

# INKOM

Jurnal Informatika, Sistem Kendali dan Komputer

## Volume 7, No 2, 2013

### Daftar Isi:

Alternatif Pengukuran Luas Lubang Jalan Berbasis Data Video Menerapkan <i>Threshold-based Marking</i> dan GLCM <b>Barsyah Dwi Idestio, Tjokorda Agung Budi Wirayuda</b>	57-65
Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor <b>Ade Ramdan, Dicky Rianto Prajitno, Herlan, Elli A. Gojali</b>	67-73
Purwarupa Modem Audio Berbasis Mikrokontroler dengan Teknik <i>Direct Digital Synthesizer</i> dan <i>Zero Crossing Detector</i> <b>Akbari Indra Basuki, Oka Mahendra</b>	75-81
<i>Automated Estimation Parasitemia of Plasmodium berghei Infected Mice using CellProfiler</i> <b>Dwi Ramadhani, Siti Nurhayati</b>	83-89
<i>Exciter Jammer</i> Berbasis <i>Direct Digital Synthesizer</i> <b>Elan Djaelani, Purwoko Adhi</b>	91-98
Desain Mini <i>Wearable</i> ECG Berbasis Mikrokontroler <b>Sugondo Hadiyoso, Koredianto Usman, Achmad Rizal, Radian Sigit</b>	99-106

## 2/2013

 Pusat Penelitian Informatika - LIPI					
Jurnal INKOM	Vol. 7	No. 2	Hal. 57-106	Bandung, November 2013	p-ISSN 1979-8059 e-ISSN 2302-6146

# INKOM

Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

p-ISSN 1979-8059, e-ISSN 2302-6146  
Akreditasi LIPI: 556/Akred/P2MI-LIPI/09/2013

Volume 7, No 2, November 2013

## Penanggung Jawab

Kepala Pusat Penelitian Informatika - LIPI

## Pimpinan Redaksi

Rifki Sadikin (Komputer)

## Dewan Redaksi

Engkos Koswara (Informatika)  
Tigor Nauli (Informatika), Edi Kurniawan (Sistem Kendali)  
Ana Hadiana (Informatika), Esa Prakasa (Komputer)  
Bambang Sugiarto (Sistem Kendali)

## Mitra Bestari

Didi Rosiyadi (Informatika), Suharyo (Sistem Kendali, Fisika), Elli A Gojali (Komputer)

## Sekretariat

Bidang Jasa Ilmiah dan Informasi Pusat Penelitian Informatika - LIPI

## Alamat Redaksi

Jurnal INKOM  
Pusat Penelitian Informatika  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Komp. LIPI Gd. 20 Lt. 3 Jln Sangkuriang, Bandung, 40135  
Telp: +62 22 2504711, Fax: +62 22 2504712  
Email: [jurnal@informatika.lipi.go.id](mailto:jurnal@informatika.lipi.go.id), Website: <http://jurnal.informatika.lipi.go.id>  
Pertama terbit: Mei 2007  
Frekuensi terbit: Dua kali setahun, setiap bulan Mei dan November

**Jurnal INKOM** adalah jurnal yang mengkaji masalah yang berhubungan dengan Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer dengan keberkalaan penerbitan dua kali setahun pada Juni dan Desember. Tulisan yang dipublikasikan berupa hasil penelitian, pemikiran atau pengembangan untuk kemajuan keilmuan atau terapan. Kelayakan pemuatan dipertimbangkan oleh penilai dengan *double blind review* berdasarkan keaslian (originalitas) dan keabsahan (validitas) ilmiah.

©2013 Hak cipta dilindungi undang-undang



Volume 7, No 2, 2013

## Daftar Isi

Hasil Penelitian	Halaman
Alternatif Pengukuran Luas Lubang Jalan Berbasis Data Video Menerapkan <i>Threshold-based Marking</i> dan GLCM <b>Barsyah Dwi Idestio, Tjokorda Agung Budi Wirayuda</b>	57-65
Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor <b>Ade Ramdan, Dicky Rianto Prajitno, Herlan, Elli A. Gojali</b>	67-73
Purwarupa Modem Audio Berbasis Mikrokontroler dengan Teknik <i>Direct Digital Synthesizer</i> dan <i>Zero Crossing Detector</i> <b>Akbari Indra Basuki, Oka Mahendra</b>	75-81
<i>Automated Estimation Parasitemia of Plasmodium berghei Infected Mice using CellProfiler</i> <b>Dwi Ramadhani, Siti Nurhayati</b>	83-89
<i>Exciter Jammer</i> Berbasis <i>Direct Digital Synthesizer</i> <b>Elan Djaelani, Purwoko Adhi</b>	91-98
Desain Mini <i>Wearable</i> ECG Berbasis Mikrokontroler <b>Sugondo Hadiyoso, Koredianto Usman, Achmad Rizal, Radian Sigit</b>	99-106



Jurnal Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer

Volume 7, No 2, 2013

## Editorial

Pembaca yang terhormat, Jurnal INKOM volume 7 nomor 2 tahun 2013 kali ini berisi 6 karya tulis ilmiah. Dengan rincian 2 makalah merupakan tulisan dalam bidang informatika: *Alternatif Pengukuran Luas Lubang Jalan Berbasis Data Video Menerapkan Threshold-based Marking dan GLCM* dan *Automated Estimation Parasitemia of Plasmodium berghei Infected Mice using CellProfiler*, 3 makalah merupakan tulisan dalam bidang komputer *Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor*, *Purwarupa Modem Audio Berbasis Mikrokontroler dengan Teknik Direct Digital Synthesizer dan Zero Crossing Detector* dan *Exciter Jammer Berbasis Direct Digital Synthesizer*. Serta satu dalam bidang kendali yaitu *Desain Mini Wearable ECG Berbasis Mikrokontroler*. Semua tulisan ilmiah telah melalui proses seleksi dengan metoda *double blind* oleh dewan redaksi dan mitra bestari tamu.

Syukur atas kehadiran Tuhan, Jurnal INKOM mulai volume 7 nomor 2 kembali berstatus terakreditasi LIPI dengan nomor akreditasi: 556/Akred/P2MI-LIPI/09/2013. Harapan kami adalah dengan status terakreditasi ini Jurnal INKOM dapat menerbitkan karya ilmiah yang lebih berkualitas daripada sebelumnya.

Semoga Jurnal INKOM volume 7 nomor 2, 2013 ini memberikan kontribusi bagi ilmu pengetahuan.

Bandung, November 2013

Ketua Dewan Editor



Volume 7, No 2, 2013

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

DDC 621.39

Barsyah Dwi Idestio, Tjokorda Agung Budi Wirayuda (Fakultas Teknik, Universitas Telkom)

Alternatif Pengukuran Luas Lubang Jalan Berbasis Data Video Menerapkan *Threshold-based Marking* dan GLCM

*INKOM*, 7(2) 2013: 67-73

Salah satu kendala yang menyebabkan lambatnya perbaikan jalan yaitu pada proses pengukuran kerusakan jalan. Pada proses ini, dilakukan penghitungan luas tiap-tiap kerusakan. Proses pengukuran saat ini dilakukan secara manual menggunakan alat ukur sederhana (roll meter) dengan bantuan tenaga manusia sepenuhnya. Pada penelitian ini dikembangkan suatu sistem deteksi dan pengukuran kerusakan jalan khususnya lubang, berbasis data video, dengan menerapkan *threshold-based marking* dan GLCM. Sistem terdiri atas 2 tahapan, dimulai dengan mendeteksi kemungkinan area lubang menggunakan *threshold-based marking* dilanjutkan dengan klasifikasi berdasarkan vektor ciri yang diperoleh melalui GLCM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi sistem sebesar 91.67% dengan waktu proses 0,08 detik untuk setiap *frame*.

(Penulis)

Kata kunci: Lubang jalan, Deteksi citra, GLCM

DDC 621.32

Ade Ramdan, Dicky Rianto Prajitno, Herlan, Elli A. Gojali (Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor

*INKOM*, 7(2) 2013: 57-65

Pada tulisan ini, sebuah lampu pintar berbasis LED berbasis integrasi sensor deteksi keberadaan dan sensor deteksi cahaya diusulkan. Sensor digunakan untuk menyalakan atau mematikan lampu secara otomatis berdasarkan keberadaan orang disekitarnya. Selain itu, lampu pintar juga dapat mengatur tingkat pencahayaan yang dibutuhkan dengan memperhatikan cahaya ambien untuk mencegah terjadinya pencahayaan yang berlebih guna menghindari energi yang terbuang sia-sia. Deteksi keberadaan menggunakan penggabungan dua buah sensor yaitu PIR (*Passive Infrared Receiver*) dan Ultrasonik, sedangkan deteksi cahaya menggunakan sensor LDR (*Light Dependent Resistant*). Hasil pengujian mendapatkan sistem lampu penerangan bekerja dengan baik dan dapat memberikan pencahayaan sebesar 257,6 lux. Lampu Pintar tersebut sudah dapat mendeteksi gerakan besar dan kecil yang ditimbulkan oleh manusia dan dapat memberikan pencahayaan ruangan yang konstan.

(Penulis)

Kata kunci: Lampu pintar, Deteksi keberadaan, Ultrasonik

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

DDC 621.35

Akbari Indra Basuki, Oka Mahendra (Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

Purwarupa Modem Audio Berbasis Mikrokontroler dengan Teknik *Direct Digital Synthesizer* dan *Zero Crossing Detector*

*INKOM*, 7(2) 2013: 75-81

Sistem modem audio berbasis mikrokontroler dengan teknik *Direct Digital Synthesizer* (DDS) dan *Zero Crossing Detector* (ZCD) diusulkan pada tulisan ini. Modem ini beroperasi pada frekuensi suara *audible*. Modem ini berfungsi untuk melewatkan data digital melalui kanal audio analog. Pada sisi *modulator*, digunakan teknik DDS untuk menghasilkan gelombang sinus audio. Teknik modulasi yang digunakan adalah *16 tone M-Ary Frequency Shift Keying* (M-FSK) atau MFSK16. Pada sisi *demodulator*, teknik ZCD digunakan untuk mengukur perioda gelombang sinus. Pengujian dilakukan pada layer fisik modem dengan mencari lebar kanal yang optimal untuk masing-masing tone, nilai *transfer rate*, dan nilai *Bit Error Rate* (BER). Hasil pengujian menunjukkan lebar kanal optimal untuk masing-masing tone berbanding lurus dengan besar frekuensi, karena *error* perhitungan frekuensi oleh DDS bersifat tetap. Performansi modem mencapai nilai *transfer rate* 200 bps dengan BER  $2 \times 10^{-3}$ , tanpa penambahan pengkodean kanal.

(Penulis)

Kata kunci: Modem audio, DDS, M-FSK, Zero Crossing Detector, GSM

DDC 621.39

Dwi Ramadhani, Siti Nurhayati (Pusat Teknologi Keamanan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Indonesia)

Otomatisasi Penghitungan Parasitemia Pada Mencit Terinfeksi Dengan *Plasmodium berghei* Menggunakan *CellProfiler*

*INKOM*, 7(2) 2013: 83-89

Pada tulisan ini, penghitungan parasitemia pada mencit yang diinfeksi dengan *Plasmodium berghei* menggunakan *CellProfiler* diusulkan. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara nilai parasitemia yang diperoleh dengan menggunakan *CellProfiler* dibandingkan dengan secara manual. Uji T digunakan untuk analisis statistik dengan  $p < 0,05$  berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara penghitungan otomatis dibandingkan dengan manual. Total sebanyak lima puluh citra apusan darah tipis mencit dianalisis secara otomatis menggunakan *CellProfiler* dan secara manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara nilai persentase yang diperoleh secara otomatis dibandingkan dengan manual ( $p > 0,05$ ). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai persentase parasitemia yang diperoleh secara otomatis menggunakan *CellProfiler* sebanding tetapi tidak lebih baik dibandingkan dengan teknik manual.

