. Uji verifikasi merupakan penentuan linearitas nilai arus dan tegangan, sedangkan uji validasi merupakan pengukuran kinerja sistem berkenaan dengan tampilan nilai kWh dan rupiah yang dibayarkan untuk masing-masing kelompok beban sesuai perubahan besar beban yang terpakai dan nilai Tarif Dasar Listrik (TDL) yang terbaru. Keberadaan uji validasi digunakan juga sebagai uji untuk berbagai macam kondisi

sistem yang dibutuhkan, yaitu: 1) nilai kWh dan Rupiah masing-masing kelompok beban, 2) masukan untuk perubahan nilai TDL, 3) cetak hasil harian atau bulanan, dan 4) penyetelan ulang.

#### REFERENSI

- [1] T. Sidin dan U. Sutisna, "Perancangan Alat Penampil Rupiah pada kWh-meter Berbasis Mikrokontroler AT89S51," dalam *Iteks (intuisi Teknologi dan Seni)*, STT Wiworotomo Purwokerto, hlm. 205-218. [Online]. Tersedia di: <http://ejournal.stt-wiworotomo.ac.id/index.php/iteks/article/download/82/59>.
- [2] L. Subekti dan A.M. Akhyari, "Prototipe Sistem Prabayar Energi Listrik Untuk Kamar Kost Berbasis Mikrokontroler," dalam *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri (RAPI) XII 2013*, FT-UMS, hlm. E-52-E-61.
- [3] A. Goeritno, Sopyandi, dan R. Yatim, "Beban-beban Listrik Terkontrol melalui Minimum System Berbasis Payload Data Handling Berbantuan Mikrokontroler," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Informatika (SNATIF) ke-4 Tahun 2017*, Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus, hlm. 223-238. [Online]. Tersedia di: <http://jurnal.umk.ac.id/index.php/SNA/article/view/1270/882>.
- [4] 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]. Available: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/7378>.
- [5] L. Holt and C.J. Larson, "Consumers' Attitude toward Energy Conservation and Energy Efficiency: The Role of Electric," in *Florida Focus BEBR*, Vol. 4, No.4, November 2008, pp. 1-7. [Online]. Available: [https://www.bibr.ufl.edu/sites/default/files/Research%20Reports/floridafocus4\\_4\\_2008\\_0.pdf](https://www.bibr.ufl.edu/sites/default/files/Research%20Reports/floridafocus4_4_2008_0.pdf)
- [6] W.H. Hardy, "Introduction to Metering," in *Power Measurements Handbook*, 4<sup>th</sup> Printing. Gainesville, VA: Power Measurements, 2013, pp. 17-26.
- [7] G.W.D. Ricks, "Electricity Supply Meters," in *Journal of the Institution of Electrical Engineers*. 25 (120), (March 1896), pp. 57-77.
- [8] J.A. Fleming, *Magnets and Electric Currents*. New York, NY: Spon & Chamberlain, 1914, p. 335.
- [9] H.W. Beaty and D.G. Fink. "Electric and Magnetic Circuit," in *Standard Handbook for Electrical Engineers*, (Fourth Edition, First Printing). New York: McGraw Hill, 1915, pp. 58-59.
- [10] T. Croft and W.I. Summers, "Fundamental," in *American Electricians' Handbook* (Eleventh Edition). New York: McGraw Hill, 1987, pp. 1-8.
- [11] A. Goeritno, dan Y. Herutama, "Sistem Elektronis Berbantuan PC untuk Pemantauan Kondisi Pasokan Daya Listrik," dalam *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 14, No. 2, hlm. 96-104, Agustus 2018. DOI: <https://doi.org/10.17529/jre.v14i2.10904>
- [12] Sopyandi, A. Goeritno, dan R. Yatim, "Prototipe Sistem Pengontrolan Berbasis Payload Data Handling Berbantu Mikrokontroler Untuk Instalasi Listrik Rumah Tinggal," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI) V-2016*, Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti Jakarta, hlm. 331-337.
- [13] B. Massimo. *Getting Started with Arduino, Second Edition*. Sebastapol, CA: O'Reilly Media, Inc., September 2011, p. 20.
- [14] M. Margolis. *Arduino Cookbook*. Sebastapol, CA: O'Reilly Media, Inc., 2011, pp. 4-6.
- [15] S.F. Barret. *Arduino Microcontroller: Processing for Everyone, Part I*. San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2010, pp. 39-42.
- [16] B. Massimo and M. Shiloh. *Getting Started with Arduino, Third Edition*. Sebastapol, CA: Maker Media, Inc., 2015, pp. 18-19.
- [17] M.A. Aqeel. (2018, June, 30). *Introduction to Arduino Mega 2560: A complete step by step tutorial on the Introduction Mega 2560*. [Online]. Available: <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-mega-2560.html>.
- [18] R. Nataliani, F.X.N. Soelami, E.M. Budi, "Pembuatan Perangkat Keras dan Analisa Sub-Metering Konsumsi Energi Listrik," dalam *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, Vol. 6, No. 1, 2014, hlm. 25-34, [Online]. Tersedia di: <http://journal.engineering.or.id/index.php/joki/article/download/120/201>.
- [19] C. Prabowo, Zurnawita, "Rancang Bangun Alat Pemantauan Penggunaan Energi Listrik pada Laboratorium Mikrokontroler Politeknik Negeri Padang," dalam *Jurnal Teknik Elektro*, ITP, Vol. 5, No. 2, Juli 2016, hlm.149-152, [Online]. Tersedia di: <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/telekro/article/viewFile/359/378>.
- [20] J.S. Sebayang, Sj. Masykur, "Perbandingan kiloWatt Hour Meter Analog dengan kiloWatt Hour Meter Digital (Aplikasi pada PT PLN (Persero) Cabang Medan)," dalam *Singuda Ensikom*, Vol. 6, No. 1, Januari 2014, hlm 7-12, [Online] Tersedia di: [https://jurnal.usu.ac.id/singuda\\_ensikom/article/viewFile/5001/2919](https://jurnal.usu.ac.id/singuda_ensikom/article/viewFile/5001/2919)
- [21] D. Chestnut, (2017, August 07). *How to Calculate kVA from the Electric Bill*. [Online]. Available: <https://sciencing.com/how-8466219-calculate-kva-electric-bill.html>.
- [22] J. Axelson, *The Microcontroller Idea Book Circuits, Programs, & Applications featuring the 8052-BASIC Microcontroller*. Madison, WI: Lakeview Research, 1997, pp. 1-10.
- [23] S.F. Barret and D.J. Pack, *Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing*, San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2008, pp. 3-5.
- [24] 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.
- [25] Atmel. (2011). *8-bit AVR Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash*, Atmel Corporation, San Jose, CA. [Online]. Available: <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>.
- [26] Atmel. (2014, 02). *8-bit AVR Microcontroller ATmega32A Datasheet*. ATMEL Corporation, San Jose, CA. [Online]. Available: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf).

# Auskultasi Jarak Jauh untuk Pengukuran dan Perekaman Sinyal Suara Jantung

Eka Sari Oktarina, Ira Puspasari, dan Jusak Jusak  
Program Studi Sistem Komputer, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya  
Jl. Raya Kedung Baruk 98, Surabaya, 60298  
e-mail: ekasari@stikom.edu

**Abstrak**—Pada tahun 2014 *Sample Registration System (SRS)* mengeluarkan hasil survei yang menegaskan bahwa penyakit jantung merupakan penyakit nomor 2 (dua) tertinggi pada semua golongan umur dan merupakan penyakit tidak menular yang paling banyak diderita di Indonesia dengan *presentase* sebesar 12,9%. Dalam penelitian ini, teknik auskultasi jarak jauh dibangun dengan memanfaatkan jaringan global Internet sebagai media transmisi dan media penyimpan berbasis *Cloud*. Teknologi ini memungkinkan pengiriman sinyal suara jantung secara daring sehingga pengukuran dan perekaman sinyal jantung tetap dapat dilakukan untuk masyarakat daerah-daerah pedesaan di mana kehadiran dokter ahli sangat terbatas, sedangkan dokter ahli dapat berada di mana saja untuk melakukan analisis klinis. Hasil pengujian terhadap sistem tele-auskultasi menunjukkan bahwa rata-rata waktu tunda transmisi adalah 5,68 detik dengan rata-rata jumlah data hilang kurang dari 1% untuk pengiriman 1 sinyal suara jantung. Nilai rata-rata waktu tunda transmisi untuk pengiriman data sinyal jantung dengan 2 pasien secara simultan menunjukkan nilai yang lebih kecil. Hal ini mungkin disebabkan karena pengukuran waktu tunda transmisi dan jumlah data hilang sangat tergantung pada kondisi jaringan internet. Korelasi antara data sebelum dan sesudah ditransmisikan memiliki nilai mendekati 1 pada , hal ini berarti terdapat kemiripan yang sangat kuat antara data sinyal suara jantung sebelum dan sesudah transmisi.

**Kata kunci:** *tele-auskultasi, sinyal suara jantung, internet, Internet of Things, penyimpanan Cloud*

**Abstract**— In 2014, the *Sample Registration System (SRS)* released a survey showing that heart diseases can be categorized as the second highest non-communicable disease in Indonesia. The percentage is 12.9%. In this work, a tele-auscultation system for heart sound signals was built to transmit the signal over the global Internet networks and store them in a *Cloud* storage. Thus, the system allows measurement of heart sound signal for the rural area where the presence of expert is very scarce and helps the expert doctors to perform clinical analysis anywhere. Our examination showed that the system exhibited the average transmission delay of 5.68 second and data lost of only less than 1% for transmission of 1 heart sound signal. On the other hand, examination using two heart sound signals transmitted simultaneously showed that it displayed a smaller average of transmission delay. It may be caused by the measurement of the transmission delay as well as data lost that is depended on the traffic in the internet networks. Moreover, correlation of the heart sound signals before and after transmission showed a strong correlation where the correlation value is very close to 1 at, indicating that there is a strong similarity between the two signals.

**Keywords:** *tele-auscultation, heart sound signal, internet, Internet of Things, Cloud storage*

Copyright © 2018 *Jurnal Rekayasa Elektroika*. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kesehatan Republik Indonesia pada saat ini sedang mewaspadaikan tingginya kematian akibat Penyakit Jantung Koroner (PJK). Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh *Sample Registration System (SRS)* pada tahun 2014, penyakit jantung merupakan penyakit nomor 2 (dua) tertinggi pada semua golongan umur dari 10 (sepuluh) jenis penyakit tidak menular yang paling banyak diderita di Indonesia, yaitu sebesar 12,9% [1]. Untuk menghindari faktor resiko yang disebabkan oleh PJK tersebut, Kemenkes menghimbau masyarakat untuk melakukan cek kesehatan secara berkala disamping meningkatkan

kesadaran diri sendiri untuk menjauhi asap rokok, melakukan olah raga secara rutin, makanan yang sehat, istirahat cukup, dan kemampuan mengelola stress.

Bersamaan dengan hal itu, dalam beberapa tahun terakhir perkembangan teknologi informasi mengarah pada pemanfaatan *Internet of Things (IoT)* dalam bidang kesehatan [2]. Sebagai contoh, IoT dapat digunakan untuk melakukan pengambilan data dan pengukuran sinyal jantung secara jarak jauh, atau dikenal dengan istilah tele-auskultasi [3]. Beberapa keuntungan dari tele-auskultasi misalnya, pengukuran sinyal jantung dapat dilakukan untuk daerah pedesaan di mana kehadiran dokter ahli sangat jarang karena perangkat IoT memungkinkan pengiriman data sinyal jantung secara daring dengan

memanfaatkan jaringan komunikasi internet. Karena itu pemanfaatan IoT untuk pengukuran dan perekaman sinyal jantung berpotensi besar dalam membantu mengurangi resiko penyakit jantung di Indonesia. Selain itu, karena pemeriksaan fisik mewajibkan seorang Pasien membuka area bagian dada, maka dengan memanfaatkan perangkat IoT memungkinkan seorang dokter yang berbeda gender dapat melakukan pengamatan sinyal jantung secara daring sehingga privasi seorang Pasien dapat terjaga. Ketiga, keterbatasan fisik pendengaran seorang dokter selama melakukan pengukuran sinyal jantung dapat diatasi karena data sinyal jantung yang telah diambil dengan sensor elektronik tersimpan dalam sebuah komputer dan dapat ditampilkan ulang untuk kebutuhan analisis visual [4].

Penelusuran terhadap hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasi menunjukkan bahwa model dan teknik tele-auskultasi telah diusulkan dalam beberapa artikel. Sebagian besar teknik tele-auskultasi yang telah ada tersebut memanfaatkan teknologi komunikasi nirkabel sebagai media transmisi data/sinyal, secara khusus komunikasi nirkabel yang beroperasi pada frekuensi radio 2,4 GHz, sebagai contoh adalah penggunaan perangkat daya rendah yang dikeluarkan oleh Nordic Semiconductor [5]. Pengiriman sinyal hasil auskultasi juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor networks*) yang menggunakan protokol standar Zigbee. Jaringan Zigbee memiliki keuntungan dalam hal fleksibilitas jangkauan dan fleksibilitas pengembangan jaringan karena protokol ini berbasiskan jaringan jala (*mesh network*). Akan tetapi kekurangan dari jaringan Zigbee adalah lebar pita (*bandwidth*) maksimum yang dapat ditampung hanya sebesar 250 KB. Karena itu untuk pengiriman sinyal dalam bentuk streaming signal seperti halnya pada pengiriman sinyal jantung akan mengalami kendala, misalnya adanya waktu tunda (*delay*) transmisi yang cukup panjang [6].

Artikel lain mengusulkan model tele-auskultasi dengan memanfaatkan teknologi *Bluetooth* untuk transmisi sinyal untuk mengamati sinyal detak jantung seorang Pasien [7]. Dengan menggunakan teknologi *Bluetooth* proses pengiriman sinyal jantung tidak akan mengalami kendala yang berarti karena lebar pita dalam komunikasi *Bluetooth* cukup besar yaitu sebesar 2 Mbps. Karena itu model tele-auskultasi ini mampu memberikan pembacaan sinyal jantung cukup akurat. Namun model auskultasi dengan menggunakan *Bluetooth* memiliki keterbatasan jarak jangkauan pengiriman sinyal karena standar komunikasi *Bluetooth* hanya mengakomodasi jarak kurang dari 10 m. Untuk dapat mengirimkan sinyal pada jarak yang lebih jauh dibutuhkan bentuk teknologi komunikasi lain seperti keluarga IEEE 802.11 (WiFi) [8]. Sebagai contoh artikel dalam [9] menggunakan *Access Point* (AP) tunggal dan sebuah perangkat WiFi untuk mengirimkan sinyal-sinyal vital termasuk sinyal jantung selama pasien tidur.

Dalam penelitian ini sebuah model tele-auskultasi diusulkan untuk dapat melakukan transmisi sinyal jantung melalui jaringan Internet (*wide area networks*) dan selanjutnya melakukan perekaman sinyal jantung tersebut

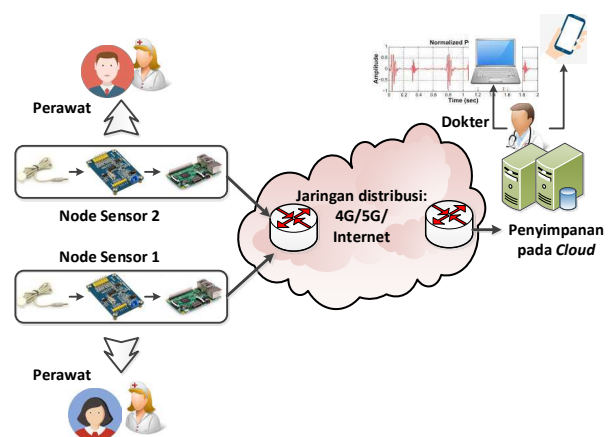
pada perangkat penyimpanan elektronik berbasis *Cloud* [10]. Berbeda dengan artikel-artikel penelitian sebelumnya yang hanya mampu melakukan proses tele-auskultasi dalam lingkup jaringan lokal (*local area networks*), penelitian ini lebih menitikberatkan pada pengiriman sinyal jantung dalam bentuk sinyal *Phonocardiograph* (PCG) secara streaming menggunakan jaringan luas internet. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, dimana data yang dikirim harus tersimpan terlebih dahulu dan bukan secara streaming [11].