(Penulis)

Kata kunci: CellProfiler, Otomatisasi, Parasitemia, *Plasmodium berghei*, Preparat Apusan Tipis

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh disalin tanpa izin dan biaya

DDC 621.38

Elan Djaelani (Pusat Penelitian Informatika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia), Purwoko Adhi (Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

*Exciter Jammer Berbasis Direct Digital Synthesizer*

*INKOM, 7(2) 2013: 91-98*

Pada tulisan ini, modifikasi perangkat pemancar radio *jamming* diusulkan, dengan mengganti Voltage Controlled Oscillator (VCO) dengan modul *Direct Digital Synthesizer* (DDS) sebagai exciter. Kelebihan DDS adalah bisa diprogram dengan komputer dan menghasilkan sinyal dengan stabilitas dan akurasi frekuensi yang sangat tinggi. Penggunaan DDS memungkinkan pengaturan frekuensi tengah dan deviasi dengan sangat mudah menggunakan software. Di samping itu, periode atau waktu sweep dirancang untuk bisa diatur hanya menggunakan software dengan memprogram DDS untuk berfungsi pada mode *Linear Sweep No Dwell* dan memberikan sinyal trigger dengan periode sebesar periode sweep minimum yang diinginkan. DDS memungkinkan untuk menghasilkan sinyal *jamming* dengan BW yang sempit, sehingga power output Jammer bisa lebih tinggi dan daya jangkauan radio *jamming* meningkat. Keuntungan lain dengan penggunaan DDS adalah dimensi pemancar Jammer menjadi lebih kecil.

(Penulis)

Kata kunci: Perangkat *Jamming*, DDS, Perang elektronik

DDC 621.38

Sugondo Hadiyoso, Koredianto Usman, Achmad Rizal, Radian Sigit (Fakultas Teknik, Universitas Telkom)

*Desain Mini Wearable ECG Berbasis Mikrokontroler*

*INKOM, 7(2) 2013: 99-106*

Electrocardiogram (ECG) merupakan suatu sinyal biopotensial hasil dari aktivitas listrik sel otot jantung. ECG diambil dengan memasang elektroda pada titik tertentu tubuh seseorang. Pada tulisan ini, diusulkan sebuah perangkat ECG digital yang dapat digunakan untuk memonitor kondisi jantung seorang atlet. ECG yang dirancang memiliki ukuran kecil yang dapat diletakkan pada pinggang dengan mini LCD sebagai penampil grafik sinyal ECG. Sistem ECG yang digunakan adalah 3 *lead* menggunakan metode segitiga *Einthoven* dengan memodifikasi titik penempatan elektroda yang disebut modifikasi *chest lead*. Elektroda yang terpasang pada tubuh, melakukan sadapan sinyal listrik jantung kemudian oleh pengkondisi sinyal dilakukan penguatan dan filter. Oleh *Analog to Digital Converter* sinyal tersebut diubah menjadi data digital selanjutnya mikrokontroler membaca data ADC dan menampilkan grafik sinyal berikut *heart rate* pada layar LCD Nokia 5110.

(Penulis)

Kata kunci: *Electrocardiogram, biomedic, Einthoven, ADC, Nokia 5110*

The descriptor given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge.

DDC 621.39

Barsyah Dwi Idestio, Tjokorda Agung Budi Wirayuda (Faculty Engineering, Telkom University)  
Alternative of Pothole Area Measurement Based-on Video using Threshold-based Marking and GLCM  
*INKOM*, 7(2) 2013: 67-73

One obstacle that causes the slow progress of road repairment is the measurement of the pothole area. In this process, calculation of area in each pothole is done. Measurement process nowadays is manually performed by using a conventional tool (such as roll meter) with the help of human entirely. This research objective is to develop the system for detecting and measuring pothole area, by implementing the threshold-base marking and GLCM method in asphalt surface video. The system consists of two stages starting with candidate pothole detection using threshold-based marking then continued by classification process based on feature vector obtained through the GLCM. The results show that the accuracy rate of 91.67% system with a time of 0.08 seconds to process each frame.

(Author)

Keywords: Pothole, Image detection, GLCM

DDC 621.32

Ade Ramdan, Dicky Rianto Prajitno, Herlan, Elli A. Gojali (Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences)

LED-based Smart Lamp with Multi Sensor

*INKOM*, 7(2) 2013: 57-65

In this paper, we propose a LED-based smart lamp prototype that integrated with sensor. The smart lamp use information of people and lighting confirmation, to turn on or turn off the lamp automatically. In addition, the sensor calculates and balances flash and ambient light exposure to decrease the light, so that can make energy efficiently in use. PIR (Passive Infrared Receiver) and Ultrasonic sensor is preferred to detect people condition in one place and LDR (Light Dependent Resistant) is preferred to detect intensity of light. In experimental system of smart lamp obtain good condition where the average of illuminance 257,6 lux. The smart lamp can detect large and small movements caused by human beings and can provide a constant room lighting.

(Author)

Keywords: Smart lamp, Presense detection, Ultrasonic

The descriptor given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge.

DDC 621.35

Akbari Indra Basuki, Oka Mahendra (Research Center for Informatics, Indonesia Institute of Sciences)  
Microcontroller Based Audio Modem Prototype by Means of Digital Direct Synthesizer and Zero Crossing Detector Technique

*INKOM*, 7(2) 2013: 75-81

A microcontroller based audio modem system by means of Digital Direct Synthesizer (DDS) and Zero Crossing Detector (ZCD) technique is proposed in this paper. The modem operates in audible frequency range. The function of this modem is to transmit digital data through analog audio channel. In the modulator, DDS is used to generate sinusoidal audio signal. The modulation technique is 16-tones M-Ary Frequency Shift Keying (M-FSK) or MFSK16. In the demodulator, ZCD technique is used to measure the sinusoidal signal periods. The experiments were done in the physical layer, to analyze the optimal channel bandwidth, transfer rate, and Bit Error Rate (BER). It was found that the optimal channel bandwidth for each tone is proportional to the frequency, due to fixed error DDS calculation. The performances of the modem are capable to modulate data in transfer rate 200 bps and BER  $2 \times 10^{-3}$  without channel coding improvement.

(Author)

Keywords: Audio modem, DDS, M-FSK, Zero Crossing Detector, GSM

DDC 621.39

Dwi Ramadhani, Siti Nurhayati (Center for Technology of Radiation Safety and Metrology, National Nuclear Energy Agency of Indonesia)

Automated Estimation Parasitemia of Plasmodium berghei Infected Mice using CellProfiler

*INKOM*, 7(2) 2013: 83-89

In this paper, we propose a technique for automatically recording parasitemia of mice infected with Plasmodium berghei by using CellProfiler. Our purpose is to identify the difference number of parasitemia obtained by CellProfiler and manual assessment. We conducted a T-test analysis with  $p < 0.05$ . This value is considered to have a statistically significant different between automatic and manual process. Total of 50 thin blood smear images were analyzed for both automatically using CellProfiler and manual process. Results showed that there were insignificant difference between automatic and manual process ( $p > 0.05$ ). It can be concluded that based on this research that automated quantification of parasitemia using CellProfiler was comparable but not better than manual.

(Author)

Keywords: Automation, CellProfiler, Parasitemia, Plasmodium berghei, Thin blood smear



Volume 7, No 2, 2013

The descriptor given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge.

DDC 621.38

Elan Djaelani (Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences), Purwoko Adhi (Research Center for Electronics and Telecommunication, Indonesian Institute of Sciences)

Direct Digital Synthesize based Exciter Jammer

*INKOM*, 7(2) 2013: 91-98

In this paper, we propose a radio transmitter *jamming* device modification developed. The transmitter is built by replacing Voltage Controlled Oscillator (VCO) with modules for Direct Digital Synthesizer (DDS) as an exciter. Advantages of DDS is programmed with a computer and can produce a signal with a frequency stability and frequency accuracy is very high. The use of DDS allow setting the frequency of central and deviation with very easily using software. In addition, the period or sweep time designed to use only software can be reprogrammed with DDS to function on a Linear Sweep No Dwell mode and signal trigger with a period equal to the period the minimum desired sweep. DDS allows to generate a signal *jamming* by narrow BW, so the power output of the Jammer could be higher and increased outreach of radio *jamming*. Another advantage with the use of DDS is the dimension transmitter Jammer becomes smaller.

(Author)

Keywords: Jamming devices, DDS, Eletronics warfare

DDC 621.38

Sugondo Hadiyoso, Koredianto Usman, Achmad Rizal, Radian Sigit (Faculty of Engineering, Telkom University)

Microcontroller-based Mini Wearable ECG Design

*INKOM*, 7(2) 2013: 99-106

Electrocardiogram (ECG) is a biopotential signal which generated by electrical activity of the heart muscle cells. ECG is taken by placing electrodes at a certain point a person's body. This research propose a wearable ECG device. This device can be used to monitor athlete's heart condition. ECG device is designed in small size that can be put on the waist with a mini LCD to view ECG signal graph. The ECG system used 3 lead's configuration based on modified Einthoven triangle method then called modified chest lead. Electrodes that placed on the body, taking electrical signal activity of the heart then the signal is amplified and filtered by signal conditioning. By Analog to Digital Converter signals are converted into digital data then the microcontroller reads data from ADC and displays graphs of signal and heart rate on the Nokia 5110s LCD screen.

(Author)

Keywords: *Electrocardiogram, biomedic, Einthoven*, ADC, Nokia 5110





# Alternative of Pothole Area Measurement Based-on Video using Threshold-based Marking and GLCM

## Alternatif Pengukuran Luas Lubang Jalan Berbasis Data Video Menerapkan *Threshold-based Marking* dan GLCM

Barysah Dwi Idestio, Tjokorda Agung Budi Wirayuda \*

Fakultas Teknik  
Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu,  
Bandung, 40257  
Indonesia

---

### Abstract

One obstacle that causes the slow progress of road repairment is the measurement of the pothole area. In this process, calculation of area in each pothole is done. Measurement process nowadays is manually performed by using a conventional tool (such as roll meter) with the help of human entirely. This research objective is to develop the system for detecting and measuring pothole area, by implementing the threshold-base marking and GLCM method in asphalt surface video. The system consists of two stages starting with candidate pothole detection using threshold-based marking then continued by classification process based on feature vector obtained through the GLCM. The results show that the accuracy rate of 91.67% system with a time of 0.08 seconds to process each frame.

keywords: Pothole, Image detection, GLCM

### Abstrak

Salah satu kendala yang menyebabkan lambatnya perbaikan jalan yaitu pada proses pengukuran kerusakan jalan. Pada proses ini, dilakukan penghitungan luas tiap-tiap kerusakan. Proses pengukuran saat ini dilakukan secara manual menggunakan alat ukur sederhana (roll meter) dengan bantuan tenaga manusia sepenuhnya. Pada penelitian ini dikembangkan suatu sistem deteksi dan pengukuran kerusakan jalan khususnya lubang, berbasis data video, dengan menerapkan *threshold-based marking* dan GLCM. Sistem terdiri atas 2 tahapan, dimulai dengan mendeteksi kemungkinan area lubang menggunakan *threshold-based marking* dilanjutkan dengan klasifikasi berdasarkan vektor ciri yang diperoleh melalui GLCM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi sistem sebesar 91.67% dengan waktu proses 0,08 detik untuk setiap *frame*.

kata kunci: Lubang jalan, Deteksi citra, GLCM

---

### 1. PENDAHULUAN

Jalan sebagai salah satu prasarana transportasi yang merupakan urat nadi kehidupan masyarakat mempunyai peranan penting dalam usaha pengembangan kehidupan berbangsa dan bernegara [1]. Penyelenggaraan jalan yang memenuhi standar merupakan faktor penting terpenuhinya peranan jalan tersebut.

Saat ini seringkali dijumpai ruas jalan yang rusak, menurut data dari Kementerian Pekerjaan Umum menyebutkan, secara keseluruhan kondisi jalan rusak di Indonesia mencapai 3.800 kilometer atau 11 persen jika dibandingkan dengan total panjang jalan nasional yang mencapai 34.628 kilometer [2]. Hal tersebut tentu saja dapat mengakibatkan lumpuhnya perekonomian, meningkatnya biaya transportasi, kerusakan kendaraan akibat guncangan pada jalan berlubang, dan meningkatnya jumlah kecelakaan lalu lintas.

Dinas Pekerjaan Umum mengklasifikasikan kerusakan jalan menjadi empat jenis, yaitu lubang, legokan (jalan ambles), retakan, dan alur bekas roda. Proses perbaikan jalan dilakukan melalui tiga tahap,

---

\*Corresponding Author. Tel: +6222-7564108

Email: cokagung@telkomuniversity.ac.id

Received: 12 Jul 2013; revised: 30 Sep 2013; accepted: 1 Oct 2013

Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO235

yaitu pencatatan, lelang proyek, dan perbaikan. Salah satu kendala yang menyebabkan lamanya perbaikan kerusakan jalan yaitu proses pengukuran pada tahap pencatatan. Pada proses ini, dilakukan penghitungan luas tiap-tiap kerusakan. Proses pengukuran saat ini dilakukan secara manual menggunakan alat ukur sederhana (*roll meter*) dengan bantuan tenaga manusia sepenuhnya. Pekerja Dinas Pekerjaan Umum yang bertugas melakukan pencatatan akan menyusuri ruas jalan tertentu untuk menemukan berbagai jenis kerusakan jalan dan mengukur luas serta kedalaman dari tiap-tiap kerusakan yang ada. Karena proses pengukuran masih dilakukan secara manual dengan tenaga manusia sepenuhnya, waktu yang dibutuhkan relatif lama dan tingkat keakuratannya rendah [3].

Pada penelitian ini kami mengusulkan sebuah metode segmentasi dan penandaan berbasis *thresholding*, serta ekstraksi tekstur *gray level co-occurrence matrix* (GLCM) untuk pendeteksian dan pengukuran luas lubang jalan pada video permukaan aspal. Luaran dari sistem adalah jumlah lubang yang terdeteksi serta luas dari lubang tersebut. Dengan proses pengukuran yang terkomputerisasi maka waktu yang dibutuhkan akan jauh lebih cepat dan diharapkan mampu memangkas waktu pengukuran kerusakan jalan, pada proses perbaikan jalan khususnya di Indonesia.

## 2. TINJAUAN PENGGUNAAN METODE

Ciri visual lubang pada jalan beraspal meliputi, [4]:

- (1) Sebuah lubang memiliki bagian bayangan yang lebih gelap dari permukaan sekitarnya
- (2) Bentuk lubang cenderung atau mendekati elips, karena distorsi perspektif
- (3) Tekstur dari lubang lebih kasar dari permukaan sekitarnya yang tidak berlubang

Terdapat tiga proses untuk pendeteksian lubang yaitu *image segmentation* (segmentasi citra), *shape extraction* (ekstraksi bentuk) dan *texture extraction and comparison* (ekstraksi tekstur dan perbandingannya) [4]. Tiga proses tersebut bertujuan untuk mendeteksi lubang pada citra digital kemudian membentuk area elips di sekitar lubang untuk memperkirakan luas area lubang yang terdeteksi.

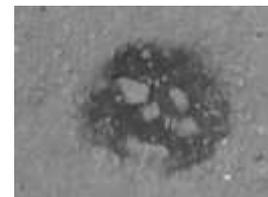
Tingkat akurasi pendeteksian lubang pada penelitian tersebut telah mencapai diatas 90% untuk kemunculan lubang namun belum memberikan perhitungan secara pasti terhadap luas area lubang yang terdeteksi karena masih menggunakan pendekatan berdasarkan luas area elips.



**Gambar 1.** Hasil Pendeteksian Lubang

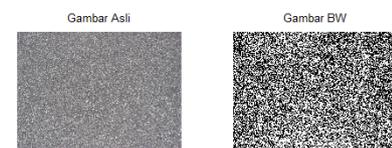
### 2.1 Segmentasi Berbasis Thresholding

Salah satu karakteristik lubang pada jalan adalah warna yang lebih gelap dibandingkan dengan sekitarnya, seperti yang terlihat pada gambar 2. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan proses pendeteksian lubang dimana kita dapat menerapkan teknik segmentasi berbasis intensitas nilai piksel.



**Gambar 2.** Lubang pada Jalan

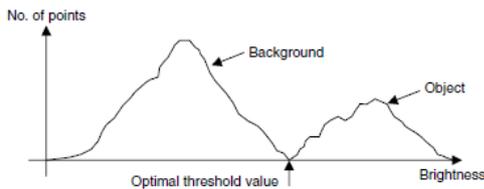
Pada kasus citra lubang jalan, kekasaran tekstur permukaan jalan seringkali mempersulit proses segmentasi, karena dengan adanya tekstur tersebut batasan daerah dengan keseragaman intensitas warna menjadi tidak jelas karena tekstur akan dianggap noise. Atas dasar itu metode-metode yang berbasis keseragaman intensitas warna berdasarkan daerah atau lokasi piksel seperti *region-growing*, *split and merge*, *edge detection*, dan *clustering* menjadi tidak optimal.



**Gambar 3.** Dispersi sebaran warna pada gambar jalan beraspal

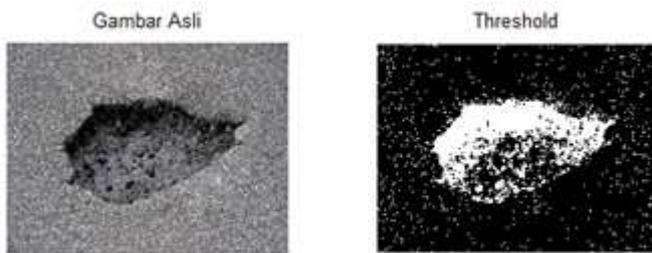
*Thresholding* adalah salah satu metode segmentasi citra berdasarkan penerapan ambang batas terhadap nilai intensitas di setiap piksel. Dari masalah kondisi tekstur citra lubang diatas, metode *thresholding* akan bekerja lebih optimal, karena tidak memperhatikan daerah atau lokasi piksel. Saat ini terdapat dua bentuk penerapan nilai ambang batas yaitu uniform dan adaptif. Metode uniform memiliki kelemahan

apabila kita tidak mengetahui range atau variasi dari intensitas pada citra, sehingga segmentasi menjadi tidak akurat [5]. Pada Adaptif, nilai ambang batas ditetapkan dengan melihat variasi intensitas pada citra. Nobuyuki Otsu mengenalkan metode untuk mengoptimalkan nilai ambang batas dengan melihat kemungkinan objek dan latar belakang melalui penyebaran intensitas pada histogram [6].



**Gambar 4.** Ambang batas optimal

Teknik *thresholding* yang bersifat adaptif dapat digunakan sebagai tahap awal untuk menentukan kandidat area lubang pada sistem deteksi lubang yang kami kembangkan seperti yang terlihat pada gambar 5.



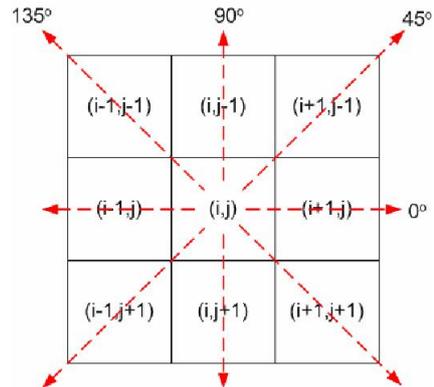
**Gambar 5.** Penentuan Kandidat Lubang menggunakan Threshold

**2.2 Ekstraksi Tekstur Berbasis GLCM**

Pada penelitian ini ekstraksi tekstur dibutuhkan untuk menguraikan tekstur kekasaran dari bagian kemungkinan lubang hasil segmentasi, dan direpresentasikan ke dalam fitur dengan nilai tertentu sehingga dapat dikenali dan diinterpretasikan ke dalam kelas lubang atau bukan lubang. Ekstraksi terhadap tekstur kekasaran didasari oleh ciri visual lubang yang didefinisikan oleh Christian Koch, dan Ioannis [4], yaitu tekstur dari lubang lebih kasar dari permukaan sekitarnya yang tidak berlubang atau permukaan normal.

Salah satu teknik ekstraksi tekstur adalah dengan menghitung kemunculan hubungan ketetanggaan antara dua intensitas piksel pada orientasi sudut dan jarak atau range tertentu. Pendekatan ini bekerja dengan membentuk sebuah matriks kookurensi yang disebut *Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)* dari citra *grayscale* [7].

Kookurensi berarti kejadian atau kemunculan bersama, yaitu jumlah kemunculan satu level nilai intensitas piksel bertetangga dengan satu level nilai intensitas piksel lain dalam jarak (*d*) dan orientasi sudut ( $\theta$ ) tertentu. Jarak dinyatakan dalam piksel dan orientasi dinyatakan dalam derajat. Orientasi dibentuk dalam empat arah sudut dengan interval sudut  $45^\circ$ , yaitu  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ,$  dan  $135^\circ$ . Sedangkan jarak antar piksel biasanya ditetapkan sebesar 1 piksel [1].



**Gambar 6.** Hubungan ketetanggaan antar piksel sebagai fungsi orientasi sudut

Setelah memperoleh matriks kookurensi tersebut, kita dapat menghitung ciri statistik yang merepresentasikan citra yang diamati. Robert M. Haralick, K. Shanmugam, dan Itshak Dinstein[8], mengusulkan 14 jenis ciri tekstural yang dapat diekstraksi dari matriks kookurensi yang meliputi :Angular Second Moment, Contrast, Correlation, *Variance*, Inverse Difference Moment, Sum Average, Sum *Variance*, Sum Entropy, Entropy, Difference *Variance*, Difference Entropy, Information Measures of Correlation, dan Maximal Correlation Coefficient. Dari 14 ciri tekstural yang diusulkan, 6 diantaranya dapat digunakan untuk mendeskripsikan kekasaran dari tekstur, yaitu:

- (1) Angular Second Moment (ASM):

$$ASM = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2 \quad (1)$$

Nilai ASM menunjukkan ukuran sifat homogenitas dari citra. Nilai ASM yang tinggi muncul pada saat tekstur pada citra cenderung seragam.

- (2) Contrast:

$$CON = \sum_k k^2 \left[ \sum_i \sum_j p(i, j) \right] \quad (2)$$

Nilai CON menunjukkan ukuran penyebaran (momen inersia) elemen-elemen matriks citra. Jika letaknya jauh dari diagonal utama, nilai kontrasnya besar. Secara visual, nilai kontras adalah ukuran variasi antar derajat keabuan suatu daerah citra.

(3) 3. Correlation:

$$\text{COR} = \frac{\sum_i \sum_j (ij) \cdot p(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

$\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$  adalah rata-rata dan standar deviasi dari  $P_x, P_y$ . Nilai COR menunjukkan ukuran ketergantungan linear derajat keabuan citra sehingga dapat memberikan petunjuk adanya struktur linear dalam citra.

(4) Variance:

$$\text{Var} = \sum_i \sum_j (i - \mu_x)(j - \mu_y)p(i, j) \quad (4)$$

Variance merupakan ukuran penyebaran nilai-nilai sekitar rata-rata. Nilai VAR menunjukkan variasi atau dispersi elemen-elemen matriks kookurensi. Citra dengan dispersi derajat keabuan kecil akan memiliki variansi yang kecil pula.

(5) Inverse Difference Moment

$$\text{IDM} = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j) \quad (5)$$

Nilai IDM menunjukkan kehomogenan citra yang berderajat keabuan sejenis. Citra homogen akan memiliki harga IDM yang besar

(6) Entropy:

$$\text{ENT} = - \sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j)) \quad (6)$$

Entropy merupakan ukuran ketidakteraturan bentuk di dalam tekstur.

Dari 6 ciri tekstural tersebut kami melakukan pengujian untuk menentukan ciri terbaik yang dapat digunakan dalam proses kalsifikasi area lubang pada jalan. Proses pengujian dilakukan pada 80 sampel citra permukaan aspal. Sampel tersebut terdiri dari 40 sampel citra tekstur permukaan normal atau bukan lubang, dan 40 sampel citra tekstur lubang.