Kontribusi utama dalam artikel penelitian ini antara lain: melakukan implementasi model tele-auskultasi sinyal jantung untuk transmisi data dengan menggunakan jaringan luas internet dan melakukan penyimpanan data sinyal jantung pada perangkat elektronik berbasis *Cloud*, dan melakukan perekaman 2 buah sinyal jantung dalam bentuk PCG secara simultan dan mengirimkan kedua sinyal jantung tersebut secara bersamaan melalui jaringan luas internet dan menyimpan data sinyal jantung pada basis data yang berada pada sebuah *Cloud*.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Model Sistem Tele-Auskultasi

Model sistem auskultasi jarak jauh (tele-auskultasi) ditunjukkan pada Gambar 1. Model ini mirip dengan model auskultasi diusulkan dalam [12], namun model tersebut digunakan untuk transmisi sinyal jantung dalam bentuk sinyal ECG. Seperti terlihat pada Gambar 1, sistem tele-auskultasi dibangun dengan menggunakan model komunikasi data *multipoint wireless sensor network*, yang terdiri atas 2 (dua) buah *device (node)* dengan 1 server yang terhubung dalam sebuah jaringan. Data sinyal suara jantung dapat dikirimkan dalam waktu yang bersamaan apabila proses pengukuran dilakukan untuk 2 (dua) orang Pasien secara simultan. Dalam proses transmisi, 2 (dua) buah node yang masing-masing terdiri atas sebuah sensor dan sebuah komputer mini mengirim data kepada sebuah penyimpanan elektronik yang ada pada sebuah sistem *Cloud*. Selanjutnya data dapat ditampilkan dalam sebuah website, yang dapat diakses dengan menggunakan sebuah



Gambar 1. Model sistem tele-auskultasi



perangkat perambah (*browser*) yang ada pada komputer atau perangkat genggam yang memiliki koneksi internet.

Data yang berasal dari node sensor 1 atau node sensor 2 masing-masing memiliki nomer ID untuk proses identifikasi data. Hal ini berguna untuk melakukan pemilahan data pada sisi penyimpanan elektronik apabila kedua sensor melakukan pengiriman data secara simultan. Data sinyal suara jantung disimpan pada sebuah basis data yang terdapat pada sebuah penyimpanan elektronik yang terletak pada sebuah sistem *Cloud* sesuai dengan nomer ID masing-masing.

Seperti terlihat dalam Gambar 1, pada saat proses perekaman sinyal suara jantung dilakukan, perawat/dokter dan pasien dapat melihat sinyal suara jantung yang dipresentasikan dalam bentuk grafik pada sebuah situs yang dapat diakses secara lokal. Namun secara bersamaan, sinyal suara jantung tersebut juga ditransmisikan melalui jaringan internet ke sebuah penyimpanan elektronik yang ada pada sebuah sistem *Cloud*. Dengan model auskultasi jarak jauh semacam ini, diharapkan kendala jarak dan waktu dapat teratasi.

Untuk tujuan pengamanan data sinyal jantung dari masing-masing pasien, maka data hanya dapat dimiliki oleh dokter pemeriksa yang berasosiasi dengan pasien saja. Karena itu setiap dokter memiliki hak akses tertentu ke dalam sistem. Tujuan utama dari proteksi sistem semacam ini dikarenakan hasil pemeriksaan jantung merupakan hak privasi dari setiap pasien. Seorang dokter dapat melakukan analisis secara langsung melalui grafik sinyal jantung dari pasien dan melakukan perbandingan hasil pemeriksaan dengan rekam jantung yang telah disimpan sebelumnya untuk mengetahui perkembangan kesehatan jantung setiap pasien.

#### B. Pengambilan Data Uji

Dalam proses uji coba sistem tele-auskultasi, digunakan 2 (dua) pasien dengan kondisi jantung yang berbeda sebagai subyek penelitian. Pengambilan data dilakukan selama 15 detik untuk setiap data sinyal suara jantung. Untuk kebutuhan analisis proses transmisi sinyal suara jantung, pengambilan data sinyal jantung dilakukan beberapa kali untuk setiap subyek, yaitu dengan melakukan perubahan terhadap jumlah sampel dalam satuan waktu tertentu, yaitu berturut-turut 500, 1000, dan 2000 sampel per detik.

Untuk menguji validitas pembacaan data sinyal suara jantung melalui perangkat yang telah dibuat, beberapa uji pendahuluan terhadap kondisi jantung para subyek penelitian telah dilakukan dengan melakukan konsultasi pada dokter ahli jantung, yaitu uji *electro-cardiograph* (ECG) dan uji *echo-cardiograph*. Kedua hasil uji tersebut menerangkan bahwa kedua pasien memiliki riwayat jantung sehat, sehingga sinyal yang dihasilkan adalah sinyal jantung normal. Pada *electro-cardiograph* sinyal diperoleh melalui pengukuran terhadap gelombang elektromagnetik yang mengalir pada tubuh, sedangkan pada *echo-cardiograph* sinyal diperoleh melalui analisis

sinyal suara jantung yang berasal dari bunyi katup jantung yang terbuka dan tertutup secara kontinyu serta secara langsung menampilkan gambar dari jantung secara detail menggunakan gelombang suara. *Phonocardiograph* (PCG) sinyal diperoleh dari analisis sinyal jantung yang berasal dari perekaman suara jantung melalui mikrofon yang ditempelkan pada dada dan terhubung pada alat perekam.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini terdiri atas 2 (dua) bagian utama, yaitu: tahapan implementasi dan pengujian sistem tele-auskultasi.

#### A. Tahapan Implementasi Sistem Tele-Auskultasi

Pada tahapan implementasi sistem tele-auskultasi ini, dilakukan beberapa tahapan diantaranya:

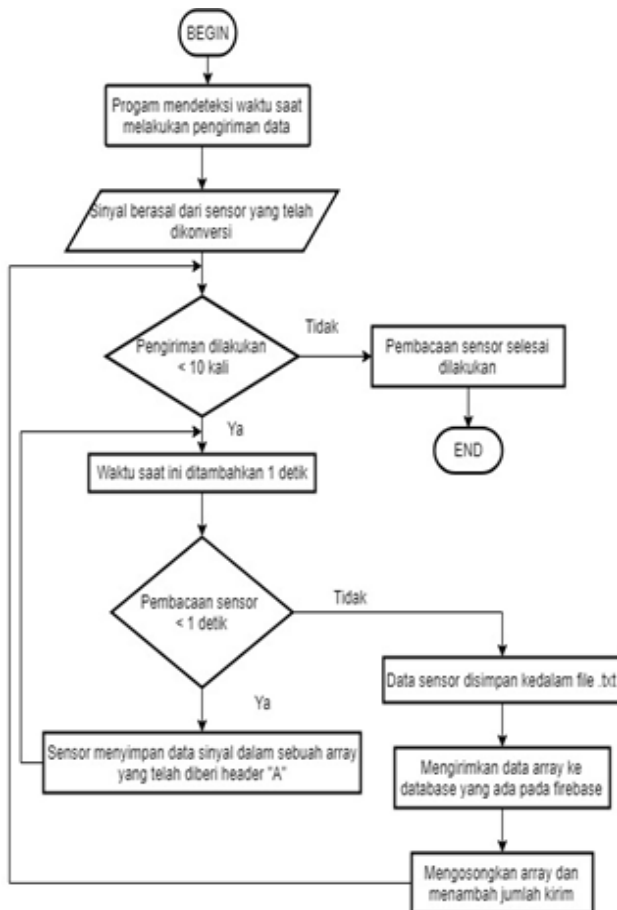
1. Langkah 1. Pengambilan data dengan menggunakan *node sensor*. *Node sensor* yang telah dibangun sebagai perangkat untuk pengambilan data PCG terdiri atas 3 buah modul yang meliputi: modul heart-sound sensor, modul pengkonversi sinyal analog menjadi sinyal digital (ADS 1256) dan sebuah modul mini komputer (Raspberry Pi 3 Model B). Bentuk perangkat *node sensor* yang telah dipaket sebagai sebuah model kompak terlihat pada Gambar 2.

Modul *heart-sound sensor* adalah sebuah sensor PCG dengan tipe SKU SEN42771M yang telah diproduksi oleh pabrik. Sensor SKU SEN42771M telah memiliki komponen *micro-sound* yang terintegrasi dengan keluaran audio berimpedansi rendah. Beberapa fitur dari heart-sound sensor SKU SEN42771M adalah sebagai berikut: (i) sinyal tegangan keluaran analog, (ii) sinyal audio berimpedansi rendah, (iii) rentang kelebihan beban 100 kali, (iv) memiliki anti-jamming. Kelebihan yang dimiliki oleh *heart-sound sensor* SKU SEN42771M, terutama dalam hal kemampuannya melakukan eliminasi terhadap gangguan (*noise*) selama proses pengambilan data.

2. Langkah 2. Konversi dan penyimpanan sementara data sinyal suara jantung. Data yang analog yang berasal dari *heart-sound sensor* diubah menjadi data digital dengan menggunakan perangkat pengkonversi analog ke digital, ADS 1256 dengan resolusi sebesar 24 bit. Perangkat ADS 1256 terhubung pada sebuah perangkat komputer papan



Gambar 2. Modul sebuah node sensor untuk pengambilan sinyal PCG



Gambar 3. Diagram alir pengiriman sinyal suara jantung untuk Pasien 1

tunggal (*single board computer*) melalui komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*). Pada penelitian ini digunakan komputer papan tunggal Raspberry Pi 3 Model B yang memanfaatkan pemroses utama *Quad Core* 1,2 GHz *Broadcom BCM2837 CPU* 64bit dengan memori sebesar 1 GB RAM.

3. Langkah 3. Pengiriman data melalui jaringan Internet ke sebuah basis data berbasis *Cloud*. Raspberry Pi 3 Model B telah dilengkapi dengan modul WiFi untuk memudahkan transmisi data melalui jaringan internet. Karena itu setelah proses pengambilan data dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan transmisi data sinyal suara jantung masing-masing pasien melalui jaringan internet ke sebuah

basis data berbasis *Cloud*. Dalam penelitian ini digunakan aplikasi berbasis *Cloud* yang bernama *Firestore*. Apabila pada suatu saat tertentu kedua node sensor digunakan untuk perekaman medis secara bersamaan, maka kedua data sinyal suara jantung akan dikirimkan ke basis data secara bersamaan pula.

4. Langkah 4. Penampilan data sinyal suara jantung pada situs *web*. Sebuah situs web telah disiapkan untuk menampilkan data sinyal suara jantung sehingga dokter dan perawat dapat melihat dan melakukan analisis lebih lanjut terhadap tindakan yang seharusnya dilakukan untuk seorang pasien. Data sinyal suara jantung dari setiap Pasien diambil dari basis data berbasis *Cloud*, yaitu *Firestore*. Namun karena data yang tersimpan dalam basis data merupakan data sinyal suara jantung dalam bentuk digital, maka dilakukan konversi dari data digital menjadi data analog sebelum data ditampilkan.

Secara keseluruhan ringkasan proses pengukuran dan perekaman sinyal suara jantung secara tele-auskultasi ditunjukkan dalam Tabel 1.

Untuk pengiriman data sinyal suara jantung dengan 2 orang pasien secara simultan, seperangkat protokol identifikasi diterapkan pada sistem tele-auskultasi dengan tujuan agar pengirim dan penerima dapat membedakan dengan baik masing-masing data sinyal jantung. Dengan protokol identifikasi ini, penerima dapat melakukan identifikasi dengan tepat data sinyal jantung mana yang merupakan data pasien 1 atau pasien 2. Sebagai contoh, diagram alir proses pengiriman sinyal suara jantung untuk pasien 1 ditunjukkan dalam Gambar 3. Dalam Gambar 3 terlihat bahwa untuk membedakan pengiriman data sinyal suara jantung pasien 1, protokol menyisipkan karakter *A* pada setiap pengiriman sebuah grup data sebagai hasil pengambilan data digital yang berasal dari *ADS 1256*. Dengan cara yang sama, pengiriman data sinyal jantung untuk pasien 2 protokol menyisipkan karakter *B*. Maka pada sisi penerima, protokol akan melakukan pemilahan sedemikian rupa sehingga setiap grup data yang diawali karakter *A* akan diidentifikasi sebagai data sinyal jantung pasien 1, sedangkan grup data yang diawali oleh karakter *B* akan diidentifikasi sebagai pasien 2. Protokol identifikasi untuk membedakan pasien 1 dan pasien 2 pada sisi penerima ditunjukkan dalam Gambar 4.

Tabel 1. Tahapan implementasi

Tahapan	Perangkat Pendukung	Masukan	Keluaran
1. Pengambilan data dengan node sensor.	- heart-sound sensor SKU SEN42771M. - ADC ADS 1256.	Sinyal analog suara jantung ( <i>Phonocardiograph</i> ) dari Pasien.	Sinyal digital suara jantung dari Pasien.
2. Konversi dan penyimpanan sementara data sinyal suara jantung.	Komputer papan tunggal Raspberry Pi 3 Model B.	Sinyal digital suara jantung dari Pasien.	Sinyal digital suara jantung dari Pasien.
3. Pengiriman data melalui jaringan internet ke sebuah basis data berbasis <i>Cloud</i> .	Modul WiFi pada komputer papan tunggal Raspberry Pi 3 Model B.	Sinyal digital suara jantung dari Pasien.	Penyimpanan sinyal digital suara jantung dari setiap Pasien pada basis data <i>Firestore</i> .
4. Penampilan data sinyal suara jantung pada situs web.	PHP untuk konversi sinyal dan pemrograman situs web.	Sinyal digital suara jantung dari Pasien.	Tampilan sinyal suara jantung analog dari setiap Pasien.

B. Pengujian Sistem Tele-Auskultasi

Pengujian terhadap kualitas sistem transmisi proses tele-auskultasi sinyal suara jantung dilakukan dengan menghitung jumlah waktu tunda transmisi (*transmission delay*) dan jumlah data hilang (*data loss*) untuk setiap subyek penelitian dengan jumlah pengambilan data per satuan waktu yang berbeda-beda. Nilai waktu tunda transmisi didapatkan dengan menghitung selisih waktu antara group data ke-*n* dengan *group* data *n*+1, karena itu waktu tunda transmisi yang dimaksud adalah *round trip time* (RTT) antara node sensor dengan perangkat penyimpanan pada *Cloud*. Sedangkan jumlah data hilang dihitung dengan cara menghitung jumlah data yang tidak terkirim melalui perbandingan antara data yang dikirim oleh *node sensor* terhadap data yang tersimpan pada perangkat penyimpanan *Cloud*. Selanjutnya, pengujian terhadap validitas sitem tele-auskultasi secara keseluruhan dilakukan dengan melakukan uji kemiripan sinyal menggunakan *Cross-Correlation Function* (XCF). XCF dirumuskan pada persamaan (1) sebagai berikut [13],

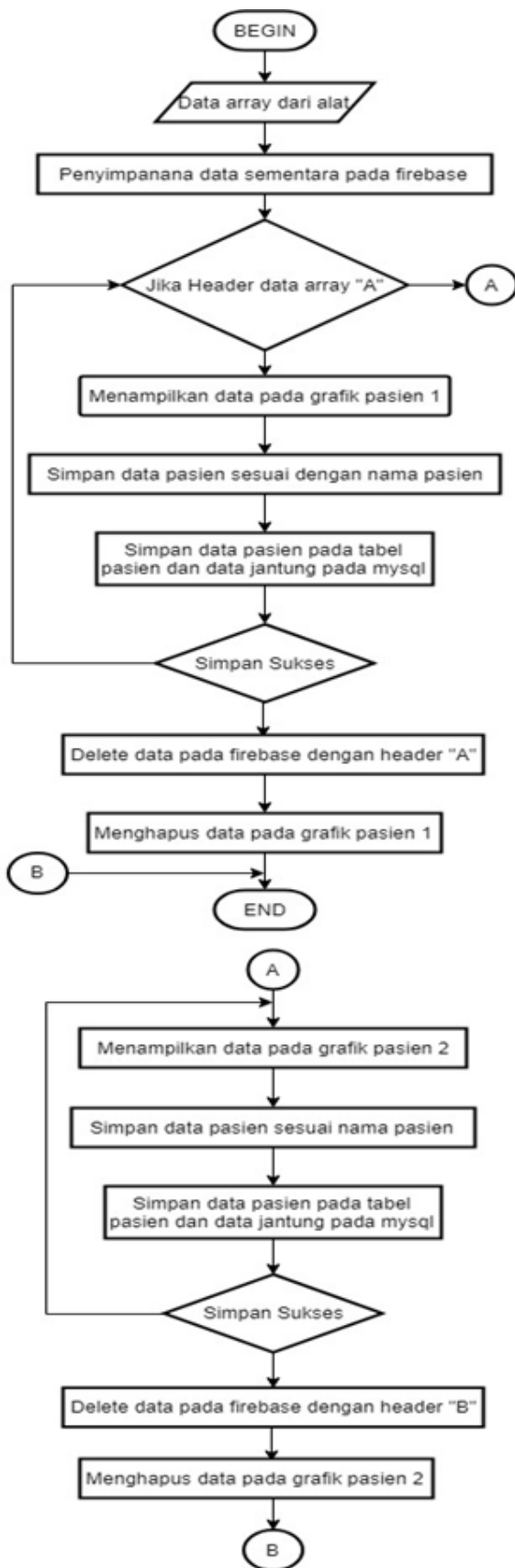
$$c_{S_1, S_2}(k) = \begin{cases} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T-k} (S_{1,t} - \bar{S}_1)(S_{2,t+k} - \bar{S}_2); k = 0, 1, 2, \dots \\ \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T+k} (S_{2,t} - \bar{S}_2)(S_{1,t-k} - \bar{S}_1); k = 0, -1, -2, \dots \end{cases} \quad (1)$$

Dalam persamaan (1),  $S_1$  dan  $S_2$  masing-masing adalah sinyal sebelum proses transmisi dan sinyal setelah transmisi, sedangkan  $\bar{S}_1$  dan  $\bar{S}_2$  adalah rata-rata dari masing-masing sinyal,  $T$  adalah jumlah sampel sinyal  $S_1$  atau  $S_2$ ,  $t$  adalah indeks waktu, dan  $k$  adalah jumlah lag antara sinyal  $S_1$  atau  $S_2$ .