Hasil pengujian seperti yang terlihat pada gambar 7 menunjukkan bahwa ciri tekstural variance (VAR) memiliki batas nilai antara citra lubang dengan citra bukan lubang dengan tingkat perbedaan atau deviasi terbesar, bahkan memiliki area selisih di antara dua kelas. Hal ini menunjukkan bahwa nilai variansi dapat mendeskripsikan ciri kekasaran dari tekstur

lubang dan bukan lubang dengan baik, dan dapat dijadikan fitur untuk proses klasifikasi. Sementara untuk ciri tekstural lainnya memiliki nilai perbedaan atau deviasi yang relatif kecil, bahkan terdapat area yang beririsan di antara dua kelas, sehingga dapat menyebabkan klasifikasi menjadi tidak akurat.

### 2.3 Pelacakan dengan Algoritma MeanShift

Algoritma *MeanShift* [8,9] pada dasarnya beroperasi dengan mencari rata-rata (*mean*) dari fungsi padat peluang (*density probability function*) suatu distribusi citra dalam domain  $x, y$ . Hasil akhir dari algoritma *MeanShift* adalah koordinat pusat massa (*centroid*) suatu citra. Misal, kita asumsikan sebuah distribusi Euclidean mengandung distribusi  $f$ , tahap algoritma *MeanShift* dalam distribusi Euclidean adalah sebagai berikut:

- (1) Sebuah *search window*  $W$  dipilih dengan ukuran  $s$ .
- (2) *Initial search window* dipilih dengan  $P_k$  sebagai *centroid* awal.
- (3) Hitung *centroid* di dalam *search window* tersebut.

$$P_k(W) = \frac{1}{|W|} \sum_{j=w}^{\infty} (P_j) \quad (7)$$

- (4) *MeanShift* mengikuti gradien dari  $f(p)$

$$P_k(W) - P_k \approx \frac{f'(P_k)}{f(P_k)} \quad (8)$$

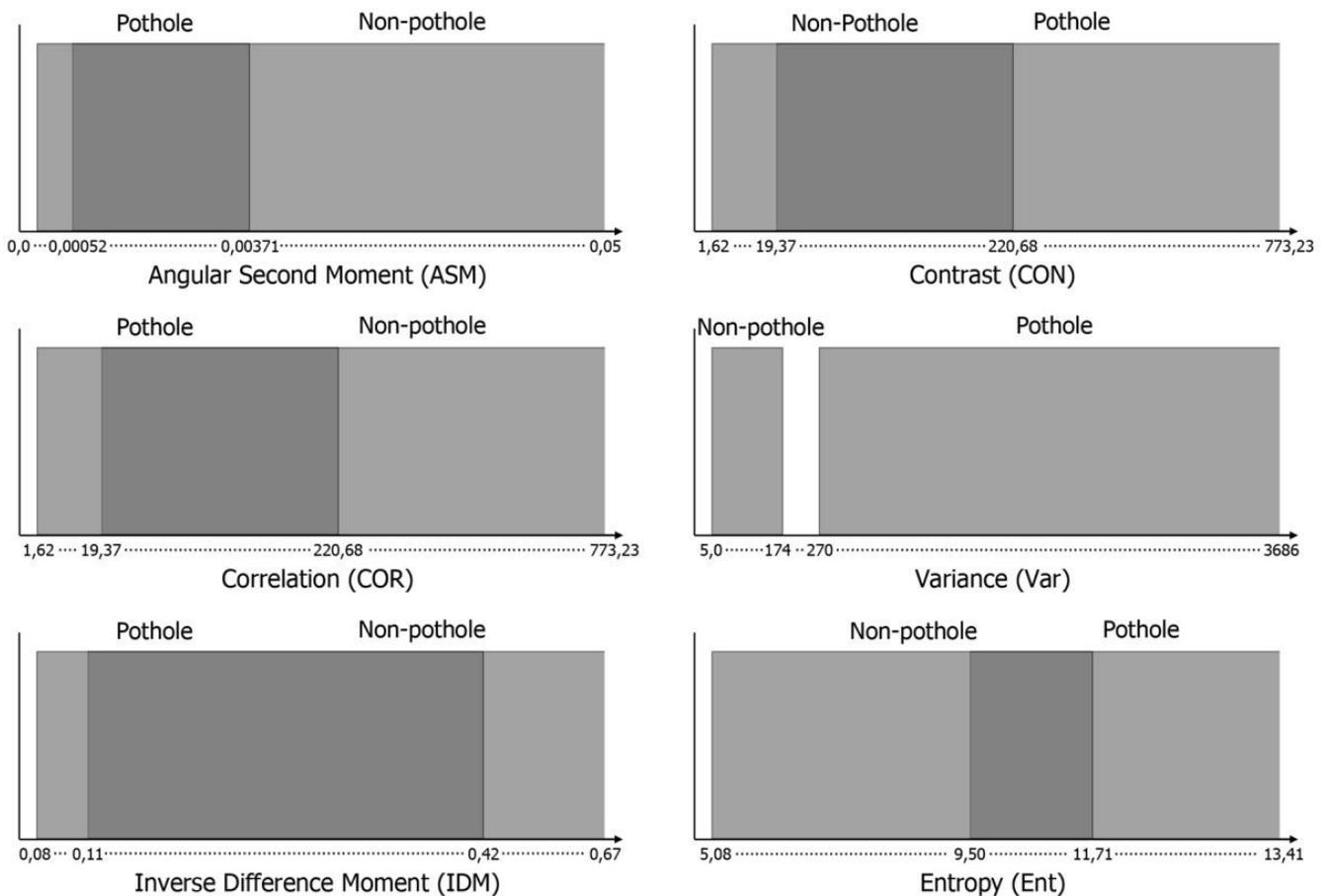
- (5) Set *centroid search window* yang dihasilkan pada point
- (6) Ulangi langkah ke-3 dan ke-4 sampai konvergen, yaitu ketika  $f'(p) \approx 0$

Karena citra *frame* dari kamera video termasuk dalam distribusi diskrit, *centroid* pada *search window* yaitu pada langkah ke-3 dan ke-4 di atas, ditentukan dengan aturan berikut ini:

- (1) Tentukan *zeroth*  $M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y)$
- (2) Tentukan *first-order* moment untuk  $x$  dan  $y$ :  $M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x, y)$  dan  $M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x, y)$
- (3) Kemudian, *centroid* dari *search window* diperoleh melalui rumus sebagai berikut:

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}, \quad (9)$$

$I(x, y)$  adalah intensitas piksel pada posisi  $(x, y)$  plane ekstraksi fitur, di mana  $x$  dan  $y$  adalah range sepanjang *search window*.



**Gambar 7.** Hasil Pengujian Terhadap 6 ciri tekstural GLCM pada Area Lubang

Konvergensi iterasi algoritma *MeanShift* dari distribusi diskrit dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$dx = x_c - P_x \quad (10)$$

$$dy = y_c - P_y \quad (11)$$

$$dx^2 + dy^2 \leq 1 \quad (12)$$

$(P_x, P_y)$  adalah koordinat pusat dari *search window* yang lama. Persamaan 12 berkoresponden dengan konvergensi pada distribusi Euclidean yaitu  $f'(p) = 0$ .

Jika diterapkan pada operasi pengolahan citra, tahap algoritma *MeanShift* di atas dapat dijabarkan dalam lima langkah berikut ini

- (1) Dapatkan ukuran dari input *search window*.
- (2) Dapatkan lokasi kalkulasi pada plane fitur yang berkoresponden dengan ukuran dan lokasi dari input *search window*.
- (3) Tentukan lokasi *centroid* dalam input *search window*.
- (4) Geser atau shifting input *search window* sehingga akan dihasilkan output *search window*

yang memiliki posisi *centroid* sesuai dengan hitungan pada langkah ke-3.

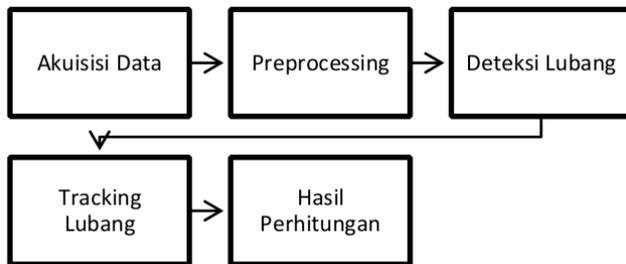
- (5) Ulangi langkah ke-3 dan langkah ke-4 sampai *search window* konvergen, yaitu sampai *search window* tersebut berpindah dengan jarak yang kurang dari nilai threshold yang sudah ditentukan.

### 3. PERANCANGAN SISTEM DAN PERSIAPAN DATA

#### 3.1 Rancangan Sistem

Sistem pendeteksian dan pengukuran luas lubang jalan ini menerima masukan berupa data video permukaan aspal. Data citra dari video terdiri dari beberapa *frame* citra yang ditampilkan secara simultan (continuous), sehingga memunculkan gerakan dari objek (lubang) yang ditangkap. Kondisi seperti ini memungkinkan lubang yang sama berada di lebih dari satu *frame*, oleh karena itu perlu diterapkan metode pelacakan untuk menghindari pengukuran luas terhadap lubang yang sama, sehingga total hasil pengukuran menjadi akurat.

Secara keseluruhan sistem ini terdiri dari dua state (kondisi), yaitu deteksi lubang (*pothole detection state*) dan lacak lubang (*pothole tracking state*).



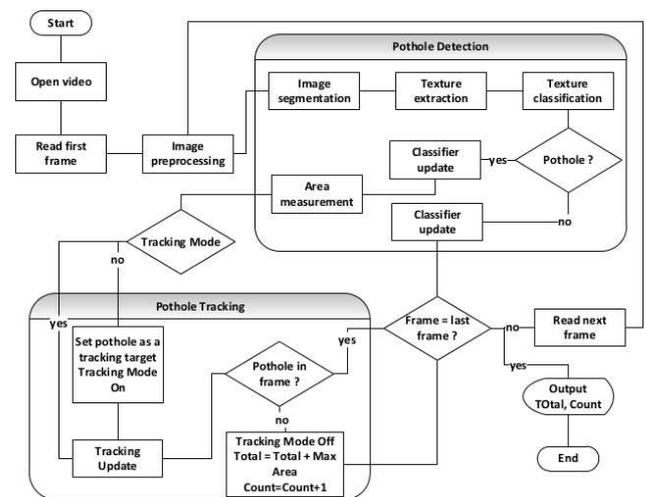
**Gambar 8.** Bagan Umum Proses Deteksi Lubang

Alur proses pada sistem secara sederhana dapat dituliskan sebagai berikut:

- (1) Akuisisi Data adalah proses pengambilan data *frame* satu-per satu untuk diproses oleh sistem.
- (2) Preprocessing dilakukan dengan mengubah data gambar menjadi data grayscale
- (3) Deteksi Lubang terdiri atas tahap segmentasi menggunakan Otsu threshold, dilanjutkan dengan ekstraksi ciri menggunakan GLCM dan klasifikasi menggunakan threshold yang telah ditentukan.
- (4) *Tracking* Lubang adalah mekanisme untuk menjamin konsistensi hasil perhitungan area lubang dan jumlah lubang mengingat *frame* yang diproses bersifat kontinu
- (5) Hasil Perhitungan menampilkan informasi jumlah lubang dan luas lubang yang terdeteksi oleh sistem.

Dalam sistem yang dikembangkan, kami mengkombinasikan mekanisme deteksi dengan tracking untuk mengatasi masalah kontinuitas data inputan (data sebuah lubang dapat berada pada beberapa *frame*), sehingga akurasi perhitungan total area lubang menjadi valid. Penggabungan ini dilakukan dengan mencatat status tracking dari sebuah area lubang dan ukuran area yang terdeteksi, apabila area yang terdeteksi pada *frame* ke-*n* adalah objek yang sama dengan *frame* *n-1* maka hasil pengukuran akan disimpan dalam suatu list area. Pada saat tracking mendeteksi bahwa area lubang telah melewati batas tracking maka dilakukan pencarian nilai maksimal pada list area dilanjutkan dengan mengupdate total area, mengupdate hitungan jumlah lubang, mengosongkan list area dan mengubah status tracking menjadi off.

Dalam sistem ini, threshold klasifikasi diperbaharui secara kontinu sesuai dengan hasil klasifikasi. Hal ini ditujukan untuk memperbaiki model threshold yang dihasilkan melalui data sample.