Dalam penelitian ini pengujian terhadap waktu tunda transmisi dan jumlah data hilang dilakukan untuk berbagai variasi jumlah pencacahan, yaitu pencacahan dengan dengan jumlah 500 sampel per detik, 1000 sampel per detik dan 2000 sampel per detik untuk semua pasien. Untuk mendapatkan akurasi data yang memadai, pengambilan data terhadap setiap sampel dilakukan sebanyak 30 kali. Sehingga hasil akhir waktu tunda transmisi dan jumlah data hilang merupakan rata-rata dari seluruh jumlah sampel. Ringkasan hasil pengujian waktu tunda transmisi dan jumlah data hilang ditunjukkan dalam Tabel 2 untuk pengiriman sinyal suara jantung 1 orang Pasien. Sedangkan Tabel 3 menunjukkan ringkasan hasil pengujian waktu tunda transmisi dan jumlah data hilang untuk pengiriman

Tabel 3. Pengujian terhadap kualitas sistem transmisi, pengiriman sinyal suara jantung untuk 2 orang pasien secara simultan

Jumlah Sampel/ Detik	Rata-Rata Waktu Tunda Transmisi (dt)		Rata-Rata Jumlah Data Hilang (%)	
	Pasien 1	Pasien 2	Pasien 1	Pasien 2
500	5,58	2,99	1,70	0,10
1000	5,95	5,46	3,59	0,22
2000	4,31	4,39	3,53	0,28
Rata-rata	5,28	4,28	2,94	0,2



Gambar 4. Diagram alir pada sisi penerima untuk identifikasi sinyal suara jantung Pasien 1 dan Pasien 2

Tabel 2. Pengujian terhadap kualitas sistem transmisi, pengiriman sinyal suara jantung untuk 1 orang pasien

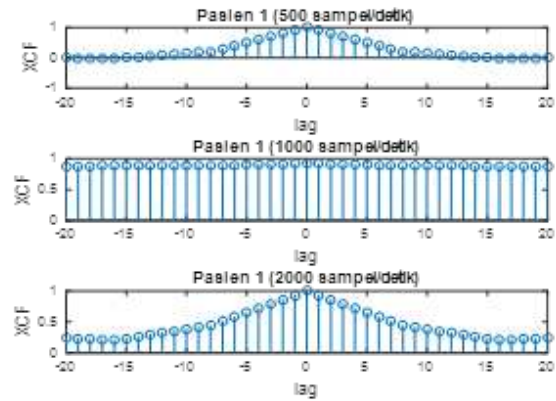
Jumlah Sampel/Detik	Rata-Rata Waktu Tunda Transmisi (dt)	Rata-Rata Jumlah Data Hilang (%)
500	5,91	0,60
1000	5,06	0,48
2000	6,07	0,53
Rata-rata	5,68	0,54

sinyal suara jantung 2 orang Pasien secara simultan.

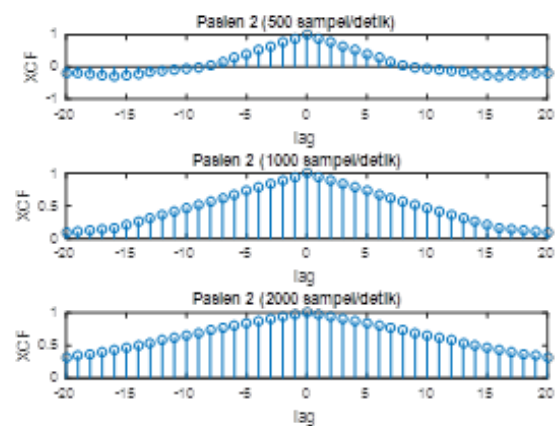
Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata waktu tunda transmisi untuk berbagai jumlah pengambilan sampel per detik berada di sekitar nilai 5,68 detik. Hal ini berarti bahwa waktu dibutuhkan mulai dari proses pengambilan data (stetoskop ditempelkan pada area jantung pasien) sampai data ditampilkan pada sebuah situs web adalah 5,68 detik. Dalam semua uji coba diketahui bahwa nilai waktu tunda transmisi bervariasi terutama disebabkan oleh kondisi jaringan internet. Pada kondisi jaringan dimana jumlah kongesti dalam jaringan internet sangat sedikit, waktu tunda transmisi dapat mencapai 0,93 detik. Namun pada kondisi jaringan terburuk waktu tunda transmisi dapat mencapai 20 detik. Secara keseluruhan rata-rata jumlah data hilang sangat kecil karena persentase jumlah data hilang untuk semua pengambilan dengan berbagai jumlah sampel per detik masih berada di bawah 1%. Karena persentase jumlah data hilang sangat kecil, maka diasumsikan bahwa jumlah data hilang tidak berpengaruh secara signifikan terhadap integritas data sinyal jantung secara keseluruhan dan karena itu tidak dilakukan *zero padding* (penggantian data dengan angka 0 untuk menggantikan data yang hilang) terhadap data hilang pada saat data sampai di sisi penerima.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pengiriman data sinyal jantung dengan 2 pasien secara simultan tidak mempengaruhi unjuk kerja sistem tele-auskultasi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai rata-rata waktu tunda transmisi yang tidak berbeda secara signifikan apabila dibandingkan dengan waktu tunda transmisi untuk pengiriman data sinyal jantung dengan 1 pasien saja seperti terlihat dalam Tabel 2. Bahkan nilai rata-rata waktu tunda transmisi untuk pengiriman data sinyal jantung dengan 2 pasien secara simultan menunjukkan nilai yang lebih kecil. Namun perlu dipahami, seperti dijelaskan sebelumnya, bahwa nilai waktu tunda transmisi sangat bergantung kepada kondisi jaringan internet pada saat uji coba dilakukan. Karena itu nilai rata-rata waktu tunda transmisi untuk Pasien 1 dan Pasien 2 dalam Tabel 3 memiliki nilai lebih kecil daripada nilai rata-rata waktu tunda transmisi dalam Tabel 2. Pada saat uji transmisi 2 buah sinyal suara jantung ditransmisikan secara simultan, nilai waktu tunda transmisi terendah adalah 0,91 detik yang mengindikasikan bahwa kongesti pada jaringan internet pada saat itu sangat sedikit. Sedangkan nilai waktu tunda transmisi terbesar adalah 16,16 detik pada saat kongesti di dalam jaringan internet sangat tinggi.

Sementara itu nilai rata-rata jumlah data hilang untuk



Gambar 5. Nilai XCF untuk Pasien 1



Gambar 6. Nilai XCF untuk Pasien 2

Pasien 1 dan Pasien 2 pada Tabel 3 menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Peningkatan rata-rata jumlah data hilang dalam Tabel 3 disebabkan oleh dua hal. Pertama, kemungkinan terjadi kehilangan data dalam antrian proses identifikasi data sinyal jantung untuk membedakan sinyal milik Pasien 1 atau Pasien 2. Terutama kehilangan data ini terjadi pada saat digunakan jumlah sampel per detik tinggi. Dalam penelitian ini jumlah sampel terbesar digunakan adalah 2000 sampel per detik. Kedua, data hilang mungkin juga disebabkan oleh adanya kehilangan data dalam jaringan.



Gambar 7. Tampilan sinyal suara jantung pada situs web untuk kedua pasien

Gambar 5 dan Gambar 6 masing-masing menunjukkan nilai XCF untuk Pasien 1 dan Pasien 2. Nilai XCF untuk berbagai variasi jumlah sampel per detik, untuk data sinyal suara jantung Pasien 1 dan Pasien 2, menunjukkan bahwa pada  $lag=0$  nilai XCF adalah mendekati nilai 1 untuk semua uji coba. Hal ini berarti bahwa terdapat kemiripan yang sangat kuat antara data sinyal suara jantung sebelum dan sesudah transmisi. Kesimpulan ini dikuatkan dengan rata-rata jumlah data hilang seperti terlihat dalam Tabel 2 kurang dari 1%. Sebagai catatan tambahan, nilai XCF untuk Pasien 1 dengan jumlah sampel sebesar 1000 sampel/dtk pada Gambar 5 menghasilkan nilai XCF yang mendekati 1 pada semua  $lag$ . Tampilan dalam situs *web* di sisi penerima (diasumsikan sisi penerima adalah dokter yang akan melakukan analisis lebih lanjut terhadap sinyal suara jantung) untuk kedua pasien dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan tampilan sinyal suara jantung dari 2 orang pasien yang ditampilkan secara simultan. Karena seluruh data tersimpan dalam basis data, maka seorang dokter ahli dapat melakukan analisis klinis terhadap kesehatan jantung para pasien pada sembarang tempat dan waktu. Selain itu dapat diartikan bahwa Gambar 7 (sinyal yang diterima) ini sama dengan sinyal yang dikirim, karena nilai XCF mendekati nilai 1.

#### IV. KESIMPULAN

Auskultasi sinyal suara jantung jarak jauh telah dibangun dalam penelitian ini dengan memanfaatkan jaringan internet sebagai media transmisi. Transmisi sinyal suara jantung dapat dilakukan oleh 2 sinyal PCG secara simultan yang mewakili kemungkinan implementasi perangkat untuk melakukan pengukuran dan perekaman data 2 orang pasien secara bersamaan. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa rata-rata waktu tunda transmisi dibutuhkan mulai dari proses pengambilan data sampai data ditampilkan pada sebuah situs *web* adalah 5,68 detik dengan rata-rata jumlah data hilang kurang dari 1% untuk pengiriman 1 sinyal PCG. Sementara itu nilai rata-rata waktu tunda transmisi untuk pengiriman data sinyal jantung dengan 2 pasien secara simultan menunjukkan nilai yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran waktu tunda transmisi dan jumlah data hilang sangat tergantung pada kondisi jaringan internet pada saat uji coba dilakukan. Uji validitas terhadap sistem tele-auskultasi secara keseluruhan menunjukkan bahwa korelasi antara data sebelum dan sesudah ditransmisikan memiliki nilai mendekati 1 pada  $lag=0$ . Dapat disimpulkan

bahwa terdapat kemiripan yang sangat kuat antara data sinyal suara jantung sebelum dan sesudah transmisi.

#### REFERENSI

- [1] DEPKES, Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, (view 3 September 2018). Tekan angka kematian melalui program Indonesia sehat dengan pendekatan keluarga [online]. Available: <http://www.depkes.go.id/pdf.php?id=17061600003>
- [2] Islam, S.M.R., Kwak, D., Kabir, MD. H., Hossain, M. and Kwak, K.S., "The Internet of Things for health care: a comprehensive survey," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 678-708, 2015.
- [3] Sa-ngasoongsong, A., Kunthong, J., Sarangan, V., Cai, C., and Bukkapatnam, S.T.S., "A low-cost, portable, high-throughput wireless sensor system for phonocardiography applications," *Sensors* vol. 12, no. 8, pp. 10851-10870, 2012.
- [4] Oktarina, E.S., Jusak, J., and Puspasari, I., "Transmisi nirkabel sinyal auskultasi suara jantung dengan menggunakan wireless Zigbee network," *Journal of Control and Network Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 106-112, 2015.
- [5] Shi, W.Y., Mays, J., and Chiao, J.C., "Wireless stethoscope for recording heart and lung sound," *Prosiding IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems (BioWireless)*, Austin, TX, USA, Jan. 2016, pp. 1-4.
- [6] Jusak, J. and Puspasari, I., "Wireless tele-auscultation for phonocardiograph signal recording through the Zigbee networks," in *Proc. IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)*, Bandung, Indonesia, Agt. 2015, pp. 95-100.
- [7] Izneid, B.A., Sukar, I., Ali, M., and Souiyah, M., "Development of wireless *Bluetooth* heart rate remote monitoring system," in *Proc. IET International Conference on Wireless Communications and Applications (ICWCA 2012)*, Kualalumpur, Malaysia, Okt. 2012, pp. 1-4.
- [8] Afdhal and Elizar, "IEEE 802.11ac sebagai standar pertama untuk Gigabit Wireless LAN," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 11, no. 1, pp. 36-44, 2014.
- [9] Liu, J., Chen, Y., Wang, Y., Chen, X., Cheng, J., and Yang, J., "Monitoring vital signs and postures during sleep using WiFi signals," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 2071-2084, 2018.
- [10] Afdhal, "Studi perbandingan layanan *Cloud Computing*," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 10, no. 4, pp. 193-201, 2013.
- [11] Jusak, J., Pratikno, H., and Putra, V.H., "Internet of Medical Things for cardiac monitoring: paving the way to 5G mobile networks," in *Proc. IEEE Int. Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT 2016)*, Surabaya, Indonesia. Des. 2016.
- [12] Yang, Z., Zhou, Q., Lei, L., Zheng, K., and Xiang, W., "An IoT-Cloud Based Wearable ECG Monitoring System for Smart Healthcare," *Jurnal of Medical System*, vol. 40, pp. 286, 2016.
- [13] Gubner, J.A., *Probability and Random Processes for Electrical and Computer Engineering*, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom, 2008.

# Pengendalian Kecepatan Gerak Quadcopter Berbasis IMU pada Gerakan Tangan dengan Metode Template Matching

Nofria Hanafi, Abdul Mu'iz Miftahudin, Naufal Ali Akbar C, dan R. Sanggar Dewanto  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Kampus PENS, Jl. Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
e-mail: hanafi@pens.ac.id

**Abstrak**—Wahana udara berpengerak 4 motor dc *brushless (quadcopter)* dioperasikan menggunakan *remote control* atau otomatis. Wahana udara dengan sebutan *quadcopter* dikendalikan dengan memanfaatkan data sensor *Inertial Measurement Unit (IMU)* terutama sensor akselerometer dan giroskop. Pengendali gerakan berupa tongkat kendali dengan data sensor IMU sebagai sumber data masukan. Pergerakan wahana udara merupakan pergerakan dua dimensi (2D) yaitu pada sumbu X dan Y. Data sensor IMU dibaca oleh mikrokontroler dan diproses untuk mendapatkan data akselerasi (akselerasi tanpa terpengaruh gravitasi) kemudian dilakukan pengintegralan ganda terhadap data real akselerasi untuk mendapatkan trayektori gerakan yang dilakukan oleh remote. Data hasil proses mikrokontroler dikirimkan ke PC (Personal Komputer) untuk proses rekognisi *gesture* dengan menggunakan metode *template matching*. Jarak pergerakan tongkat pengendali (*remote gesture inertia*) dan kecepatan mengoperasikannya merupakan parameter yang dikonversi menjadi gerakan wahana udara. Gerakan trayektori diubah dalam domain gambar berukuran 10x10 *pixel* sebagai pembandingan dengan algoritma *template matching*. Hasil gerakan rekognisi yang dikenali menjadi perintah *command* pergerakan ke *quadcopter*. Gerakan sederhana lurus vertikal, horizontal, diagonal, dan melengkung berhasil dilakukan dengan tingkat keberhasilan 96% menggunakan estimasi trayektori dan algoritma *template matching*.

**Kata kunci:** *Inertial Measurement Unit, Algoritma Template Matching, Quadcopter, Gesture inertia*

**Abstract**— An aerial vehicle has actuator four brushless DC motors (*quadcopter*) which is operated using a remote control or automatically. An aerial vehicle commonly called a *quadcopter* is controlled by using sensor data *Inertia Measurement Unit (IMU)* especially gyroscope and accelerometer sensor. Motion control is a stick control with sensor data IMU as data input. The motion from the aerial vehicle is a two-dimension (2D) motion from X axis and Y axis. Data sensor IMU is read by a microcontroller and will be processed to get real data acceleration (acceleration without influenced gravitation) remotely. The distance gesture inertia and the speed at which it operates are the parameter that is converted into an air vehicle motion. Trajectory motion is changed into picture domain 10x10 *pixel* as the comparison with the template matching algorithm. Match motion recognition is a motion command to the *quadcopter*. The simple motion like vertical, horizontal, diagonal, and curve match 96% using template matching algorithm and trajectory estimation.