**Gambar 9.** Diagram proses sistem

### 3.2 Akuisisi Data

Perangkat keras akuisisi data dikonfigurasi pada kendaraan mobil berjenis minibus. Kamera video ditempatkan di atas menghadap ke permukaan jalan dengan sudut  $90^\circ$  menggunakan penyangga kamera seperti tripod. Jarak kamera dengan permukaan jalan menyesuaikan kemampuan focal length dari lensa yang digunakan agar didapat skala *frame* yang sesuai (rasio: 4 : 3, dengan skala:  $100\text{cm} \times 75\text{cm}$ ). Perangkat yang digunakan adalah kamera Canon EOS 60 D dengan pengaturan area akuisisi  $640 \times 480$  piksel dan *frame rate* 60 fps.



**Gambar 10.** Penempatan perangkat keras akuisisi data

Kondisi ideal pada skenario akuisisi data ini juga menempatkan lampu sorot penerang yang diposisikan menyamping di bagian bawah kendaraan, menghadap ke permukaan jalan yang disorot oleh kamera. Penempatan lampu ini bertujuan untuk meningkatkan brightness pada citra, meningkatkan contrast dari bayangan dan tekstur pada lubang, serta menghilangkan iluminasi cahaya dan / atau bayangan objek lainnya akibat sinar matahari, sehingga meningkatkan akurasi segmentasi pada citra hasil akuisisi.

Akuisisi data video permukaan jalan dilakukan pada jalan berlubang sepanjang  $\pm 60$  KM di Kota Depok, Cibinong, Parung, dan Bandung. Akuisisi

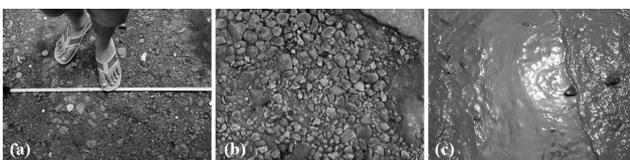
di empat kota tersebut menghasilkan 36 file video dengan total panjang durasi 02 : 27 : 06, dan total *frame* dalam video sebanyak 220.673 *frame*. Jumlah objek kemungkinan lubang yang sesuai dengan batasan masalah berdasarkan pencarian manual sebanyak 60 lubang. Satu lubang yang sama rata-rata terdapat pada 20 *frame* video, sehingga total keseluruhan *frame* yang berisi objek kemungkinan lubang  $\pm 1200$  *frame*.



**Gambar 11.** Proses akuisisi data

Dalam pembangunan kumpulan data ini juga dilakukan seleksi dan reduksi terhadap *frame* yang tidak sesuai dengan batasan masalah diantaranya:

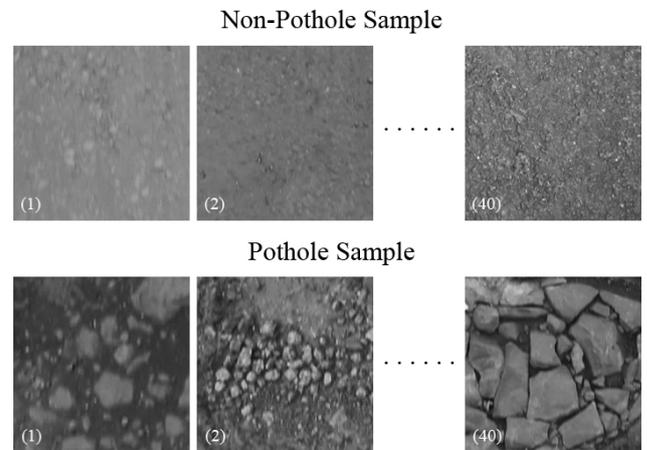
- (1) Terdapat objek lain yang terekam seperti roll meter yang digunakan untuk mengkalibrasi skala *frame*.
- (2) Luas lubang baik panjang maupun lebarnya jauh melebihi luas skala *frame* sehingga bayangan tepi dari lubang tidak terekam.
- (3) Ruas jalan yang tergenang air (banjir)
- (4) Potongan video yang tidak bergerak akibat kendaraan akuisisi video terhenti karena macet.



**Gambar 12.** *frame* berisi (a) objek roll meter, (b) lubang yang luasnya jauh melebihi skala *frame*, dan (c) ruas jalan tergenang air

Hasil keseluruhan seleksi dan reduksi kemudian dibangun menjadi data pemodelan dan data pengujian. Untuk data pemodelan terdiri dari 40 *frame* citra bukan lubang (permukaan normal, dan

area tersegmentasi selain lubang) serta 40 *frame* citra lubang yang telah disegmentasi dan dipisahkan (crop) dari bagian permukaan normal.



**Gambar 13.** Sampel data pemodelan

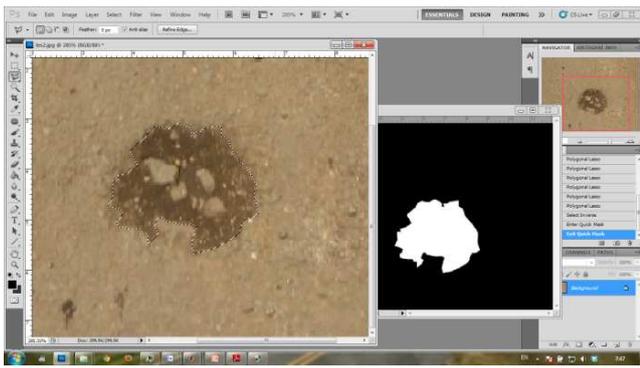
Untuk data pengujian dibangun 1000 *frame* citra yang terdiri dari 748 *frame* berisi objek kemungkinan lubang dan 252 *frame* citra permukaan normal. Data pengujian kemudian dipecah ke dalam 5 file video berisi 200 *frame*, dengan tujuan pengujian dilakukan secara sekuensial terhadap setiap file agar kecepatan sistem lebih stabil akibat pemrosesan yang terlalu besar.

#### 4. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

Sistem deteksi lubang jalan ini dibangun menggunakan MATLAB pada komputer dengan spesifikasi processor Intel Core™ i3-2310M CPU @ 2.10 GHz (4 CPUs). Pengujian dilakukan dengan membaca data video yang telah dipersiapkan pada tahap akuisisi. Terdapat 3 tujuan utama dalam pengujian, meliputi:

- (1) Menganalisis akurasi dalam melakukan penandaan area kemungkinan lubang dari hasil segmentasi menggunakan metode thresholding dengan teknik Otsu.
- (2) Menganalisis akurasi dalam melakukan pengklasifikasian lubang atau permukaan normal hasil ekstraksi tekstur menggunakan pembangunan GLCM.
- (3) Mengukur waktu pemrosesan dari sistem yang dibangun.

Analisis akurasi metode thresholding menerapkan teknik Otsu dilakukan pada Skenario A. Tahap awal pada skenario A adalah menyediakan citra segmentasi manual sebagai pembanding terhadap hasil segmentasi dari sistem.



**Gambar 14.** Sampel data segmentasi manual

Jumlah piksel tersegmentasi (putih) pada citra hasil segmentasi manual dibandingkan dengan jumlah piksel yang tersegmentasi melalui sistem untuk *frame* yang sama. Selisih jumlah piksel tersebut kemudian akan dihitung untuk menentukan tingkat akurasi. Hasil pengujian untuk skenario A terlihat pada tabel 1.

**Tabel I.** Hasil Pengujian Skenario A

No	Jumlah Lubang	Piksel Putih Sistem	Piksel Putih Manual	Unjuk Kerja Selisih	Akurasi
001	6	261317	265205	7902	97,02
002	6	223571	217540	6807	96,87
003	6	389703	393125	17628	95,52
004	4	242686	270908	30684	88,67
005	5	481535	506503	24968	95,07
Rata-rata Akurasi					94,63

Pengujian pada skenario A menunjukkan bahwa rata-rata tingkat perbedaan antara segmentasi manual dengan hasil segmentasi sistem sebesar 5,36% pengamatan, hal ini dipengaruhi oleh ketegasan batas dari lubang serta adanya objek lain di dalam lubang seperti genangan air, batu kerikil yang mempengaruhi nilai threshold.

Pengujian terhadap performansi GLCM dalam melakukan klasifikasi dilakukan pada skenario B. Langkah pertama dalam skenario B adalah membangun tabel model dengan memanfaatkan ciri tekstural variansi yang dihasilkan dari rata-rata GLCM pada orientasi sudut 0, 90, 45, dan 135 terhadap 80 data sample. 80 data sample terdiri dari 40 citra tekstur lubang, dan 40 citra tekstur permukaan normal. Hasil dari proses pembelajaran kemudian diterapkan pada sistem dan diujikan pada kumpulan data yang telah dipersiapkan. Tingkat akurasi dihitung berdasarkan ketepatan klasifikasi yang dilakukan oleh sistem. Dari hasil perhitungan tabel model ditemukan bahwa nilai variansi sampel tekstur permukaan normal atau bukan lubang relatif kecil, yaitu pada rentang 4,99 sampai 173,63. Sedangkan nilai variansi sampel tekstur lubang

relatif besar, yaitu pada rentang 276,60 sampai 3726,05. Potongan hasil pengujian pada skenario B terlihat pada tabel 2. Hasil pengujian keseluruhan untuk skenario B menunjukkan bahwa akurasi rata-rata sistem sebesar 91,67%. Akurasi ini diukur dengan berpedoman pada jumlah lubang yang ada pada video, dimana dari 1000 *frame* yang diproses sistem menangkap 36 *frame* yang diperkirakan lubang dengan berpedoman pada proses deteksi dan klasifikasi (*frame* lainnya yang berisi lubang yang sama tidak dibaca kembali). Dari 36 *frame* tersebut 33 *frame* diklasifikasikan dengan benar, dan 3 *frame* yang seharusnya lubang dinyatakan bukan lubang.

**Tabel II.** Potongan Hasil Pengujian Skenario B

File	<i>frame</i>	Variance	Porthole	Target	Error
DS_001	17	1321,32	1	1	0
	33	180,84	0	1	1
	34	192,38	0	1	1
	35	195,34	0	1	1
	40	1215,62	1	1	0
	74	329,31	1	1	0
	99	1942,12	1	1	0
	187	1882,77	1	1	0
DS_002	9	392,96	1	1	0
	72	775,20	1	1	0
	102	125,15	0	0	0
	108	124,06	0	0	0
	109	123,40	0	0	0
	110	130,96	0	0	0
	111	136,25	0	0	0
	112	136,06	0	0	0
	113	136,00	0	0	0
	114	140,62	0	0	0
	115	161,13	0	0	0
	130	498,21	1	1	0
	154	2078,59	1	1	0

Kesalahan klasifikasi oleh sistem terjadi karena ukuran lubang yang relatif kecil, yaitu sebesar 3190 piksel atau 1% dari total area yang diproses. Kecilnya ukuran lubang membuat tingkat tekstur kekasaran dengan area sekitar menjadi tidak tegas, sehingga memiliki nilai variansi yang kecil dan diklasifikasikan sebagai objek bukan lubang.

Dari sisi waktu pemrosesan seperti yang terlihat pada tabel 3, hasil pengukuran pada data uji menunjukkan waktu rata-rata pemrosesan setiap *frame* berkisar pada 0,08730 detik untuk setiap *frame*. Dengan kata lain sistem mampu memproses sebanyak 11,45 *frame* setiap detik sehingga rekomendasi *setting* akuisisi data adalah pada 10 fps.

**Tabel III.** Hasil Pengujian Waktu Proses

No	Proses	Max time (s/f)	Min time (s/f)	Avg time (s/f)
1	Segmentation	0,11822	0,04357	0,05220
2	Build GLCM	0,08955	0,00312	0,02846
3	Calculate <i>Variance</i>	0,00185	0,00124	0,00134
4	Classification	0,00000	0,00000	0,00000
5	Area Measurement	0,00923	0,00420	0,00530
Rata-rata				0,08730

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disampaikan bahwa tingkat akurasi sistem dalam mendeteksi adanya lubang adalah sebesar 91,67 dengan rata-rata akurasi pengukuran luas area lubang sebesar 95,48%. Hasil ini mengindikasikan bahwa dalam implementasi perlu ditambahkan toleransi pengukuran sebesar 5-10% untuk memperoleh data yang lebih sesuai. Pengukuran terhadap unjuk kerja sistem dari sisi waktu sebesar 0,08730 detik *per-frame* menunjukkan bahwa apabila sistem ini akan digunakan secara real-time maka *setting* akuisisi data oleh perangkat adalah 10 fps sehingga tidak terjadi keterlambatan pemrosesan.