**Keywords:** *Inertial Measurement Unit, Template Matching Algorithm, Quadcopter, Gesture inertia*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Wahana udara berpengerak motor dc *brushless* merupakan hasil rekayasa teknologi yang berkembang dengan pesat. Kebutuhan akan wahana dalam bidang ekonomi, pertahanan, sosial maupun *entertainment* dapat dilengkapi dengan bantuan wahana udara. Sepasang motor berotasi searah jarum jam dan sepasang motor lainnya berotasi berlawanan arah dengan jarum jam. Wahana udara memiliki pengendalian meliputi kecepatan motor dan sikap wahana [2]. Sikap wahana meliputi gerakan *roll, pitch, yaw*, dan akselerasi. Kecepatan putaran motor menentukan kecepatan pergerakan wahana udara. Pada

wahana udara dilengkapi dengan sensor inersia untuk menjaga kesetimbangan posisi pada saat bergerak yang terintegrasi pada kontroler. Pengendalian menggunakan *remote control* berbasis sinyal infra merah maupun *bluetooth* merupakan metode pengendalian nirkabel dengan jarak pendek. Pemanfaatan sensor sebagai *remote control* wahana dapat dikembangkan untuk wahana nirawak. Dengan memanfaatkan teknologi sensor IMU sebagai sumber masukan memungkinkan diketahui posisi dan percepatan gerakan tangan [3]. *Remote acceleration (remote gesture inertia)* menjadi bentuk pengembangan pengendalian *radio control* wahana menjadi lebih sederhana. Bagian utama pengendali adalah sensor

akselerometer yang dilengkapi dengan mikrokontroler. Hasil pembacaan sensor akselerometer dijadikan input *quadcopter* yang merupakan representasi gerakan tangan operator *gesture recognition* [5]. Selain digunakan untuk menentukan kecepatan pergerakan *quadcopter*, data dari *remote gesture* perlu algoritma *template matching* [7] dan *trayektori estimation* [1] serta proses *filter* untuk menghasilkan sebuah gerakan yang sesuai dengan perintah gerakan tangan.

II. STUDI PUSTAKA

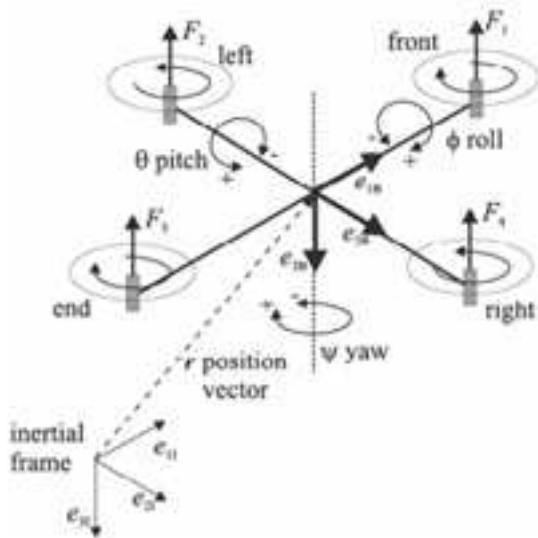
A. Wahana Udara

*Quadcopter* adalah wahana terbang tanpa awak dengan kemampuan *take-off* dan *landing* secara vertikal (VTOL). *Quadcopter* memiliki 2 *frame* yang beroperasi, diantaranya *inertial frame* yang didefinisikan sebagai *ground* atau area terbang dimana gravitasi ada pada sumbu z negatif dan *body frame* dan titik aksis dari rotor mengarah pada sumbu z positif dan lengan dari *quadcopter* pada sumbu x dan y. Gambar 1 memperlihatkan *frame* pada *quadcopter*.

Posisi dan kecepatan dari *quadcopter* pada *inertial frame* dapat didefinisikan sebagai  $x=(x,y,z)^T$  dan  $\dot{x}=(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})^T$ . Sedangkan *roll*, *pitch*, dan *yaw* dari *body frame quadcopter* dapat didefinisikan sebagai berikut  $\theta=(\phi, \theta, \psi)^T$  dengan catatan  $\omega \neq \dot{\theta}$ . *Angular velocity* merupakan vektor pada sumbu putar, dimana adalah turunan waktu dari *yaw*, *pitch*, dan *roll*.

$$\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s\theta \\ 0 & c\phi & c\theta s\phi \\ 0 & -s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix}, \tag{1}$$

dimana  $\omega$  adalah *angular velocity* pada *body frame quadcopter*. Relasi dari *body* dan *inertial frame* dapat dilakukan dengan melakukan rotasi matriks R dari *body frame* menuju *inertial frame*. Matriks ini menggunakan



Gambar 1. Frame pada *quadcopter* [ ]

ZYZ konvensi *euler angle*:

$$R = \begin{bmatrix} c\phi c\psi - c\theta s\phi s\psi & -c\psi s\phi - c\phi c\theta s\psi & s\theta s\psi \\ c\theta c\psi s\phi + c\phi s\psi & c\phi c\theta c\psi - s\phi s\psi & -c\psi s\theta \\ s\phi s\theta & c\phi s\theta & c\theta \end{bmatrix}, \tag{2}$$

dimana vektor  $\bar{v}$  pada *body frame* dan  $R\bar{v}$  pada *inertial frame*. Rotasi matriks R adalah *orthogonal*, sehingga  $R^{-1} = R^T$  yang merupakan matriks rotasi dari *inertial frame* ke *body frame*. *Quadcopter* yang dibuat, diasumsikan memiliki struktur simetris dengan empat lengan sejajar dengan sumbu x dan sumbu y. Dengan demikian, matriks inersia adalah matriks diagonal I dimana  $I_{xx} = I_{yy}$ .

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}. \tag{3}$$

B. Hand Motion Remote

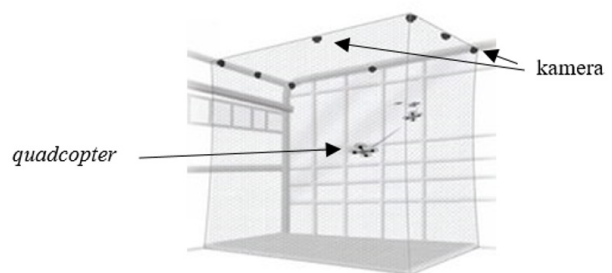
*Quadcopter* yang dikendalikan menggunakan tangan telah dikembangkan menggunakan beberapa kamera untuk mendeteksi gerakan tangan dan pengendalian gerakan pada *quadcopter*[3]. Pada pengembangan tersebut *quadcopter* mampu bergerak lebih bebas dan fleksibel dibandingkan dengan *remote RC*. Pada pengembangan ini mempunyai keterbatasan yakni *quadcopter* mempunyai area gerak yang terbatas atau bergerak di dalam ruangan yang telah dilengkapi kamera. Gambar 2 Berikut ialah ilustrasi area terbang *quadcopter* dengan *hand motion remote*.

III. METODE

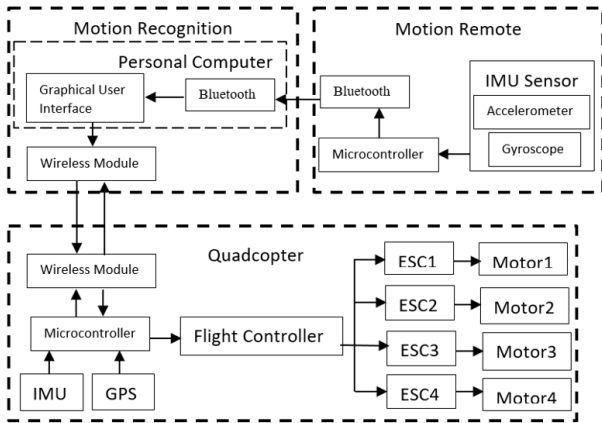
A. Sistem Pengendali Gestur Inersia

Penelitian ini bertujuan merekognisi terhadap gerakan yang dilakukan oleh pengendali (*motion remote*) untuk mengendalikan *quadcopter*. Pada penelitian ini terdapat 3 sub bagian yaitu *quadcopter* sebagai wahana udara, perekognisi gerakan pada *ground station* dan *motion remote* dengan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) beserta mikrokontroler sebagai pemroses data. Adapun bentuk diagram kerja sistem pengendalian *quadcopter* ditunjukkan pada Gambar 3.

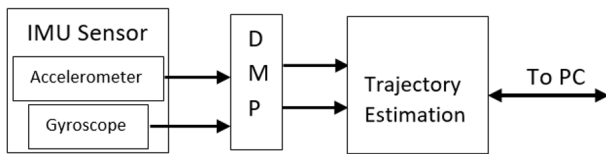
Pada sistem rekognisi terdiri dari dua buah algoritma yaitu estimasi trayektori dan rekognisi gestur. Algoritma



Gambar 2. Area terbang *hand motion remote control*



Gambar 3. Blok diagram rekognisi motion gerakan kontrol quadcopter



Gambar 4. Blok diagram program pada remote

estimasi trayektori menggunakan data akselerasi dan attitude dari sensor IMU (akselerometer dan giroskop) kemudian mengubah menjadi trayektori gerakan tangan. Algoritma rekognisi gestur akan mengklasifikasikan trayektori gerakan menjadi sebuah gestur yang telah didefinisikan.

**B. Algoritma Estimasi Trayektori**

Algoritma estimasi trayektori mengkonversi raw data sensor menjadi data trayektori dalam ruang 3-D serta plot pada bidang 2-D sesuai dengan bidang rekognisi yang ditentukan. Pada Gambar 5 ditunjukkan sistem koordinat pengendali, dimana diterapkan teori INS yaitu Koordinat Bodi (b) dan Koordinat Navigasi (n) dalam ruang 3-D. Koordinat navigasi (n) ialah titik start awal dari gerakan trayektori yang dilakukan. Sumbu  $X_n, Y_n,$  dan  $Z_n$  saling tegak lurus satu dengan yang lain dimana sumbu arah  $Z_n$  sejajar dengan arah gravitasi bumi. Kordinat Bodi (b) ialah koordinat dari bodi remote sehingga nilainya tidak akan berubah oleh adanya gerakan. Dan koordinat (b) akan sejajar dengan koordinat dari sensor IMU yang digunakan. Sumbu  $X_b, Y_b,$  dan  $Z_b$  saling tegak lurus satu dengan yang lain dimana sumbu arah  $Z_b$  sejajar dengan fisik bodi tongkat pengendali.

Gravitasi pada tiap aksis koordinat body didapatkan dengan memanfaatkan fitur digital motion processing dengan persamaan sebagai berikut:

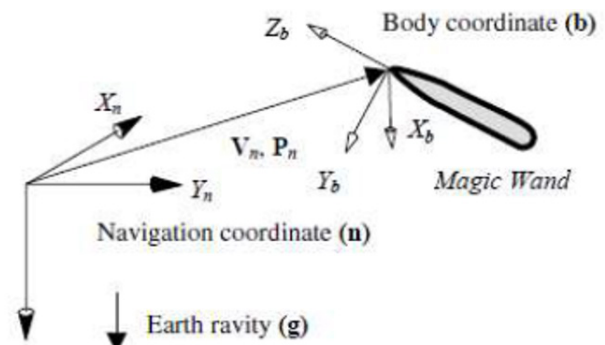
$$\text{Quaternion from DMP : } q = (q_w, q_x, q_y, q_z)^T$$

$$G_x = 2(q_x q_z - q_w q_y), \tag{4}$$

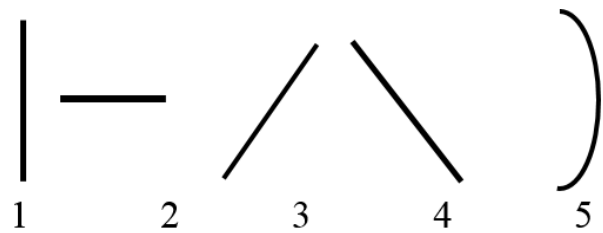
$$G_y = 2(q_w q_x + q_y q_z), \tag{5}$$

$$G_z = q_w q_w - q_x q_x - q_y q_y + q_z q_z, \tag{6}$$

dimana :  $G_x, G_y, G_z$  ialah gravitasi tiap aksis.



Gambar 5. Sistem koordinat tongkat pengendali [ ]



Gambar 6. Gerakan dasar 2D

Untuk memperoleh data real akselerasi juga diambil data akselerasi yang terbaca pada sensor akselerometer yang disimbolkan sebagai,

$$Areal_x = A_x - G_x, \tag{7}$$

$$Areal_y = A_y - G_y, \tag{8}$$

$$Areal_z = A_z - G_z, \tag{9}$$

dimana  $Areal_x, Areal_y, Areal_z$  ialah nilai akselerasi tanpa terpengaruh gravitasi.

Data input berasal dari hasil transfer mikrokontroler dan diolah pada ground station yang terdiri dari data akselerasi, kecepatan, posisi, dan orientasi. Bentuk gerakan rekognisi yang dimaksudkan ditunjukkan pada Gambar 6. Gerak dasar rekognisi dikelompokkan mejadi lima gerakan, yaitu :

1. Gerakan lurus horizontal
2. Gerakan lurus vertikal
3. Gerakan diagonal arah kanan
4. Gerakan diagonal arah kiri
5. Gerakan parabola/melengkung

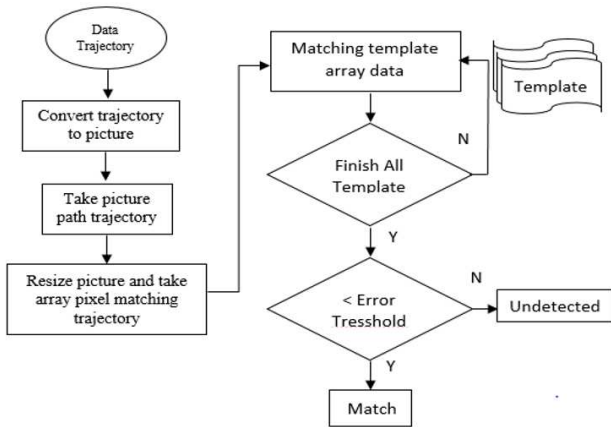
Gerakan yang telah direkognisi akan ditampilkan pada graphical user interface (GUI) berupa grafik gerakan dasar.

**C. Algoritma Template Matching**

Sistem rekognisi gestur inersia dirancang menggunakan algoritma picture based Template Matching untuk mengenali sebuah gerakan dengan algoritma ditunjukkan pada Gambar 7.

Data trayektori yang dikirimkan oleh mikrokontroler akan diubah kedalam domain gambar yang kemudian





Gambar 7. Diagram algoritma *template matching*

diproses hingga mendapat gambar dengan ukuran 10x10 *pixel* biner. Gambar kemudian akan dibandingkan dengan semua *template* yang juga berukuran 10x10, apabila ditemukan hasil *match error* dibawah *treshold* yang ditentukan maka gambar dikenali sebagai gambar *template*. Gambar 8 merupakan gambar hasil deteksi gerakan dimana bagian tengah *crop* terfokus dan bernilai 10x 10 piksel.

D. Wahana udara dan komunikasi

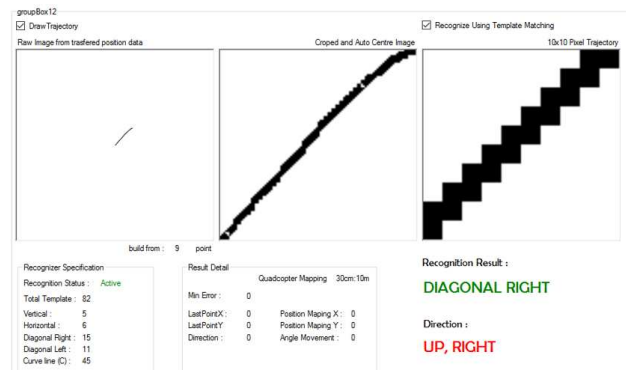
Desain *Quadcopter* yang digunakan pada penelitian ini berukuran 27cm x 27cm dan tinggi 20cm dengan model rangka yang berbentuk menyilang (*X frame*) yang ditunjukkan pada Gambar 9 sedangkan data header untuk perintah gerak disajikan pada Tabel 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

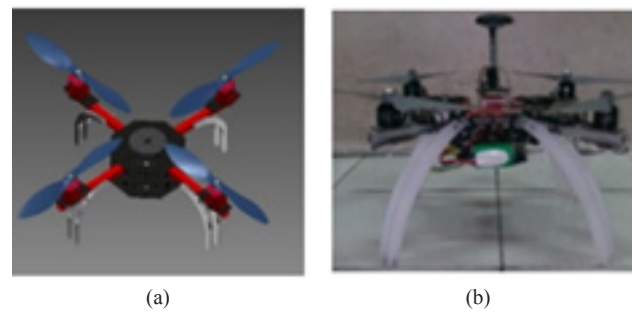
Data-data sensor perlu diperoleh terlebih dahulu untuk keperluan kalibrasi. Data sensor IMU yaitu sensor akselerometer merupakan data utama yang diperlukan sebagai referensi.

Dari Tabel 2 ditunjukkan saat keadaan diam nilai data sensor akselerometer bernilai sama dengan gravitasi sehingga riil akselerasi bernilai mendekati 0. Pada saat mengukur sumbu X data riil akselerasi tidak sama dengan nol sehingga diperlukan *threshold* untuk menentukan sensor dalam keadaan diam atau sedang bergerak.

Nilai gravitasi pada setiap aksis relatif konstan meskipun sensor digerakkan pada sumbu X secara bolak-balik dengan cepat (Gambar 10). *Magnitude* dari gravitasi terlihat konstan sebesar 1G tidak seperti *magnitude accelerometer* yang berubah saat ada gerakan. Akselerasi pada sumbu X terbaca bahwa terdapat gerakan bolak-balik namun selama orientasi tidak berubah maka pembacaan gravitasi relatif konstan, pada gambar terukur ada perubahan kecil nilai gravitasi saat sensor bergerak. Hal ini disebabkan algoritma *sensor fusion* yang mendeteksi ada perubahan orientasi karena adanya lonjakan data dari akselerometer namun algoritma yang dipakai dapat meredam efek perubahan akselerasi dengan cukup baik.



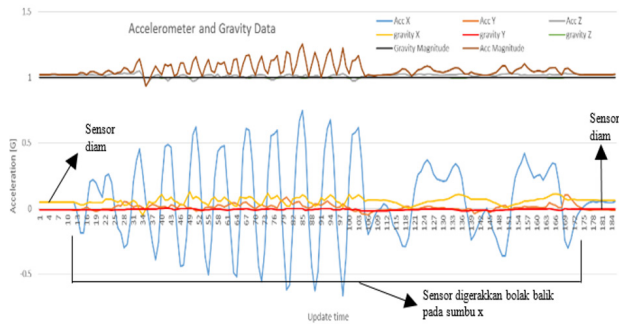
Gambar 8. Hasil deteksi gerakan kiri: raw data; tengah *crop* terfokus; 10x10 *pixel*



Gambar 9. (a) Rancangan (b) Realisasi *quadcopter*

Tabel 1. Rancangan data header yang dikirimkan ke *quadcopter*

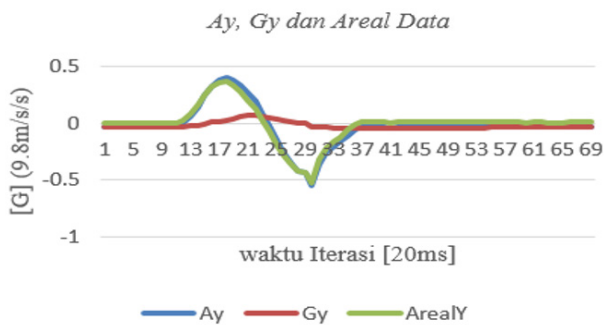
Gerakan	Arah	Header	Respon/gerakan yang diharapkan
Horizontal	→	‘K’	Quadcopter bergerak ke kanan
	←	‘L’	Quadcopter bergerak ke kiri
Vertikal	↑	‘M’	Quadcopter bergerak ke belakang
	↓	‘N’	Quadcopter bergerak ke depan
Diagonal kanan	↗	‘V’	Quadcopter bergerak ke kanan belakang
	↘	‘W’	Quadcopter bergerak ke kiri depan
Diagonal Kiri	↖	‘X’	Quadcopter bergerak ke kiri belakang
	↙	‘Y’	Quadcopter bergerak ke kanan depan
Curve/ melengkung (C)	↻	‘Z’	Quadcopter bergerak melengkung ke depan
Gerakan	Arah	Header	Respon/gerakan yang diharapkan
Command	-	“ID”	Quadcopter mengirimkan data String “Iquadcopter”
Command	-	‘A’	Quadcopter Landing
Command	-	‘B’	Putar/stop motor
Command	-	‘C’	Take off
Command	-	‘D’	Hover



Gambar 10. Nilai gravitasi bumi pada tiap aksis

Tabel 2. Tabel hubungan A, G, dan Areal

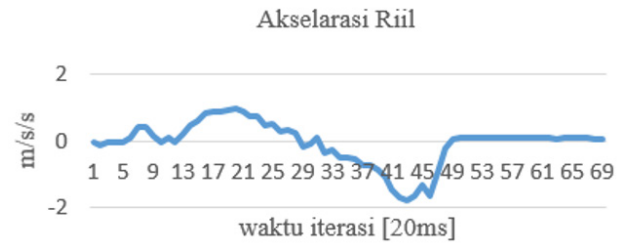
Sumbu pengukuran	Sudut pengukuran	Data akselerometer	Data gravitasi	Data real akselerasi
Y	± 0	-0.04	-0.04	0
Y	± 30	0.49	0.49	0
Y	± 60	0.87	0.87	0
Y	± 90	1	1	0
X	± 0	0.01	-0.01	0.02
X	± 30	0.53	0.52	0.02
X	± 60	0.93	0.89	0.04
X	± 90	1.04	1	0.04



Gambar 11. Hubungan data sensor akselerasi

Pada Gambar 11 ditunjukkan gambar grafik hubungan antara  $A_y$ ,  $G_y$  dan  $Areal_y$  saat sensor dalam keadaan bergerak ke arah Y positif. Pengujian sensor digerakkan ke arah sumbu Y positif dengan kondisi sensor sejajar bumi (+ - 00). Pada grafik saat iterasi 0-10, sensor dalam keadaan tidak bergerak, semua komponen pengukuran bernilai mendekati nol sedangkan dari iterasi 11-37 sensor digerakkan ke arah sumbu Y positif terukur bahwa nilai dan bernilai positif (mengalami percepatan) dan kemudian berubah menjadi negatif (mengalami perlambatan) dan kembali diam, nilai  $G_y$  relatif konstan dikarenakan  $G_y$  ialah nilai gravitasi dan  $G_y$  nilai akan bernilai konstan selama orientasi sensor tidak berubah jika mungkin.

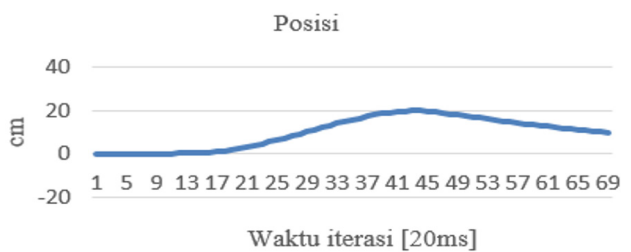
Data riil akselerasi yaitu data akselerasi sesungguhnya tanpa terpengaruh percepatan gravitasi, data real akselerasi didapat dari pengolahan data attitude dan data akselerasi yang dibaca oleh sensor (algoritma estimasi trayektor). Pengujian ini dilakukan dengan menggerakkan sensor ke arah sumbu Y positif sensor, grafik Gambar 12 ialah



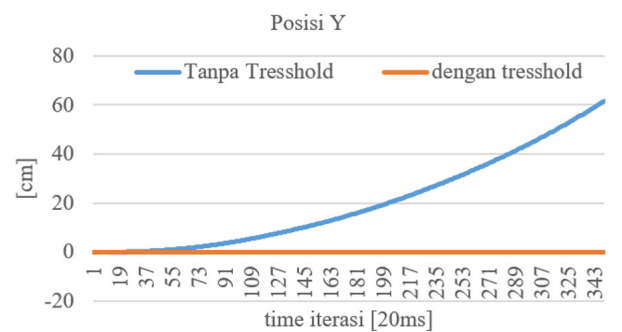
Gambar 12. Grafik riil akselerasi



Gambar 13. Grafik kecepatan (integral dari riil akselerasi)



Gambar 14. Grafik posisi (integral dari kecepatan)

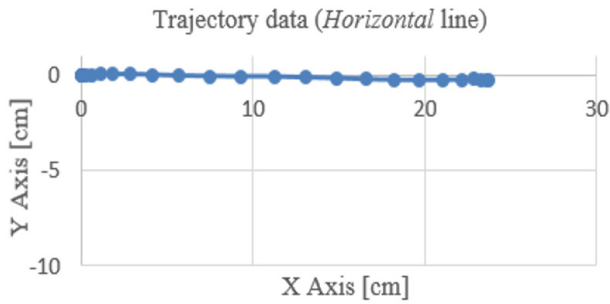


Gambar 15. Grafik posisi dengan dan tanpa threshold

hasil pembacaan data *real* akselerasi. Pada Gambar 13 ditunjukkan grafik kecepatan yang didapat dari pengintegralan nilai *real* akselerasi yang bersumber dari data tersaji pada Gambar 12. Dan Gambar 14 ialah gambar grafik perpindahan posisi yang didapat dari hasil pengintegralan ganda data *real* akselerasi.

Tiga grafik (Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14) menunjukkan hubungan antara *real* akselerasi, kecepatan, dan posisi. Pada grafik posisi iterasi ke 43 terjadi posisi diam wahana udara namun pada aktual pengukuran terjadi pergeseran ke arah negatif (posisi berkurang). Hal ini disebabkan oleh *error* pengintegralan ganda (Gambar 15 iterasi 43) dan akan terus mengakumulasi *error* integral.

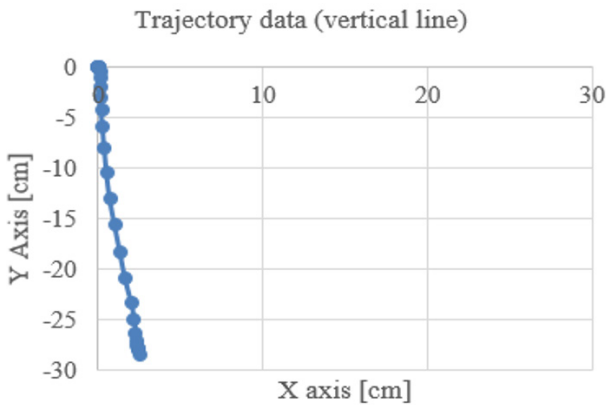
Efek *error* integral tidak begitu terlihat dikarenakan estimasi posisi hanya dicari saat adanya penekanan tombol (*pushbutton*) pada *remote gesture* inersia atau *remote* kendali dan waktu penggerakan sensor juga relatif



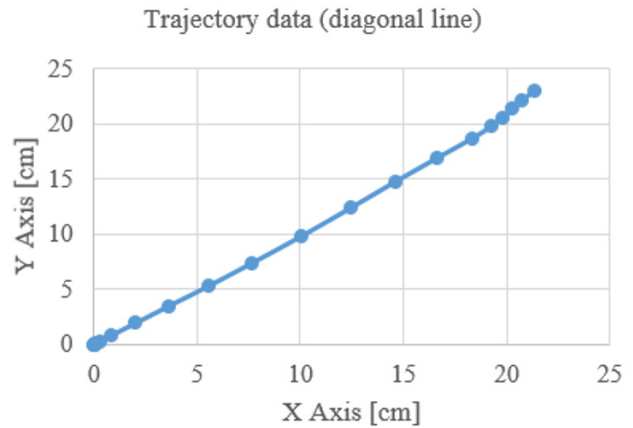
Gambar 16 Grafik trayektori lurus horizontal

Trajectory data (vertical line)

Gambar 16. Grafik trayektori lurus horizontal

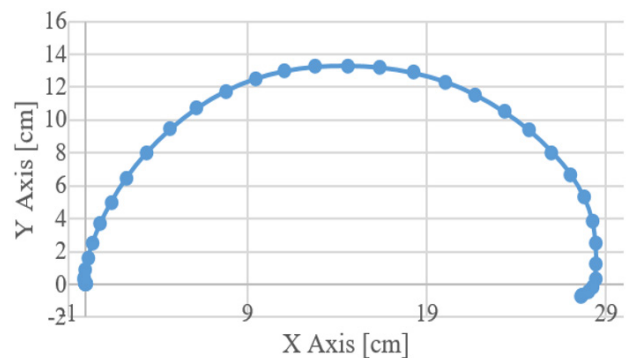


Gambar 17. Data trayektori garis lurus vertikal



Gambar 18. Data trayektori garis lurus diagonal

Trajectory Data (curve line)



Gambar 19. Data trayektori garis melengkung terhadap sumbu x

pendek, selain itu pada penelitian ini juga digunakan *threshold* gerakan untuk mengkompensasi *error* integral yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 15.

Karakterisasi pengendali gerakan wahana udara memanfaatkan sensor akselerometer yang berada pada sensor *Inertial Measurement Unit*. Untuk mendapatkan gerakan lurus digunakan media pengujian yang menjaga gerakan tangan lurus dengan kecepatan yang berbeda.

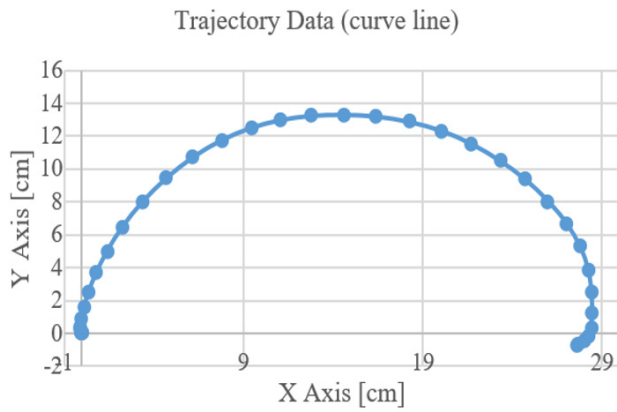
Data pada Gambar 16 terjadi *error drift* sumbu Y yang kecil yakni sebesar 0,25 cm dan sudah dapat dihilangkan. *Error drift* ini dapat disebabkan masih terdapat *noise* pembacaan real akselerasi pada sumbu Y yang perlu dihilangkan. Selain itu alat bantu ukur yang dipakai juga tidak dapat mengatur atau menentukan arah hadap sensor dengan pasti sehingga memungkinkan arah hadap sensor yang sedikit miring atau tidak sepenuhnya horizontal terhadap lintasan lurus yang digunakan untuk pengambilan data sehingga terdapat pembacaan real akselerasi pada sumbu Y, sedangkan pada pembacaan data pada sumbu X, panjang garis horizontal yang terdeteksi yakni sekitar 24 cm yang berarti terdapat *error* sebesar 6 cm terhadap referensi (30cm) hal ini juga mungkin disebabkan pengolahan data untuk mendapatkan nilai real akselerasi yang kurang baik serta arah hadap sensor belum sepenuhnya tepat, selain itu proses pengintegralan ganda memang dikenal menghasilkan *error* yang semakin besar seiring berjalannya waktu.

Pengambilan data secara vertikal ditunjukkan pada

Gambar 17 sama halnya dengan pengambilan data horizontal digerakkan sepanjang 30cm, namun perbedaan terdapat pada arah hadap sensor yang diubah menjadi vertikal. Terjadi kesalahan *error drift* sumbu x sekitar 2.5 cm, hal ini dikarenakan terdapat *noise* pada pembacaan akselerasi riil. Arah hadap sensor tidak tegak lurus vertikal menjadi faktor utama terjadinya *error drift* pada saat pembacaan akselerasi riil sumbu X, sedangkan pembacaan pada sumbu Y, panjang garis horizontal terukur 28 cm dengan kesalahan terukur 2cm terhadap referensi 30cm.

Grafik pada Gambar 18 menunjukkan titik akhir dari *trayektori* diagonal berada pada (21.3, 23) dari titik tersebut maka dapat dihitung panjang garis diagonal yang terlihat pada gambar dengan rumus pitagoras  $x^2+y^2=k^2$  dengan  $x$  = letak titik akhir sumbu X,  $y$  = letak titik akhir sumbu Y, dan  $k$  ialah panjang garis diagonal yang dicari. Sehingga  $21.3^2+23^2=k^2$  ;  $k = 31.3$ cm yang berarti *error* jarak yang terjadi terhadap referensi (30cm) sebesar 1,3cm. Sama seperti dua data sebelumnya hal ini juga mungkin disebabkan pengolahan data untuk mendapatkan nilai *real* akselerasi yang kurang baik, selain itu proses pengintegralan ganda memang dikenal menghasilkan *error* yang semakin besar seiring berjalannya waktu.

Pada Gambar 20 (*trayektori* lingkaran) titik awal garis yakni berada pada titik (0,0) dan kemudian membentuk gerakan memutar searah jarum jam dan berakhir pada titik (-1,5, 0). Tidak seperti percobaan horizontal, vertikal dan diagonal yang memiliki referensi yang pasti, gerakan



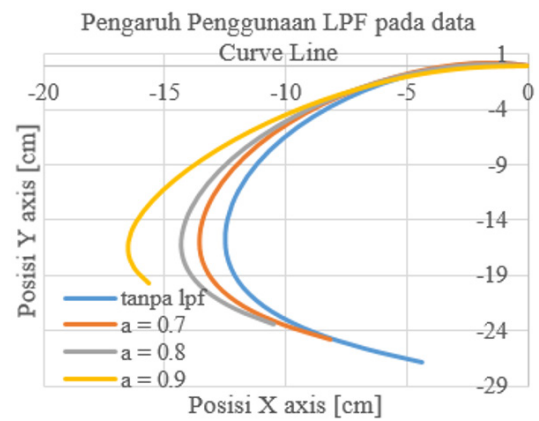
Gambar 20. Data trayektori melingkar

Tabel 3. Perbandingan penggunaan *low pass filter* pada estimasi trayektori

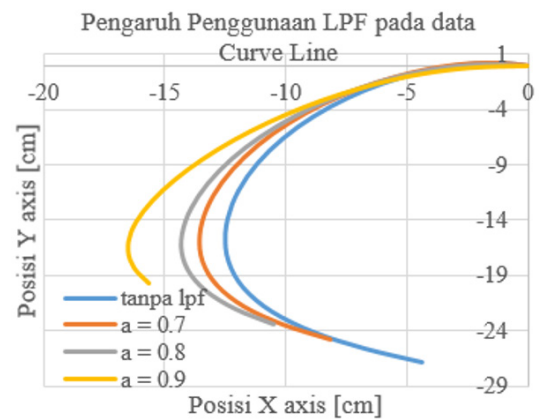
iterasi	LPF $\alpha = 0.3$		Tanpa LPF	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0.01	0	0.02	0
4	0.06	0.01	0.10	0.02
5	0.18	0.03	0.30	0.05
6	0.42	0.06	0.67	0.10
7	0.84	0.12	1.24	0.17
8	1.48	0.19	2.08	0.26
9	2.36	0.29	3.15	0.39
10	3.40	0.43	4.34	0.55
11	4.56	0.59	5.61	0.72
12	5.82	0.76	6.99	0.91
13	7.24	0.94	8.61	1.08
14	8.91	1.12	10.52	1.27
15	10.78	1.31	12.55	1.48
16	12.69	1.53	14.47	1.72
17	14.54	1.77	16.31	1.96
18	16.30	2.01	18.01	2.19
19	17.92	2.24	19.54	2.41
20	19.39	2.47	20.94	2.64
21	20.70	2.71	22.11	2.89
22	21.78	2.97	23.01	3.15
23	22.66	3.23	23.78	3.41
24	23.43	3.50	24.49	3.67
25	24.13	3.77	25.17	3.95
26	24.80	4.05	25.83	4.24

pada percobaan ini hanya menggunakan referensi gerakan melingkar yang dilakukan oleh tangan manusia, sehingga tidak dapat diketahui dengan pasti *error* aktual yang terjadi, akan tetapi dari data Gambar 20 diatas terlihat bahwa lintasan berbentuk lingkaran sesuai dengan referensi yang diberikan.