## Daftar Pustaka

- [1] “Undang-undang republik indonesia nomor 38 tahun 2004 tentang jalan,” 2004.
- [2] “Rencana strategis kementerian pekerjaan umum 2010-2014,” Kementerian PU Republik Indonesia, 2010.
- [3] P. Hidayatullah, F. Ferizal, R. H. Ramadhan, B. Qadarsih, and F. Mulyawan, “Pendeteksi lubang di jalan secara semi-otomatis,” *Journal Politeknik Negeri Bandung*, vol. 4, 2012.
- [4] C. Koch and I. Brilakis, “Pothole detection in asphalt pavement images,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 25, no. 3, pp. 507 – 515, 2011, special Section: Engineering informatics in port operations and logistics. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034611000036>
- [5] M. Nixon and A. S. Aguado, *Feature Extraction & Image Processing, Second Edition*, 2nd ed. Academic Press, 2008.
- [6] N. Otsu, “A threshold selection method from gray-level histograms,” *Automatica*, vol. 11, no. 285-296, pp. 23–27, 1975.
- [7] B. S. V., A. Unnikrishnan, and K. Balakrishnan, “Gray level co-occurrence matrices: Generalisation and some new features,” *CoRR*, vol. abs/1205.4831, 2012.
- [8] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, “Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift,” in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference on*, vol. 2, 2000, pp. 142–149 vol.2.
- [9] P. A. Septioadi, “Hand tracking dengan menggunakan metode camshift dan kalman filter pada augmented reality,” Master’s thesis, Institut Teknologi Telkom, 2012.



# LED-based Smart Lamp with Multi Sensor

## Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor

Ade Ramdan \*, Dicky Rianto Prajitno, Herlan, Elli A. Gojali

Pusat Penelitian Informatika  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jln Cisit 21/154 D, Bandung 40135  
Indonesia

---

### Abstract

*In this paper, we propose a LED-based smart lamp prototype that integrated with sensor. The smart lamp use information of people and lighting confirmation, to turn on or turn off the lamp automatically. In addition, the sensor calculates and balances flash and ambient light exposure to decrease the light, so that can make energy efficiently in use. PIR (Passive Infrared Receiver) and Ultrasonic sensor is preferred to detect people condition in one place and LDR (Light Dependent Resistant) is preferred to detect intensity of light. In experimental system of smart lamp obtain good condition where the average of illuminance 257,6 lux. The smart lamp can detect large and small movements caused by human beings and can provide a constant room lighting.*

*keywords: Smart lamp, Presence detection, Ultrasonic*

### Abstrak

Pada tulisan ini, sebuah lampu pintar berbasis LED berbasis integrasi sensor deteksi keberadaan dan sensor deteksi cahaya diusulkan. Sensor digunakan untuk menyalakan atau mematikan lampu secara otomatis berdasarkan keberadaan orang disekitarnya. Selain itu, lampu pintar juga dapat mengatur tingkat pencahayaan yang dibutuhkan dengan memperhatikan cahaya ambien untuk mencegah terjadinya pencahayaan yang berlebih guna menghindari energi yang terbuang sia-sia. Deteksi keberadaan menggunakan penggabungan dua buah sensor yaitu PIR (*Passive Infrared Receiver*) dan Ultrasonik, sedangkan deteksi cahaya menggunakan sensor LDR (*Light Dependent Resistant*). Hasil pengujian mendapatkan sistem lampu penerangan bekerja dengan baik dan dapat memberikan pencahayaan sebesar 257,6 lux. Lampu Pintar tersebut sudah dapat mendeteksi gerakan besar dan kecil yang ditimbulkan oleh manusia dan dapat memberikan pencahayaan ruangan yang konstan.

kata kunci: Lampu pintar, Deteksi keberadaan, Ultrasonik

---

### 1. PENDAHULUAN

Sekarang ini banyak orang yang membuat lampu penerangan yang dapat mengatur cahaya lampu secara otomatis. Lampu penerangan tersebut dilengkapi dengan sensor-sensor dan alat kontrol dengan tujuan sebagai langkah dalam mencapai efisiensi [1]. Sensor-sensor yang digunakan pada lampu tersebut adalah sensor deteksi keberadaan dan sensor deteksi cahaya. Kedua sensor tersebut berfungsi untuk menyalakan/mematikan lampu secara otomatis berdasarkan keberadaan orang (*auto switch*) dan untuk mengatur tingkat

iluminasi dalam ruangan sesuai kebutuhan (*auto illumination*). Pengaturan intensitas cahaya lampu berdasarkan cahaya ambien dengan memperhatikan kontribusi pencahayaan dari luar seperti pencahayaan matahari. Adanya *auto switch* dan *auto illumination* tersebut dapat menghindari terjadinya pemborosan dalam penggunaan energi pada sistem penerangan [2]. Seperti halnya pada tulisan *Smart Lighting and Control using MSP430 & Power Line Communication* yang dibuat oleh Sanjay Belgaonkar, dkk [3] dan *Smart Lighting in Multipurpose Outdoor Environments: Energy Efficient Solution using Network of Cooperating Objects* yang dibuat oleh Anna Florea, dkk [4], dimana keduanya sama-sama membuat sebuah alat *smart lighting* yaitu teknologi pencahayaan yang menggunakan kontrol otomatis untuk mengontrol cahaya berdasarkan keberadaan, cahaya siang hari, dan lain-lain [3]. Sensor keberadaan yang digunakan masih menggunakan sensor PIR, dimana

---

\*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: ade.ramdan@lipi.go.id

Received: 22 Jul 2013; revised: 10 Aug 2013; accepted: 6 Sep 2013

Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO250

sensor PIR yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia berdasarkan gerakan tersebut masih memiliki tingkat kesalahan pada kasus gerakan kecil [5]. Selain itu lampu, sensor dan alat kontrol terpisah satu sama lainnya, sehingga dalam pemasangannya diperlukan instalasi khusus oleh orang yang memiliki keahlian khusus pula.

Lampu penerangan yang diajukan pada tulisan ini, merupakan lampu pintar berbasis LED yang memiliki fungsi yang sama seperti produk yang sudah ada. Akan tetapi, ada perbedaan dari sisi sensor keberadaan dan bentuk produk jadi. Sensor keberadaan yang digunakan pada lampu pintar ini terdiri dari dua buah sensor yaitu sensor PIR dan sensor Ultrasonik yang digabung menjadi sensor keberadaan atau dikenal dengan sensor hunian (*occupancy sensor*). Tujuan dari penggabungan kedua sensor tersebut untuk saling melengkapi kelebihan dan saling mengurangi kekurangan dari kedua sensor tersebut sehingga dapat mencegah terjadinya pemicu palsu (*False Triggers*) [6]. Perbedaan dari sisi bentuk produk adalah lampu pintar ini dibuat seperti lampu penerangan biasa yang menggunakan standar soket E27, sehingga menjadi sebuah lampu pintar (*smart lamp*) yang mudah dalam penggunaan atau pemasangannya seperti lampu pijar biasa. Dengan adanya kemudahan tersebut diharapkan lebih banyak lagi masyarakat yang berperan serta dalam pengefisienan energi listrik yang digunakan untuk penerangan.

Tulisan ini terdiri dari beberapa bagian. Bagian 2 menjelaskan tentang LED dan multi sensor yaitu sensor PIR, Ultrasonik dan LDR. Metodologi penelitian disajikan pada bagian 3, kemudian pada bagian 4 dibahas mengenai hasil dari pengujian alat yang dibuat. Tulisan ini diakhiri dengan kesimpulan pada bagian 5.

## 2. LED DAN MULTI SENSOR

Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor adalah sebuah alat lampu penerangan yang menggunakan LED (*Light Emitting Diode*) sebagai sumber cahaya penerangan dan multi sensor sebagai *auto switch* dan *auto illumination*. LED dan multi sensor tersebut terintegrasi menjadi satu produk lampu penerangan yang pintar dalam memberikan pencahayaan sesuai dengan kebutuhan secara otomatis berdasarkan keadaan cahaya ambien dan aktivitas disekitarnya.

Penggunaan LED sebagai sumber cahaya penerangan, karena LED merupakan lampu hemat energi yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan lampu konvensional lainnya selain umurnya panjang yaitu 50.000 jam juga lebih hemat dibandingkan dengan lampu pinjar dan lampu

swabalast. Selain itu, lampu LED juga ramah lingkungan karena lampu LED tidak mengandung merkuri dan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah bila dibandingkan lampu konvensional lainnya [7].

Multi sensor yang digunakan pada lampu pintar ini adalah sensor PIR, sensor Ultrasonik, dan sensor LDR. Sensor PIR (*Passive Infrared Receiver*) merupakan sebuah sensor berbasis infrared. Sesuai dengan namanya *Passive*, sensor ini hanya merespon energi dari pancaran sinar inframerah pasif yang dimiliki oleh setiap benda yang terdeteksi olehnya, yaitu biasanya adalah tubuh manusia [8]. PIR dirancang khusus untuk deteksi manusia karena sensor ini peka terhadap panjang gelombang panas manusia (8-14 m). PIR terdiri dari dua sensor inframerah, sehingga sensor mendeteksi perubahan suhu manusia dan suhu lingkungan ketika manusia melakukan gerakan [9].

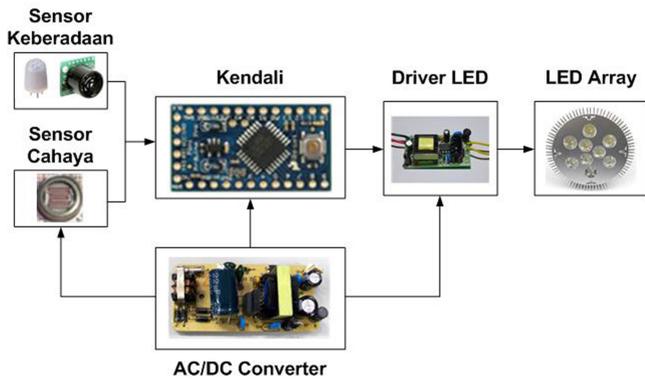
Sensor ultrasonik merupakan akustik Doppler sensor [10], yang dapat memancarkan gelombang akustik terhadap benda-benda dan menerima respon yang dipantulkan dari objek. Prinsip operasi didasarkan pada pengukuran waktu pantulan (Tf), yaitu waktu yang diperlukan untuk gelombang ultrasonik yaitu 40 KHz untuk perjalanan dari pemancar ke penerima setelah terpantul dari target [11]. Sekarang ini, sensor ultrasonik termasuk komponen yang murah dan berdaya rendah [12].

Sensor PIR dan sensor Ultrasonik digunakan sebagai sensor keberadaan yang berfungsi untuk menyalakan dan memadamkan lampu secara otomatis berdasarkan keberadaan orang atau aktivitas disekitarnya. Penggabungan kedua sensor tersebut bertujuan untuk saling melengkapi kelebihan dan saling mengurangi kekurangan dari kedua sensor tersebut sehingga dapat mencegah terjadinya *False Off* dan *False ON*. *False Off* adalah kelemahan dari sensor PIR dimana sensor PIR akan off ketika masih ada manusia disekitar area deteksi, sedangkan *False ON* adalah kelemahan dari sensor Ultrasonik dimana sensor Ultrasonik akan on ketika ada gerakan yang bukan berasal dari gerakan manusia.