Pengujian *filter* untuk trayektori gerakan menggunakan *low pass filter* pada data output sensor akselerometer menggunakan fitur DMP dibandingkan dengan tanpa



Gambar 21. Pengaruh *low pass filter* pada data gerakan melengkung



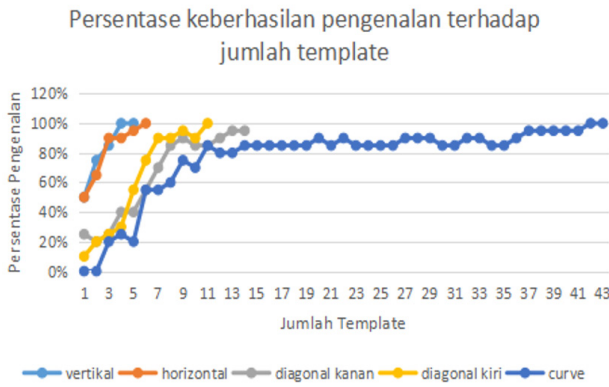
Gambar 22. Pengaruh penggunaan *threshold* gerakan pada gerak horizontal

adanya *filter*. Data keluaran dari fitur DMP (tanpa *filter*) mempunyai trayektori yang lebih akurat dalam hal panjang searah dengan referensi (gerakan ke arah sumbu X sejauh 30cm) dengan perbedaan 1,03cm lebih panjang dari data terfilter, akan tetapi terjadi pergeseran 0,19cm lebih besar dibandingkan dengan data dengan menggunakan *low pass filter* dengan nilai  $\alpha = 0,3$  ditunjukkan pada Tabel 3.

Perbandingan penggunaan *low pass filter* dengan nilai  $\alpha$  yang berbeda-beda pada gerakan *curve*/melengkung. Pada Gambar 21 ditunjukkan bahwa dari seluruh pengujian penggunaan *low pass filter* ini diketahui bahwa semakin kecil nilai  $\alpha$  maka trayektori yang dibangun akan semakin mendekati data asli (tanpa *low pass filter*) dikarenakan sinyal keluaran *low pass filter* akan mendekati *input* dengan semakin kecilnya nilai  $\alpha$ .

Data pada Gambar 21 menunjukkan bahwa penggunaan *filter* tidak selalu menghasilkan data yang lebih baik, hal ini perlu disesuaikan dengan kebutuhan sistem yang dibangun. Penggunaan *threshold* mempunyai kelebihan terutama dalam mengurangi efek akumulasi eror integral saat dalam keadaan diam namun juga mempunyai kekurangan yakni sistem menjadi tidak dapat membaca gerakan-gerakan dengan nilai yang kurang dari *threshold* (gerakan pelan) seperti yang terjadi pada Gambar 22 garis kuning (*threshold* sebesar 0,2m/s atau 20cm/s) gerakan yang dibaca menjadi sangat pendek dan jauh dari referensi yang diberikan yakni gerakan sepanjang 25cm.

Pada data tanpa *threshold* tersaji pada Gambar 22



Gambar 23. Persentase keberhasilan pengenalan terhadap jumlah template (garis lurus vertikal)

Tabel 4. Data persentase keberhasilan pengenalan garis (garis curve C)

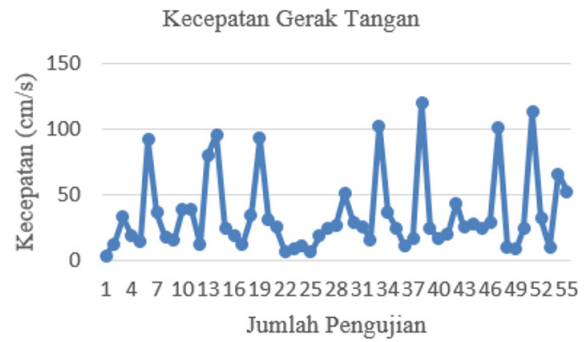
Gerakan	Hori- zon	Verti- kal	Diag- onal kanan	Diag- onal kiri	Curve	Total
Template	6	5	14	11	43	79
Jumlah gerakan	30	30	30	30	30	150
Jumlah salah	0	0	2	0	4	6
Jumlah Benar	30	30	28	30	26	144
Persentase benar	100%	100%	93%	100%	87%	96%

(garis biru) tidak dapat dikategorikan ke dalam garis horizontal dikarenakan terjadi pembelokan menuju y aksis negatif dan nilai x juga semakin menuju negatif yang berarti kecepatan gerak pada akhir garis tanpa *threshold* juga bernilai negatif dan semakin lama semakin besar karena terus mengakumulasi kesalahan (*error integral ganda*). Pada garis abu-abu dan oranye lintasan/trayektori yang dihasilkan mempunyai panjang dan bentuk yang mendekati/sesuai dengan referensi. Hal ini dikarenakan nilai *threshold* yang baik (tidak terlalu besar/kecil) sehingga mampu untuk meredam efek *error integral* dan mampu membaca gerakan yang relatif pelan.

A. Pengujian Rekognisi Gerakan

Pengujian pengambilan pengenalan gerakan ini dibagi menjadi enam sub pengujian yakni pengujian pengenalan garis vertikal, pengenalan garis horizontal, pengenalan garis diagonal kanan, pengenalan garis diagonal kiri, pengenalan garis melengkung/parabola/*curve* dan pengujian keseluruhan proses pengenalan.

Data didapat dari menggerakkan *remote/sensor* berupa gerakan garis vertikal (pada bidang X dan Y) yang dilakukan dengan cara menggerakkan *remote* dengan menggunakan tangan manusia (*free hand movement*) yang kemudian direkognisi menggunakan algoritma *template matching*. Semakin banyak jumlah *template* maka persentase ketepatan juga semakin meningkat. Namun demikian di titik/jumlah tertentu ketepatan sudah tidak bertambah/konstan (maksimum) sehingga apabila



Gambar 24. Pengujian *remote* pengendali *gesture inertia*

*template* ditambah lagi dengan pola vertikal yang lain maka tidak akan berpengaruh pada presentase ketepatan namun justru akan menambah proses/komputasi pengenalan yang berlebih sesuai dengan proses pengenalan.

Untuk setiap jumlah *template* dilakukan gerakan sebanyak 20 kali kemudian dihitung presentasi kecocokan terhadap referensi gerakannya (gerakan vertikal) yang ditunjukkan pada Gambar 23. Pengujian *template matching* horizontal memiliki hasil yang tidak jauh berbeda dengan pengujian pada *template* vertikal. Data pengujian *template* horizontal disajikan pada Gambar 23.

Pengujian garis diagonal kanan ini didapati bahwa jumlah *template* yang digunakan lebih banyak dibandingkan garis vertikal maupun horizontal, hal ini dikarenakan variasi *pixel* yang dapat menyusun sebuah garis diagonal lebih banyak dibandingkan dengan garis horizontal atau garis vertikal. Pada pengujian ini juga didapat bahwa seiring bertambahnya jumlah *template* yang digunakan persentasi rekognisi juga semakin tinggi. Pada saat *template* yang digunakan berjumlah delapan, data mulai menunjukkan keadaan yang konstan yakni ketepatan >85%, pada pengujian dengan jumlah *template* sebesar 14 persentase pengenalan yang didapat yakni sebesar 95% yang ditunjukkan pada Gambar 23. Pengujian untuk *template matching* diagonal ke kiri memiliki nilai prosentase yang tidak jauh berbeda dengan pengenalan *template matching* pada gerakan diagonal ke kiri. Namun kesamaan sudah diperoleh pada saat jumlah *template* 11 dan ditunjukkan pada Gambar 23.

Pengujian pengenalan garis *curve* menggunakan gerakan yang berbeda dengan empat macam gerakan lurus yang sebelumnya.

Pada Tabel 4 ditunjukkan hasil pengujian yang dilakukan dengan jumlah *template* tertinggi yang digunakan yakni sebanyak 43 *template* dan menghasilkan persentasi ketepatan sebesar >95%. Pada Gambar 23 ditunjukkan data grafik persentasi ketepatan pengenalan terhadap jumlah *template* untuk gerakan melengkung/*curve*.

Pengujian kecepatan *remote gesture inertia* untuk kecepatan gerakan quadcopter tersaji pada Tabel 5. Pengujian gerakan *remote gesture inertia* yang ditunjukkan pada Gambar 24 sebagai pengendali dimaksudkan agar diperoleh data referensi untuk konversi ke dalam bentuk kecepatan wahana udara. Pengujian dilakukan sebanyak

Tabel 5. Pengujian remote gesture inerti untuk kecepatan *quadcopter*

Arah Gerak	Gerakan Tangan		Quadcopter	
	Jarak (cm)	Kecepatan (cm/s)	PWM (%)	Kecepatan (cm/s)
Kiri	23.2	18.142	68.33	92.5
	29.41	71.886	179.73	243.3
	30.23	104.784	285.64	520.6
	36.87	122.023	375.16	507.2
	58.13	127.283	419.80	566.8
Kanan	12.67	30.056	92.24	124.47
	47.78	26.921	105.57	142.83
	39.98	76.04	252.58	340.9
	122.1	30.652	302.79	461.9
	60.23	127.627	420.45	630.6
Depan	32.45	35.128	120.17	162.30
	20.56	97.395	201.46	260.9
	41.77	80.62	263.58	350.8
	60.12	42.822	300.66	405.88
	37.98	124.833	393.68	531.7
Belakang	40.12	27.756	98.62	132.53
	24.22	98.368	234.39	316.58
	42.43	77.728	260.39	351.76
	61.65	44.087	353.65	477.58
	48.77	145.438	438.12	580.6
Diagonal	20.17	15.904	64.33	86.58
	28.14	40.471	140.36	189.4
	40.65	70.952	244.39	330.1
	62.88	42.294	315.33	425.2
	70.18	70.9	430.06	582.5

lima puluh lima kali dengan gerakan pendek agar tidak ada *drifting* data. Hasil pengujian menunjukkan 3,14 cm/s kecepatan tangan terendah dan 120,5 cm/s kecepatan tangan tertinggi yang mampu dibaca oleh sensor dan rata-rata gerakan di 37,8 cm/s. Konsistensi kecepatan gerakan dan kualitas sensor menentukan output gerakan kecepatan wahana udara oleh motor penggerak. Ketika *input* jarak pendek (23,2 cm) dan kecepatan tangan lambat (18,12cm/s) maka *output* berupa pwm adalah pwm kecil (68,3). Data yang dihasilkan di atas sudah sesuai dengan aturan *fuzzy* yang telah dibuat sebelumnya.

## V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian trayektori *quadcopter* dimana lintasan yang ditempuh menggunakan algoritma estimasi trayektori cukup akurat dengan hasil *output* gerakan yang menyerupai referensi pada gerak lurus berjarak 30cm. Gerakan tangan sebagai *remote* dapat digunakan untuk mengendalikan *quadcopter* khususnya kecepatan gerak sesuai dengan kecepatan gerakan tangan. Pengenalan gerakan menggunakan algoritma *template matching* memiliki persentase keberhasilan 96% dimana jumlah *template* mempengaruhi persentase keberhasilan.

## REFERENSI

- [1] Beh, J., Han,D & Ko,H, *Rule based trajectory segmentation for modelling hand motion trajectory*. Pattern Recognition, 47(4),1586-1601. (2014).
- [2] Tamami, Niam, Endra Pitowarno, and I. Gede Puja Astawa. *Proportional Derivative Active Force Control for "X" Configuration Quadcopter*, Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology 5, no. 2 (2014): 67-74.
- [3] Cho, S.J., Oh, J.K., Bang, W.C., Chang, W., Choi, E., Jing, Y., Cho, J. and Kim, D.Y. *Magic wand: a hand-drawn gesture input device in 3-D space with inertial sensors*. In *Frontiers in Handwriting Recognition, 2004. IWFHR-9 2004. Ninth International Workshop on* pp. 106-111. IEEE, (2004), October.
- [4] Xu, R., Zhou, S. and Li, W.J. *MEMS accelerometer based nonspecific-user hand gesture recognition*. *IEEE sensors journal*, 12(5), pp.1166-1173, (2012).
- [5] Cheoljong Yang, David K. Han, Hanseok Ko, *Continous hand gesture recognition based on trajectory shape information*, pattern recognition letters, 99, 39-47.(2014).
- [6] Andrea, D., Raffaello. "The outstanding athletic power of quadcopter"(2012).
- [7] Roberto, B. *Template matching techniques in computer vision: theory and practice.*, Wiley , 2009.
- [8] Hendriawan, Akhmad. "Sistem Kontrol Altitude pada UAV Model Quadcopter dengan Metode PID". *Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya*. pp. 271–350, (2012).
- [9] H. Sihombing, Sudirman. "Aplikasi Sensor Accelerometer untuk Menulis di Udara". *Electronical Industry of Diponegoro University*, 2012.
- [10] Do Khac Tiep, Kinam lee, Young-Jae Ryoo, Si Jung kim. *A Fuzzy-PD Controller for Autonomous Aerial Robot*, URAI (2017).

# Implementasi Bat Algorithm dalam Optimasi Penempatan Femtocell

Nifty Fath, Eka Purwa Laksana, dan Rummi Sirait  
Universitas Budi Luhur  
Jl. Ciledug Raya, RT.10/RW.2, Petukangan Utara, Pesanggrahan,  
Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12260  
e-mail: nifty.fath@budiluhur.ac.id

**Abstrak**—*Femtocell* dinilai menjadi kunci utama dalam teknologi telekomunikasi untuk meningkatkan kapasitas sistem selular dengan cara memperkecil dimensi sel. Pada umumnya, jaringan *femtocell* dirancang untuk diletakkan di dalam ruangan tertutup. Peletakan *femtocell* dinilai menjadi isu penting untuk menyelesaikan permasalahan perancangan jaringan nirkabel oleh karena perancangan manual dinilai sangat tidak efisien. Dalam penelitian ini, dilakukan sebuah pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan penempatan *femtocell* yang terletak di dalam ruangan menggunakan *bat algorithm*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan letak *femtocell* yang optimal sehingga dapat memaksimalkan nilai SNR. Dalam 100 kali percobaan, optimasi yang digunakan mampu meningkatkan rerata SNR sebesar 34,89 dB. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan yang dilakukan adalah sangat efektif dan efisien.

**Kata kunci:** *bat algorithm, femtocell, optimasi*

**Abstract**—*Femtocell* has been considered as an important technology to increase the cellular system capacity by bringing the base station closer to the user and shrinking the cell dimension. Basically, femtocell networks are deployed in indoor environment such as an office. Thus, femtocell placement problems are one of the important issues in planning the wireless networks, since the manual planning processes are not efficient. In this paper, the solution of femtocell placement problem in an indoor environment is solved by bat algorithm. Selecting the best position of the femtocell is the main objective so the capacity can be maximized. In a 100 trial study, the SNR can be optimized up to 34.89 dB. In conclusion, the bat algorithm is able to improve the SNR efficiently and effectively.

**Keywords:** *bat algorithm, femtopcell, optimization*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi telah berkembang sangat cepat, terutama pada sistem komunikasi bergerak karena fleksibilitas dan mobilitasnya yang tinggi. Evolusi teknologi tersebut menjadikan naiknya penggunaan data. Sebuah penelitian melaporkan bahwa 50% panggilan suara dan lebih dari 70% trafik data terselenggara di dalam ruangan atau bangunan [1].

Jaringan data membutuhkan kualitas sinyal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jaringan suara akibat semakin meningkatnya kebutuhan penggunaan data. Untuk trafik data yang terselenggara di dalam ruangan, susutan akibat serapan tembok dapat membuat atenuasi sinyal semakin besar. Hal tersebut menjadi kelemahan dari jaringan komunikasi bergerak, terutama jaringan selular [2]. Sebuah teknologi terbaru yakni *femtocell* dibuat untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan langkah memperkecil ukuran sel sehingga diperoleh jarak yang lebih dekat antara base station (BS) dengan pengguna. Oleh karena itu, kapasitas jaringan dapat ditingkatkan [3].

*Femtocell* memiliki beberapa kelebihan bagi pengguna yakni kekuatan sinyal yang diperoleh dapat lebih tinggi dan dapat menghemat daya baterai karena jaraknya yang dekat dengan BS. Selain itu, operator seluler dapat mengurangi kepadatan trafik dari sel makro (macrocell) dan mampu meningkatkan kapasitas jaringan [4]. Dalam teknologi 3GPP, femto BS dikenal dengan istilah home eNB (HeNB). Dengan menggunakan femto BS, pengguna di dalam ruangan mampu memperoleh koneksi data nirkabel dengan kualitas tinggi. *Femtocell* telah digunakan secara luas pada beberapa standar komunikasi nirkabel yakni LTE dan LTE-A yang menggunakan teknologi OFDMA [5].

Akses mode yang terdapat dalam *femtocell* dibagi menjadi dua yakni akses mode terbuka dan akses mode tertutup. Dalam mode akses terbuka, pengguna yang bukan merupakan pelanggan dapat terkoneksi dengan HeNB. Di sisi lain, dalam mode akses tertutup, pengguna yang bukan merupakan pelanggan tidak dapat terkoneksi dengan HeNB. Mode akses tertutup lebih banyak digunakan karena pelanggan sebenarnya dapat memperoleh akses

yang maksimal [6].

Salah satu tempat yang membutuhkan *femtocell* untuk meningkatkan kualitas jaringan adalah kampus. Tingkat pengguna mobile station (MS) di lingkungan kampus cukup tinggi karena kampus menjadi tempat berkumpulnya mahasiswa untuk menggunakan layanan komunikasi data, seperti browsing, gaming, video call, dan social media. Namun, hal itu tidak diikuti dengan berkembangnya teknologi jaringan telekomunikasi seluler di gedung kampus.

Penelitian [7] mengamati grafik penggunaan data di Universitas Budi Luhur yakni mencapai 55 Mbps dengan trafik rata-rata  $\pm 35$  Mbps, sedangkan rata-rata lantasan dari penggunaan data setiap mobile user equipment (MUE) adalah  $\pm 400$  Kbps. Grafik penerimaan mahasiswa di kampus Universitas Budi Luhur pun menunjukkan penambahan dari tahun ke tahun dan penggunaan layanan berbasis data juga semakin meningkat setiap tahunnya. Untuk melayani kebutuhan jumlah mahasiswa yang semakin meningkat, tidak cukup hanya tergantung kepada sel makro (eNodeB) yang telah tersedia di luar saja, hal ini dikarenakan keterbatasan jangkauan dan kapasitas dari eNodeB tersebut.

Dari hasil penelitian sebelumnya [8], terlihat bahwa kualitas sinyal pada gedung unit 3, 4, 5, dan 6 dalam kategori buruk, terlihat dari nilai hasil pengukuran  $E_c/N_0$  yang bernilai -29 dBi sampai -17 dBi di Unit 3, -25 dBi sampai -18 dBi di Unit 4, -20 dBi sampai -8 dBi di Unit 5, dan -20 dBi sampai -15 dBi di Unit 6. Hal ini diakibatkan struktur bangunan dari kampus Universitas Budi Luhur yang bertingkat dan terbuat dari dinding beton sehingga sinyal akan teratenuasi, terserap, dan terpantul oleh obyek-obyek (tembok, pepohonan, dan lain-lain) di sekitar lintasan sinyal. Oleh karena itu, penerimaan sinyal di dalam ruangan menjadi buruk.

Penelitian [9] mengoptimasi jumlah *femtocell* yang dibutuhkan serta penempatan *femtocell* di dalam sebuah bangunan dengan mempertimbangkan nilai SINR. Metode yang dilakukan adalah dengan menghitung secara manual batas minimum kapasitas pada pengguna. Dengan penempatan *femtocell* yang optimal, maka akan meningkatkan nilai lantasan pada setiap MUE. Penelitian sejenis yang terkait dengan penggunaan *femtocell* LTE pada jaringan indoor adalah simulasi link budget pada teknologi *femtocell* telekomunikasi LTE [10]. Penelitian ini mengkaji fenomena interferensi antara sel makro dan sel femto, juga interferens antar sel femto. Kualitas sinyal (SINR) pada pengguna (downlink) baik dari sel femto atau sel makro dikaji berdasarkan perhitungan link budget dengan memperhitungkan fenomena interferensi yang mungkin terjadi.

Penelitian perencanaan jaringan indoor untuk teknologi LTE di gedung Fakultas Ilmu Terapan Universitas Telkom pada [11] menganalisis perancangan untuk mengidentifikasi parameter yang menentukan luas pancaran dari suatu *femtocell* LTE di dalam gedung. Perencanaan jaringan LTE Time Division Duplex (TDD) 2300 MHz menghasilkan jumlah eNodeB yang dibutuhkan

untuk melayani area penelitian, tanpa memperhitungkan jenis penghalang dinding dari gedung pada area penelitian.

Berdasarkan hal tersebut, untuk meningkatkan kualitas sinyal daerah cakupan, khususnya daerah cakupan yang berada di dalam ruangan, perlu dilakukan optimisasi jaringan dalam ruangan dengan menambahkan *femtocell*. Penggunaan algoritme optimasi yang tepat akan dapat meningkatkan nilai lantasan serta memenuhi nilai QoS yang lebih baik untuk setiap user. Penelitian untuk optimasi penempatan WLAN Base Station telah diteliti pada [12] dengan membandingkan dua algoritme optimasi yaitu PSO dan ACO untuk menentukan lokasi BS. Optimisasi penempatan *femtocell* pada penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan algoritme metaheuristik yaitu bat algorithm (BA). Algoritme metaheuristik adalah suatu teknik pendekatan yang dirancang untuk memecahkan masalah secara umum dengan mengutamakan waktu komputasi tetapi tidak dijamin kebaikan solusinya, akan tetapi biasanya dapat menghasilkan solusi yang optimal atau mendekati optimal dengan jumlah iterasi tertentu. Solusi yang optimal adalah solusi terbaik dari sekumpulan alternatif solusi tanpa harus secara eksplisit menghitung dan mengevaluasi semua alternatif yang mungkin [13].

BA merupakan algoritme metaheuristik yang terinspirasi oleh proses ekolokasi yang dilakukan oleh kelelawar dalam mencari mangsa. Setiap kelelawar memancarkan gelombang sonar dengan sangat keras sehingga gelombang tersebut mengenai mangsa atau halangan di sekitarnya, kemudian dipantulkan kembali menuju kelelawar tersebut. Kunci utama dari algoritme ini adalah dalam mengendalikan kekuatan suara dan pesat emisi suara ketika kelelawar mencari mangsanya.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan proses optimasi peletakan *femtocell* agar dapat mencapai nilai SNR yang optimal dengan menggunakan BA. Peletakan *femtocell* pada penelitian ini mengambil lokasi ruang dosen Fakultas Teknik Universitas Budi Luhur.

## II. STUDI PUSTAKA

Inti dari proses optimasi adalah mampu mencapai suatu tujuan tertentu hingga mencapai nilai optimal dengan batasan-batasan tertentu. Salah satu metode optimasi yang umum digunakan adalah algoritme metaheuristik. Perkembangan algoritme heuristik dan metaheuristik sangatlah pesat. Hal ini dikarenakan unjuk kerjanya yang telah teruji mampu menyelesaikan permasalahan di bidang optimisasi. Banyak algoritme heuristik dan metaheuristik yang sedang berkembang terinspirasi dari perilaku sistem biologis atau sistem fisik dari alam. Misal, algoritme PSO dibuat berdasarkan perilaku burung dan ikan, sedangkan algoritme simulated annealing dibuat berdasarkan proses annealing dari logam [14].

Bat Algorithm (BA) merupakan salah satu metode optimasi berbasis perilaku makhluk hidup yang ditemukan oleh Xin-She Yang [14], [15], [16], [17]. Ide dasar dari bat algorithm adalah proses ekolokasi yang dilakukan oleh kelelawar, terutama kelelawar berukuran kecil.



Setiap kelelawar memancarkan pulsa suara yang sangat keras. Ketika pulsa suara tersebut mengenai sebuah objek, maka pulsa suara terpantulkan dan terdengar kembali atau terdeteksi oleh kelelawar sehingga terdapat rentang waktu antara pulsa suara mulai dipancarkan hingga terdeteksi oleh kelelawar. Dari rentang waktu tersebut, kelelawar dapat mendeteksi jarak dan orientasi dari yang berada di sekitarnya. Kelelawar kecil menggunakan gelombang sonar untuk mendeteksi musuh/mangsa/target, menghindari rintangan dan halangan yang ada di sekitarnya, dan mencari arah pulang kembali ke tempat tinggalnya.

Setiap kandidat solusi pada BA dinamakan kelelawar (bat). Setiap kelelawar terbang secara acak pada kecepatan  $v_i$  dan posisi  $x_i$ . Gelombang suara yang dipancarkan memiliki frekuensi minimal  $f_{min}$  dengan panjang gelombang  $\lambda$  dan tingkat keras suara  $A_0$  serta kecepatan emisi pulsa  $r \in [0,1]$ . Dalam kenyataannya, tingkat keras suara akan bervariasi, yakni paling keras saat proses pencarian target dan akan mengecil saat telah mendekati target.

Dari karakteristik tersebut, maka persamaan matematis dari BA dapat diformulasikan. Pembaruan posisi  $x_i^t$  dan kecepatan  $v_i^t$  dari kelelawar ke- $i$  pada waktu  $t$  adalah sebagai berikut.

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min}) \cdot \beta \tag{1}$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_{gbest}) \cdot f_i \tag{2}$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \tag{3}$$

dengan  $f_i$  merupakan frekuensi pada kelelawar ke- $i$ ,  $f_{min}$  dan  $f_{max}$  adalah frekuensi minimal dan maksimal,  $\beta$  adalah nilai acak dengan distribusi normal,  $v_i^t$  merupakan kecepatan kelelawar ke- $i$  pada waktu  $t$  sedangkan  $x_{gbest}$  adalah posisi kelelawar ke- $i$  pada waktu  $t$  dan  $x_i^t$  adalah solusi global optimal paling baru yang pernah dicapai oleh keseluruhan kelelawar

Setelah nilai  $x_{gbest}$  terpilih, maka posisi baru dari setiap kelelawar, yang menandakan solusi baru, dibangkitkan dengan pencarian lokal menggunakan *random walk* menggunakan persamaan berikut.

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A^t \tag{4}$$

dengan  $\epsilon \in [-1,1]$  merupakan nilai acak dan  $A^t$  adalah rata-rata tingkat keras suara dari seluruh kelelawar pada step waktu ke- $t$ . Semakin dekat posisi kelelawar dengan target, maka pada umumnya tingkat keras suara akan semakin berkurang. Dengan kata lain, nilai  $A_0$  bervariasi dari nilai yang besar hingga berkurang menjadi  $A_{min}$  saat telah mencapai target. Namun, pesat emisi pulsa ( $r$ ) akan meningkat. Oleh karena itu, parameter tingkat keras suara dan pesat emisi pulsa perlu diperbaharui pada saat setiap solusi baru didapatkan, dengan persamaan

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \tag{5}$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - e^{-\gamma t}] \tag{6}$$

Notasi  $\alpha$  dan  $\gamma$  merupakan nilai yang konstan yakni

$\alpha = \gamma = 0,9$  [15]. Pada kenyataannya, notasi  $\alpha$  adalah hampir sama dengan faktor pendinginan pada algoritme *simulated annealing*. Untuk segala nilai  $0 < \alpha < 1$  dan  $\gamma > 0$ , nilai  $A$  dan  $r$  akan konvergen menuju suatu nilai yakni

$$A_i^t \rightarrow 0 \tag{7}$$

$$r_i^t \rightarrow r_i^0; \quad t \rightarrow \infty \tag{8}$$

Mengubah nilai  $r_i = 1$  dan  $A_i = 0$  akan membuat persamaan BA menjadi algoritme PSO [17]. Pemilihan nilai-nilai dari setiap parameter membutuhkan keahlian dan pengalaman.

Untuk nilai inisialisasi, setiap kelelawar harus memiliki nilai tingkat keras suara dan pesat emisi pulsa yang berbeda. Hal ini dapat dicapai dengan proses pemilihan nilai secara acak. Misal, nilai awal dari  $A_0$  dapat bernilai [1,2], dengan  $r_0$  bernilai [0,1]. Tingkat keras suara dan pesat emisi diperbaharui hanya jika solusi baru telah ditemukan, dengan kata lain seluruh kelelawar-kelelawar bergerak ke arah solusi optimal.

Melalui proses benchmarking, Xin-She Yang melakukan perbandingan antara BA dengan algoritme GA dan PSO. Hasil perbandingan menunjukkan BA memiliki akurasi dan efisiensi yang lebih baik daripada algoritme GA dan PSO dalam menyelesaikan permasalahan global optimisasi.

### III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, penempatan *femtocell* dioptimasi menggunakan BA agar tercapai nilai SNR yang maksimal. Berikut adalah langkah-langkah optimasi menggunakan BA.

Algoritme 1. Algoritme Bat	
1 :	<b>Untuk setiap kelelawar</b> $i \in \{1,2,\dots,n\}$ <b>lakukan</b>
2 :	<b>Jika</b> $t=0$ , <b>maka:</b>
3 :	Inisialisasi posisi kelelawar ke- $i$ ( $X_i^0$ ) secara acak yang memenuhi syarat batasan solusi
4 :	Inisialisasi frekuensi pulsa $f_i^0$ pada kelelawar ke- $i$ secara acak
5 :	<b>lainnya</b>
6 :	Ganti nilai posisi awal $X_i^0$ dengan nilai posisi kelelawar ke- $i$ pada waktu $(t-1)$ dan hitung nilai objektifnya $f(x_i^k)$
7 :	Ganti nilai $f_i^0$ dengan nilai posisi kelelawar ke- $i$ pada $(t-1)$ -th time step
8 :	<b>Selesai</b>
9 :	Hitung kecepatan $v_i^0$ dengan persamaan (2)
10 :	Inisialisasi nilai $r_i^0$ dan $A_i^0$ secara acak
11 :	<b>Selesai</b>
12 :	Hitung nilai objektif dan perbaharui nilai $x_{gbest}$
13 :	<b>Saat</b> ( $k <$ nilai iterasi maksimal) <b>lakukan</b>
14 :	<b>Untuk setiap kelelawar</b> $i \in \{1,2,\dots,n\}$ <b>lakukan</b>

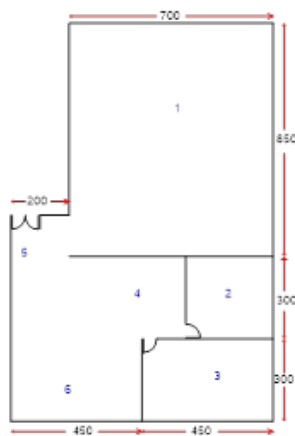
Tabel 1. Parameter bat algorithm

Parameter	Nilai
Jumlah kelelawar	30
f_min, f_max	0, 1
$\alpha$	0.9
$\gamma$	0.9
Kriteria terminasi	Iterasi = 150

15 :	Bangkitkan nilai $f(x_i^k)$ dengan persamaan (1)
16 :	Perbaharui nilai $v_i^k$ dengan persamaan (2)
17 :	<b>Jika</b> ( $\text{rand} < r_i^k$ ) <b>maka</b>
18 :	Pilih satu solusi terbaik dari seluruh solusi yang ada
19 :	Lakukan pencarian lokal dengan persamaan
20 :	<b>Selesai</b>
21 :	Bangkitkan solusi pada kelelawar ke- $i$ secara acak
22 :	<b>Jika</b> ( $\text{rand} < A_i^k$ dan solusi terbaru memiliki nilai lebih baik daripada $x_{gbest}$ ) <b>maka</b>
23 :	Simpan solusi yang baru
24 :	Perkecil nilai $A_i^k$ menggunakan persamaan (5) and perbesar nilai $r_i^k$ menggunakan persamaan (6)
25 :	<b>Selesai</b>
26 :	<b>Selesai</b>
27 :	Jika solusi baru memiliki nilai objektif yang lebih baik, maka perbaharui solusi
28 :	Dari keseluruhan solusi yang telah ditemukan, carilah solusi terbaik $x_{gbest}$ dan simpan $f(x_{gbest})$
29 :	<b>Selesai</b>

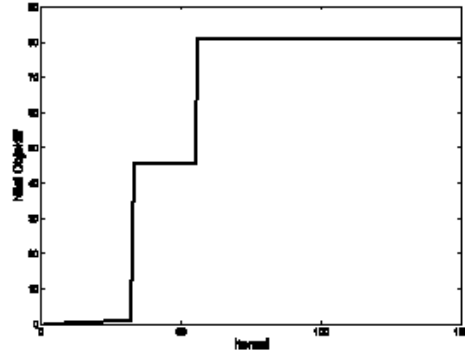
Penjabaran selengkapnya adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi jumlah kelelawar



- 1. Ruang Dosen
- 2. Ruang Dekan
- 3. Ruang Ka. Prodi
- 4. Ruang Sekretariat
- 5. Ruang Tamu
- 6. Pantry

Gambar 1. Denah ruang dosen Fakultas Teknik UBL

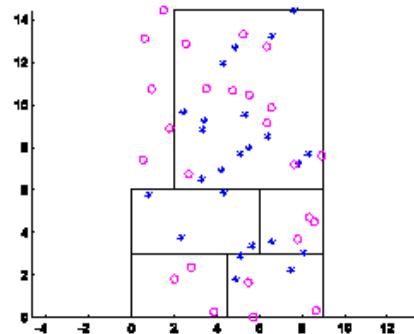


Gambar 2. Grafik nilai objektif dengan jumlah iterasi dalam satu percobaan

Asumsikan ukuran kawan kelelawar adalah  $n$ . Sekawan kelelawar tersebut merupakan analogi dari solusi-solusi femtocell yang akan dipilih yang paling optimal posisinya. Untuk mengurangi jumlah evaluasi fungsi yang diperlukan untuk menentukan solusi, sebaiknya ukuran  $n$  tidak terlalu besar, tetapi juga tidak terlalu kecil, agar ada banyak kemungkinan posisi menuju solusi terbaik atau optimal. Biasanya digunakan ukuran kawan adalah 20 sampai 30 kelelawar.

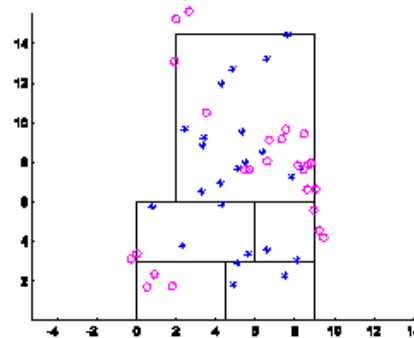
2. Posisi kelelawar

Bangkitkan posisi awal  $x$  dari setiap kelelawar secara random sehingga didapat  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Solusi yang diperlukan dalam permasalahan adalah berupa posisi femtocell dalam koordinat kartesius  $x$  dan  $y$ , sehingga terdapat dua variabel yang perlu dioptimasi yakni nilai  $x$

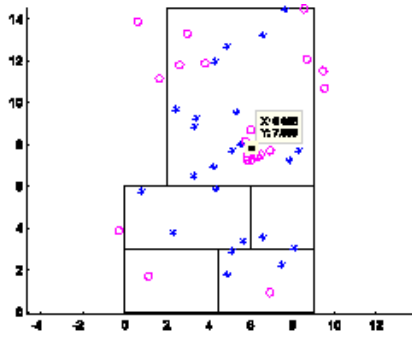


o = femto BS, \* = femto UE

Gambar 3. Perpindahan kelelawar saat t = 0



Gambar 4. Perpindahan kelelawar saat t = 50



Gambar 5. Perpindahan kelelawar saat t = 100

dan  $y$  dari setiap kelelawar. Posisi kelelawar  $i$  dinotasikan sebagai  $X_i^t$ , dengan

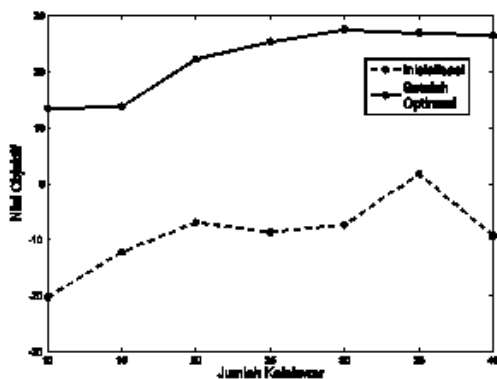
$$X_i^t = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$X_i^t = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} & y_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} & y_2^{(0)} \\ \vdots & \vdots \\ x_n^{(0)} & x_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

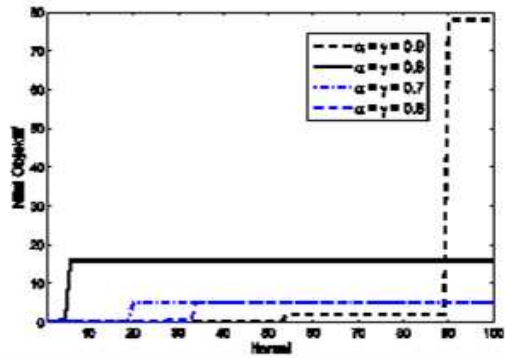
### 3. Kecepatan kelelawar

Kecepatan pergerakan dari setiap kelelawar dinotasikan sebagai  $V_i^t$ .

$$V_i^t = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$



Gambar 6. Grafik variasi jumlah kelelawar dengan rata-rata SNR



Gambar 7. Hasil pengujian variasi nilai  $\alpha$  dan  $\gamma$

### 4. Memperbaharui posisi kelelawar (solusi)

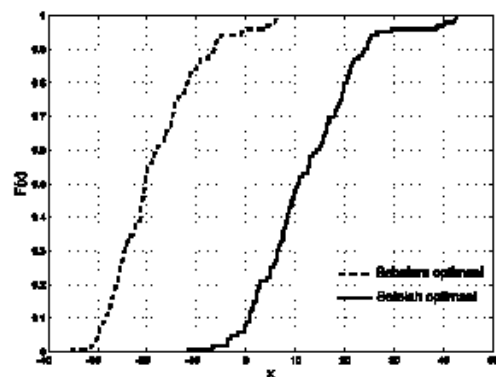
Seluruh kelelawar bergerak menuju titik optimal dari suatu posisi awal dengan suatu kecepatan tertentu. Untuk mengevaluasi posisi dan pergerakan dari seekor kelelawar, dilakukan evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap kelelawar dengan fungsi evaluasi SNR yakni

$$SNR_u^k = \frac{P_u^k}{PL_u^k \cdot N_0} \tag{9}$$

$$PL_{ruang\ sama} = 127 + 30 \log_{10}(d_m [km]) + X_{\sigma_F} \tag{10}$$

$$PL_{ruang\ beda} = 127 + 30 \log_{10}(d_m [km]) + L_w + X_{\sigma_F} \tag{11}$$

dengan nilai  $SNR_u^k$  merupakan SNR dari MUE  $u$  yang terhubung dengan femtocell  $k$  sejauh  $d_m$ ,  $P_u^k$  adalah daya yang dikirim dari femtocell  $k$  untuk MUE  $u$ ,  $PL_u^k$  merupakan path-loss dari femtocell  $k$  ke MUE  $u$ ,  $PL_{ruang\ sama}$  adalah path-loss jika femtocell dan MUE berada pada ruang yang sama sedangkan  $PL_{ruang\ beda}$  merupakan path-loss jika femtocell dan MUE berada pada ruang yang berbeda. Jika femtocell dan MUE berada dalam ruang yang berbeda,



Gambar 8. Grafik cumulative distributive function pada sebelum dan sesudah optimasi

maka terdapat susutan terhadap dinding sebesar 20 dB yang dinotasikan dengan  $\alpha$ . Terdapat pula faktor *shadowing* bernilai 8 dB yang dinotasikan dengan  $X_{of}$ .

Pada proses ini posisi keelawar dievaluasi dengan tujuan untuk mengetahui apakah posisi yang baru dapat menghasilkan nilai objektif yang lebih baik atau tidak. Melalui fungsi objektif yang ditetapkan maka akan diperoleh posisi yang baru.

Setelah dilakukan evaluasi pada posisi keelawar yang baru, maka nilai objektif antara masing-masing keelawar yang baru dan lalu dibandingkan satu sama lain. Apabila nilai objektif dari posisi yang baru lebih tinggi (optimum) dibandingkan dengan nilai objektif dari posisi yang sebelumnya, maka posisi keelawar yang ditetapkan adalah posisi yang baru. Namun apabila nilai objektif terakhir merupakan nilai yang lebih rendah (tidak optimum) dibandingkan dengan nilai objektif pada posisi yang lama, maka posisi yang ditetapkan adalah yang lama.

Jika posisi semua keelawar menuju ke satu nilai yang sama, maka hal ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka proses optimasi akan diulang dengan memperbaharui iterasi  $t = t + 1$ . Proses iterasi ini dilanjutkan sampai semua keelawar menuju ke satu titik solusi yang sama. Kriteria penghentian (*stopping criteria*) dapat berupa jumlah selisih solusi sekarang dengan sebelumnya sudah sangat kecil, atau jumlah iterasi. Dalam penelitian ini, *stopping criteria* adalah jumlah iterasi.

#### IV. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian ini area/lokasi penelitian yang dipilih adalah ruang Fakultas Teknik yang berada di gedung unit 5 lantai 3 kampus Universitas Budi Luhur. Denah ruang Fakultas Teknik ditunjukkan pada Gambar 1.

##### A. Inisialisasi Populasi Awal

Masalah yang akan dipecahkan pada penelitian ini adalah menentukan letak terbaik dari suatu *femtocell*. Masalah dipresentasikan dengan menentukan sejumlah *femtocell* (keelawar) dengan sejumlah MUE pada area penelitian. Pada posisi inisialisasi, masing-masing keelawar dan MUE ditentukan acak. Untuk setiap keelawar mempunyai kecepatan awal, dimana pada penelitian ini kecepatan awal dari masing-masing keelawar bernilai 0.

##### B. Hasil Pengujian Nilai Objektif dalam Satu Percobaan

Jumlah iterasi yang digunakan pada percobaan adalah 100 iterasi dengan nilai parameter seperti pada Tabel 1. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat dalam satu percobaan, nilai objektif yang merupakan nilai SNR (dalam dB) meningkat hingga mencapai konvergen seiring dengan bertambahnya nilai iterasi.

Pada iterasi yang ke-65, nilai objektif stabil dan mencapai nilai konvergen. Konvergen yang dimaksud dalam hal ini adalah seluruh individu keelawar telah

mengarah dan semakin mengumpul. Gambar 3 – Gambar 5 memperlihatkan proses Bergeraknya sekawanan keelawar (pada  $t=0$ ,  $t=50$ , dan  $t=100$ ) menuju suatu target. Dalam permasalahan di penelitian ini, target yang ingin dicapai adalah posisi *femtocell* yang terbaik, sehingga setiap MUE mendapatkan nilai SNR yang paling tinggi. Sekawanan keelawar tersebut merupakan analogi dari solusi-solusi *femtocell* yang akan dipilih karena posisinya yang paling optimal dan memiliki nilai SNR yang paling tinggi. Dari Gambar 3 – Gambar 5, terlihat bahwa sekawanan keelawar tersebut bergerak menuju suatu titik yang merupakan letak *femtocell* optimal yakni pada koordinat  $x = 6,053$  dan  $y = 7,839$ .

##### C. Hasil Pengujian Variasi Jumlah Keelawar

Tujuan pengujian variasi jumlah keelawar terhadap nilai objektif yang dihasilkan adalah untuk mengetahui jumlah keelawar yang paling optimal. Pada pengujian ini digunakan variasi jumlah keelawar sebanyak 10, 15, 20, 25, 30 dan 35, dan 40 yang dilakukan masing-masing sebanyak 100 kali percobaan. Grafik pengujian variasi jumlah keelawar dengan nilai objektif ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa kenaikan nilai SNR pada jumlah keelawar:

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| a) 10 keelawar = 33.73 dB | e) 30 keelawar = 34.89 dB |
| b) 15 keelawar = 26.01 dB | f) 35 keelawar = 25.19 dB |
| c) 20 keelawar = 29.13 dB | g) 40 keelawar = 35.77 dB |
| d) 25 keelawar = 34.07 dB |                           |

Kenaikan nilai SNR paling tinggi adalah pada saat jumlah populasi 40 keelawar. Pada dasarnya, semakin banyak keelawar yang terlibat dalam proses pencarian akan semakin membuka peluang untuk ditemukannya solusi-solusi yang optimal, akan tetapi komputasi akan menjadi semakin lama. Di sisi lain, semakin sedikit keelawar justru akan mempersempit pencarian karena ‘agen’ yang tersebar untuk mencari solusi optimal akan semakin sedikit. Oleh karena itu, berdasarkan hasil simulasi, maka jumlah keelawar yang optimal digunakan adalah 30 keelawar.

##### D. Hasil Pengujian Variasi Nilai dan

Dalam BA, nilai  $\alpha$  dan  $\gamma$  berperan penting dalam menentukan kecepatan konvergensi. Variasi nilai  $\alpha$  dan  $\gamma$  yang dilakukan adalah sebagai berikut  $\alpha=\gamma=0,9$ ,  $\alpha=\gamma=0,8$ ,  $\alpha=\gamma=0,7$ ,  $\alpha=\gamma=0,6$ . Berdasarkan hasil simulasi, seperti yang terlihat pada Gambar 7, nilai objektif maksimal diperoleh pada saat  $\alpha=\gamma=0,9$ . Pada saat  $(\alpha=\gamma)<0,8$ , konvergensi yang dicapai terlalu prematur sehingga tidak tercapai proses eksplorasi yang maksimal. Oleh karena itu, nilai  $\alpha$  dan  $\gamma$  yang optimal digunakan adalah  $\alpha=\gamma=0,9$ .

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian dari 100 percobaan yang kemudian ditampilkan dalam bentuk *cumulative distribution function* (CDF). Terlihat bahwa terdapat peningkatan yang signifikan (kurva CDF setelah optimasi berada di sebelah kanan kurva CDF sebelum

optimasi) yakni dengan nilai rata-rata peningkatan sebesar 34,89 dB dari sebelum optimasi hingga setelah optimasi dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan optimasi penempatan *femtocell*, maka akan diperoleh nilai SNR yang maksimal.

#### V. KESIMPULAN

Dalam 100 kali percobaan, nilai SNR rerata menunjukkan peningkatan sebesar 34,89 dB. Hal ini menunjukkan bahwa bat algorithm mampu meningkatkan nilai SNR dengan melakukan optimasi terhadap penempatan *femtocell*. Pada satu topologi, peletakan *femtocell* paling optimal adalah pada  $x=6,053$  dan  $y=7,839$ .

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

#### REFERENSI

- [1] V. Giannini, J. Craninckx, and A. Baschiroto, "Baseband Analog Circuits for Software Defined Radio". USA: Springer, 2008.
- [2] "Presentations by ABI Research, Picochip, Arivana, IP access, Telefonica Espana," 2nd International Conference Home Access Points and *Femtocells*. [Online]. Available: <http://www.avrenevents.com/dallas-femto2007/purchase-presentations.html>.
- [3] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, "*Femtocell* networks: a survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no.9, pp. 59–67.
- [4] 3GPP TS 36.300, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (EUTRAN)," 2009.
- [5] J. Zhang and G. de la Roche, "*Femtocells: Technologies and Deployment*," John Wiley Sons Ltd, 2010.
- [6] I. W. Mustika, K. Yamamoto, H. Murata, and S. Yoshida, "Potential game approach for self-organized interference management in closed access *femtocell* networks," 2011.
- [7] S. Zunaierlan, "Perencanaan Jaringan 4G Long Term Evolution Pada Area Universitas Budi Luhur," 2015.
- [8] Rummi Sirait, "Kajian Kualitas Sinyal Dan Optimasi Jaringan 3G Dalam Memenuhi Kebutuhan Komunikasi Di Lingkungan Universitas Budi Luhur", Seminar Nasional Inovasi dan Teknologi Informasi 2014.
- [9] M. Tahalani and R. V. Sathya, "Optimal Femto Placement in Enterprise *Femtocell* Networks," *IEEE Int. Conf. Adv. Networks Telecommunications Syst.*, 2014.
- [10] B. Utomo, I. Santoso, and A. A. Z, "Simulasi link budget pada sel Femto teknologi telekomunikasi LTE," *J. Transm.*, vol. 15, no. 1, 2013.
- [11] Tiphon, "Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) General Aspects of Quality of Service (QoS)," vol. DTR/TIPHON, 1998.
- [12] I. Vilovic, N. Burum, Z. Sipus, and R. Nad, "PSO and ACO Algorithm Applied to Location Optimization of The WLAN Base Station," *19th Int. Conf. Appl. Electromagn. Commun.*, 2007.
- [13] Budi Santosa dan The Jin Ai, "Pengantar Metaheuristik: Implementasi dengan Matlab", ITS Tekno Sains, Surabaya, 2017.
- [14] X.-S. Yang, "A new metaheuristic bat-inspired algorithm," in *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NISCO 2010)*, Springer, 2010, pp. 65–74.
- [15] X.-S. Yang and X. He, "Bat Algorithm: Literature review and applications," *Int. J. Bio-Inspired Comput.*, vol. 5, pp. 141–149, 2013.
- [16] X.-S. Yang and A. H. Gandomi, "Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization," in *Engineering Computations*, 2012, pp. 29(5):464–483.
- [17] H. Marshoud, H. Otrouk, H. Barada, R. Estrada, A. Jarray, and Z. Dziong, "Resource allocation in macrocell-*femtocell* network using genetic algorithm," *2012 IEEE 8th Int. Conf. Wirel. Mob. Comput. Netw. Commun.*, pp. 474–479, Oct. 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