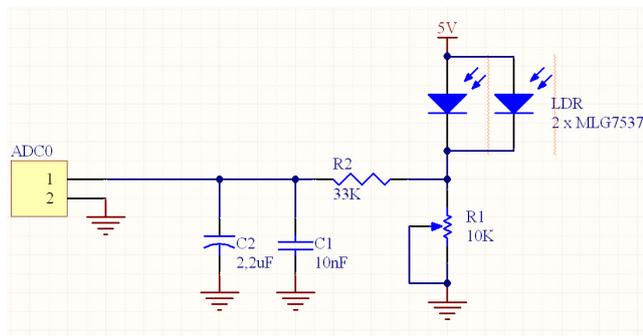
Sensor LDR (*Light Dependent Resistant*) merupakan sensor cahaya yang digunakan untuk mengatur tingkat pencahayaan (intensitas cahaya) yang dibutuhkan secara otomatis (*auto illumination*) dengan memperhatikan cahaya ambien atau cahaya disekitar lampu yang mendapat kontribusi cahaya lainnya dari luar, seperti cahaya matahari, lampu disekitarnya, dan lain-lain, sehingga tidak ada energi yang terbuang sia-sia.

### 3. LAMPU PINTAR YANG DIUSULKAN

Pada pembuatan Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor ini, metodologi dibagi menjadi dua tahapan yaitu tahapan pembuatan perangkat keras (*hardware*), dimana pada tahapan ini dibuat beberapa rangkaian elektronika dan mekanik dari Lampu Pintar Berbasis LED. Tahapan selanjutnya adalah pembuatan perangkat lunak (*software*) meliputi pembuatan program.



**Gambar 1.** Blok Diagram Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor

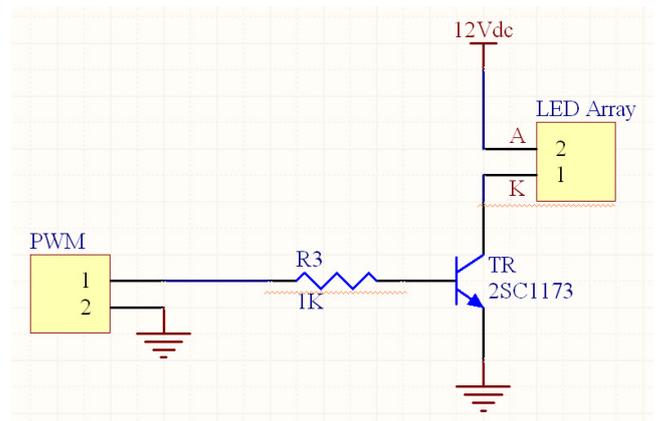


**Gambar 2.** Rangkaian Sensor Cahaya

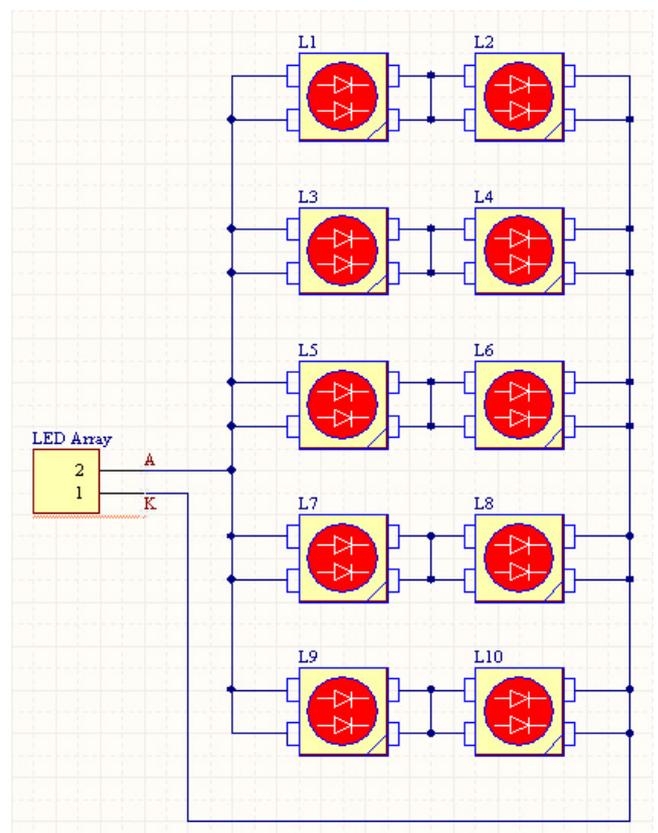
#### 3.1 Perangkat Keras

Adapun blok diagram dari sistem Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor dapat dilihat pada Gambar 1. Pembuatan perangkat keras untuk lampu pintar meliputi :

- (1) Pembuatan pada bagian elektronika untuk Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor terdiri dari :
  - (a) Sensor Keberadaan untuk mendeteksi keberadaan manusia atau aktivitas di sekitar lampu yang berfungsi sebagai *auto switch* pada lampu. Sensor keberadaan yang digunakan adalah sensor PIR



**Gambar 3.** Rangkaian *Driver LED*



**Gambar 4.** *LED Array* Sebagai Sumber Cahaya Buatan

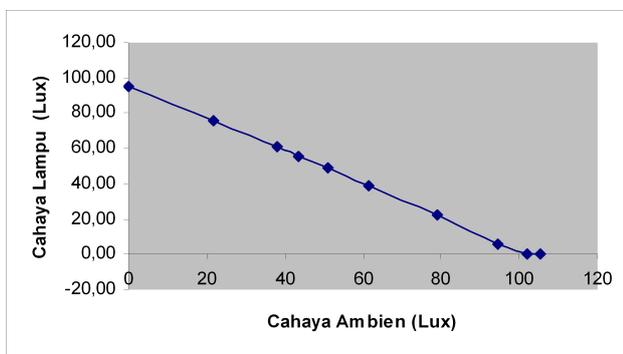
type AMN31112 buatan Panasonic dan Ultrasonik type MB 1360 buatan Maxbotix.

- (b) Sensor Cahaya untuk mengukur cahaya ambien yang berfungsi sebagai *auto illumination*. Sensor Cahaya tersebut menggunakan sensor LDR seperti pada Gambar 2.
- (c) Kendali mikrokontroler AVR ATmega328 yang berfungsi sebagai pengontrol sistem penerangan. Kendali menggunakan modul Arduino Pro Mini.

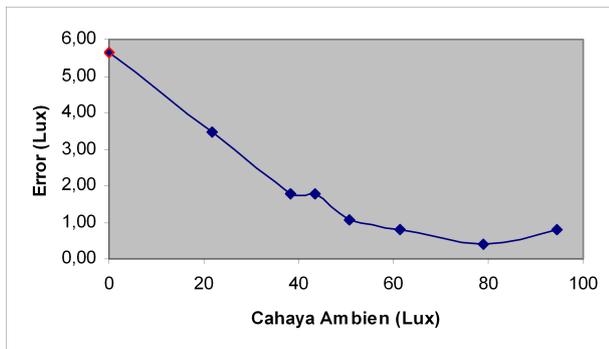




**Gambar 7.** Pengujian Intensitas dan Pengaturan Tingkat Pencahayaan



**Gambar 8.** Kontribusi Cahaya Lampu Terhadap Cahaya Ambien



**Gambar 9.** Performansi Error Kontribusi Cahaya Terhadap Cahaya Ambien

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

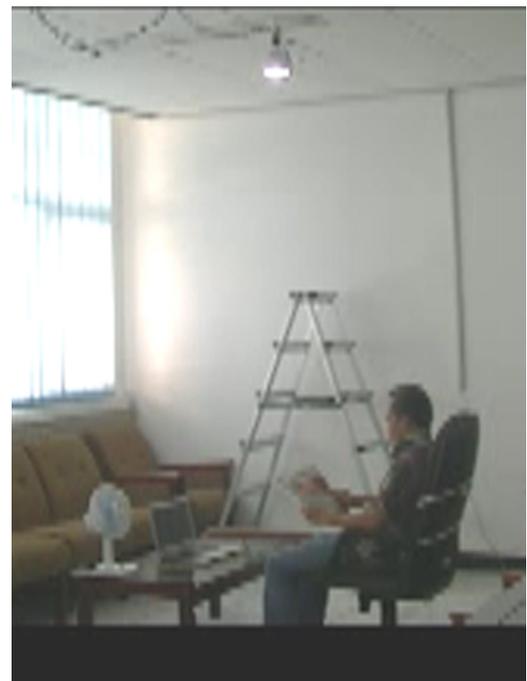
Untuk melihat hasil dari pembuatan Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor tersebut sudah berfungsi dengan baik atau tidak, maka perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

(1) Pengujian intensitas cahaya dilakukan dengan cara mengukur cahaya lampu yang dihasilkan oleh Lampu Pintar dengan menggunakan alat

ukur Light Meter Lutron LX-1108 dan Watt Meter WF-DO2A, seperti terlihat pada Gambar 7. Hasil dari pengujian cahaya Lampu Pintar yang dihasilkan oleh *LED Array* adalah sebesar 257,6 lux dengan daya 6,3 watt.

(2) Pengujian pengaturan tingkat pencahayaan beserta nilai error yang dihasilkan pada cahaya Lampu Pintar dilakukan dengan cara pemberian cahaya ambien atau cahaya disekitar lampu oleh beberapa buah lampu pijar yang dapat diatur cahayanya dengan menggunakan rangkaian dimmer, seperti terlihat pada Gambar 7. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

Hasil pengujian pada Gambar 8, terlihat bahwa Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor yang dibuat dapat memberikan pencahayaan ruangan yang konstan dimana kontribusi cahaya Lampu Pintar berbanding lurus dengan cahaya ambien atau cahaya disekitar lampu. Hasil pengujian pada Gambar 9 dapat terlihat bahwa Lampu Pintar memiliki error maksimal sekitar 5,59 % atau 5,65 lux.



**Gambar 10.** Pengujian Sensor Keberadaan Manusia

(3) Pengujian pendeteksian keberadaan manusia seperti pada Gambar 10 merupakan pengujian terhadap sensor keberadaan yang merupakan gabungan dari sensor PIR dan sensor Ultrasonik. Pengujian dilakukan untuk membuktikan bahwa dengan penggabungan kedua sensor tersebut dapat saling melengkapi kelebihan dan saling

**Tabel I.** Hasil pengujian sensor keberadaan manusia

No	Kegiatan	Sensor			Keterangan
		PIR	US	PIR + US	
1	Orang Sedang Berjalan	On	On	On	Gerakan Besar
2	Orang Sedang Duduk Sambil Membaca Koran	Off	On	On	Gerakan Kecil
3	Orang Sedang Duduk Sambil Mengetik di Note Book	Off	On	On	Gerakan Kecil
4	Orang Sedang Duduk Diam	Off	On	On	Gerakan Kecil
5	Kipas Angin Bergerak	Off	On	Off	Gerakan Benda Mati
6	Kipas Angin Diam	Off	Off	Off	Gerakan Benda Mati

menutupi kekurangan dari kedua sensor sehingga dapat mencegah terjadinya *False Off* dan *False ON*. Hasil pengujian pendeteksi keberadaan manusia dapat dilihat pada Tabel I.

Melihat hasil pengujian pada Tabel I, terbukti bahwa *False Off* terjadi pada sensor PIR dimana sensor PIR tidak dapat mendeteksi gerakan kecil yang dilakukan manusia seperti hasil pengujian pada nomor 2, 3 dan 4, sedangkan *False On* terjadi pada sensor Ultrasonik dimana sensor Ultrasonik dapat mendeteksi gerakan yang bukan berasal dari gerakan manusia seperti hasil pengujian pada nomor 5. Hasil pengujian penggabungan kedua sensor yaitu sensor PIR dan sensor Ultrasonik dapat membuktikan bahwa kelemahan dari kedua sensor tersebut dapat teratasi.

- (4) Pengujian jangkauan area deteksi keberadaan Lampu Pintar dilakukan dengan cara melakukan gerakan-gerakan besar dan kecil berdasarkan jarak antara keberadaan orang dengan Lampu Pintar. Hasil dari pengujian didapat Lampu Pintar dapat mendeteksi keberadaan orang pada jarak jangkauan total 600 cm.

## 5. KESIMPULAN

Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor dapat menghasilkan sumber cahaya penerangan sebesar 257,6 lux yang telah memenuhi tingkat pencahayaan minimum yang direkomendasikan untuk rumah tinggal sesuai dengan standar SNI 03 6575 2001, dan mampu memberikan pencahayaan ruangan yang konstan dengan error maksimal sekitar 5,65 lux. Penggabungan sensor PIR dan sensor Ultrasonik sebagai sensor keberadaan mampu mendeteksi gerakan kecil yang ditimbulkan oleh manusia. Produk Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor menggunakan standar soket E27 dapat mempermudah pengguna dalam pemasangan.

Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor ini masih memiliki kekurangan yaitu pancaran cahaya yang dihasilkan dari lampu masih

berbentuk *spot* dimana sinar menyorot terarah dan pancaran sinarnya tidak meluas/menyebar. Sebagai pengembangan kedepannya maka Lampu Pintar ini akan menggunakan reflektor dan tutup lampu berbentuk *dome* dengan warna yang bisa menyebarkan pancaran sinar (*flood*). Selain itu, Lampu Pintar Berbasis LED dengan Multi Sensor ini dapat dikembangkan pula dengan penambahan fitur komunikasi dan *emergency lamp*, sehingga menjadi lampu pintar yang multi fungsi dan dapat berinteraksi dengan lampu sejenis atau dengan perangkat lain, dan dapat dikontrol secara *remote*.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LIPI yang telah mendanai DIPA dengan Nomor : DIPA-079-01.2.450140/2013. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada penerbit atas kesempatan mempublikasikan hasil penelitian ini, dan kepada rekan-rekan yang telah memberi bantuan dalam penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] C. G. Irianto, "Studi optimasi sistem pencahayaan ruang kuliah dengan memanfaatkan cahaya alam," *JETri*, vol. 5, no. 2, pp. 1–20, 2006.
- [2] T. Keyza Novianti, Chairisni Lubis, "Perancangan prototipe sistem penerangan otomatis ruangan berjendela berdasarkan intensitas cahaya," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi*, 2012.
- [3] G. S. Sanjay Belgaonkar, E. Elavarasi, "Smart lighting and control using msp430 & power line communication," *IJCER*, vol. 2, 2012.
- [4] A. Florea, A. Farahat, C. Postelnicu, J. L. M. Lastra, and F. J. A. Sanchez, "Multipurpose outdoor environments: Energy efficient solution using network of cooperating objects," in *CONET/UBICITEC*, 2013.
- [5] Z. L. X. Ying Wen Bai, Zong Han Li, "Enhancement of the complement of an embedded surveillance system with pir sensors and ultrasonic sensors," *Consumer Electronics (ISCE)*, 2010.
- [6] W. S. Inc., "Dual technology," Technical Bulletin.
- [7] BPPT, "Perencanaan efisiensi dan elastisitas energi 2012," 2012.

- [8] T. G. Dinan Muftian Shofwa, Yoyo Somantri, "Rancang bangun trainer mikrokontroler berbasis sensor passive infrared receiver," *Jurnal ELECTRANS*, vol. 12, no. 1, pp. 21–28, Maret 2013.
- [9] R. K. Usha Triwari and S. Subramaniyan, "A technical review on human rescue robots," *VRSD International Journal of Electrical, Electronics & Communication Engineering*, vol. 2, pp. 127–134, 2012.
- [10] A. Ekimov and J. M. Sabatier, "Human detection range by active doppler and passive ultrasonic methods," *E. M. Carapezza, Ed.*, vol. 6943, no. 1, 2008.
- [11] A. Naik and M. S. Panse, "Modeling of ultrasonic sensor for range measurement for visually impaired," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 2, April 2012.
- [12] M. H.-J. Po-Sen Huang, Thyagaraju Damarla, "Multi-sensory features for personnel detection at border crossing," in *Proceedings of the 14th International Conference on Information Fusion*, 2011.



# Microcontroller Based Audio Modem Prototype by Means of Digital Direct Synthesizer and Zero Crossing Detector Technique

## Purwarupa Modem Audio Berbasis Mikrokontroler dengan Teknik Direct Digital Synthesizer dan Zero Crossing Detector

Akbari Indra Basuki \*, Oka Mahendra

Pusat Penelitian Informatika  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jln Cisit 21/154 D, Bandung 40135  
Indonesia

---

### Abstract

A microcontroller based audio modem system by means of Digital Direct Synthesizer (DDS) and Zero Crossing Detector (ZCD) technique is proposed in this paper. The modem operates in audible frequency range. The function of this modem is to transmit digital data through analog audio channel. In the modulator, DDS is used to generate sinusoidal audio signal. The modulation technique is 16-tones M-Ary Frequency Shift Keying (M-FSK) or MFSK16. In the demodulator, ZCD technique is used to measure the sinusoidal signal periods. The experiments were done in the physical layer, to analyze the optimal channel bandwidth, transfer rate, and Bit Error Rate (BER). It was found that the optimal channel bandwidth for each tone is proportional to the frequency, due to fixed error DDS calculation. The performances of the modem are capable to modulate data in transfer rate 200 bps and BER  $2 \times 10^{-3}$  without channel coding improvement.

keywords: Audio modem, DDS, M-FSK, Zero Crossing Detector, GSM

### Abstrak

Sistem modem audio berbasis mikrokontroler dengan teknik *Direct Digital Synthesizer* (DDS) dan *Zero Crossing Detector* (ZCD) diusulkan pada tulisan ini. Modem ini beroperasi pada frekuensi suara *audible*. Modem ini berfungsi untuk melewatkan data digital melalui kanal audio analog. Pada sisi *modulator*, digunakan teknik DDS untuk menghasilkan gelombang sinus audio. Teknik modulasi yang digunakan adalah 16 *tone M-Ary Frequency Shift Keying* (M-FSK) atau MFSK16. Pada sisi *demodulator*, teknik ZCD digunakan untuk mengukur perioda gelombang sinus. Pengujian dilakukan pada layer fisik modem dengan mencari lebar kanal yang optimal untuk masing-masing tone, nilai *transfer rate*, dan nilai *Bit Error Rate* (BER). Hasil pengujian menunjukkan lebar kanal optimal untuk masing-masing tone berbanding lurus dengan besar frekuensi, karena *error* perhitungan frekuensi oleh DDS bersifat tetap. Performansi modem mencapai nilai *transfer rate* 200 bps dengan BER  $2 \times 10^{-3}$ , tanpa penambahan pengkodean kanal.

kata kunci: Modem audio, DDS, M-FSK, Zero Crossing Detector, GSM

---

### 1. PENDAHULUAN

Keberadaan *Real Time Unit* (RTU) untuk memantau kondisi cuaca dan lingkungan merupakan hal yang krusial pada dewasa ini. Faktor penyebab utamanya adalah terancamnya kehidupan manusia karena

perubahan cuaca yang ekstrem dan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan analisa data cuaca dan lingkungan secara mendalam sehingga didapatkan solusi terbaik untuk mengatasinya. Selain itu, diperlukan juga suatu sistem peringatan dini yang mampu bekerja secara *realtime* untuk mengirimkan informasi potensi bencana ke masyarakat. Karena berbagai tuntutan tersebut, suatu RTU harus mampu membaca kondisi lingkungan dan cuaca yang berubah dengan cepat dan mengirimkan data tersebut secara *realtime* ke *server* pusat. Data tersebut dapat digunakan

---

\*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: akbari@informatika.lipi.go.id

Received: 14 Jul 2013; revised: 13 Sep 2013; accepted: 6 Oct 2013

Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO252

untuk analisis lebih lanjut atau sebagai bagian dari sistem peringatan dini. Sebagai konsekuensinya, RTU tidak hanya diwajibkan memiliki kanal sensor yang bervariasi akan tetapi juga harus memiliki sistem komunikasi fleksibel yang dapat digunakan di mana saja.

Pada penelitian sebelumnya, telah dikemukakan berbagai jenis sistem komunikasi data sebagai jalur komunikasi RTU dan *server* pusat [1–5]. Secara umum jenis komunikasi yang sering digunakan dapat dikategorikan menjadi dua yaitu komunikasi berbasis *provider* [1, 2, 6–8] dan mandiri [3–5]. Jenis komunikasi berbasis *provider* adalah jenis komunikasi yang menggunakan infrastruktur telekomunikasi yang disediakan oleh penyedia jasa telekomunikasi seperti *Global System for Mobile Communications* (GSM) [1, 6–8], Internet [2], *General Packet Radio Service* (GPRS) [9, 10], telepon satelit, dan lain-lain. Di sisi lain jenis komunikasi mandiri merupakan jenis komunikasi yang menggunakan infrastruktur sendiri, sehingga tidak tergantung dari jasa provider telekomunikasi, seperti RF [11], Zigbee [3, 4], atau Wifi [5, 12]. Kelebihan jenis komunikasi berbasis *provider* daripada jenis komunikasi mandiri adalah lingkup jaringan komunikasi yang luas dan terbebas dari kerumitan proses perawatan jaringan. Jenis komunikasi berbasis *provider* sering dipakai oleh RTU yang menerapkan pengawasan dalam jumlah banyak dan lingkup pengawasan yang luas. Dari berbagai macam jenis jaringan *provider*, yang paling sering digunakan adalah jenis komunikasi GSM dan GPRS. Alasan pemilihan keduanya disebabkan oleh biaya yang murah dan ketersediaan jaringan yang merata di seluruh wilayah. Khusus untuk daerah Indonesia jaringan komunikasi GPRS/3G/4G belum sepenuhnya menjangkau seluruh daerah, sehingga sistem komunikasi GSM masih diperlukan untuk menjangkau daerah pelosok. Berdasarkan kebutuhan tersebut, sebuah RTU harus dapat mendukung sistem komunikasi GSM, sehingga data hasil pembacaan RTU dapat dilewatkan melalui kanal suara GSM. Maka dari itu diperlukan *modulator* dan *demodulator* suara yang mampu mengubah data digital menjadi sinyal suara dan sebaliknya.

Penelitian untuk melewatkan data digital melalui kanal suara pernah dilakukan oleh [6–8]. Tantangan yang dihadapi pada jenis pelewatan data melalui kanal suara GSM adalah keberadaan *codec* GSM yang hanya melewatkan sinyal yang mirip suara manusia [6–8]. Disebabkan oleh keberadaan *codec* tersebut, modulasi data melalui kanal suara GSM sangat sulit dilakukan dan sering menghasilkan nilai *error* yang tinggi. Lebar kanal suara GSM yang sempit, berkisar antara 300 Hz sampai 3,4 KHz,

turut menjadi tantangan dalam menerapkan teknik modulasi sinyal yang berujung pada rendahnya kecepatan transmisi data.

Dhananjay dan kawan-kawan [6] mengembangkan metoda yang disebut Hermes. Hermes dikembangkan untuk mentransmisikan data digital melewati kanal suara yang tidak diketahui karakteristiknya. Modulasi yang digunakan adalah *Binary Frequency Shift Keying* (BFSK), demodulasi menggunakan detektor frekuensi dan perbandingan untuk menentukan informasi yang terkandung. Chmayssani [7] menggunakan teknik modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dan *Frequency Shift Keying* (FSK). Metoda ini secara khusus digunakan untuk mengatasi algoritma *speech coder* dan *Voice Activity Detector* (VAD). LaDue dan kawan-kawan [8] mengubah data digital menjadi data mirip suara agar bekerja optimal pada *voice codec* dengan teknik algoritma genetik. Penggunaan algoritma genetik akan membatasi implementasi perangkat keras, karena memerlukan komputasi yang tinggi. Pada penelitian dalam tulisan ini, digunakan modulasi M-FSK dengan tujuan agar lebih optimal memanfaatkan seluruh lebar frekuensi yang dapat digunakan daripada BFSK seperti pada penelitian sebelumnya [6]. Modem dalam penelitian ini menggunakan algoritma yang tidak memerlukan komputasi tinggi dan rangkaian elektronika yang sederhana sehingga dapat diimplementasikan pada perangkat keras secara ekonomis.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan langkah awal dalam melewatkan data digital melalui kanal suara, yaitu membuat purwarupa *modulator* dan *demodulator* yang bekerja pada kanal suara. Pengujian dilakukan pada layer fisik modem, yaitu mencari kanal optimal yang memiliki nilai *error* minimal serta menguji kecepatan transmisi dan nilai BER.

Tulisan ini diorganisasikan sebagai berikut: pada Bagian 2, landasan tentang modem audio dipresentasikan secara singkat. Bagian 3 berisi tentang rancangan modem yang diusulkan. Pada Bagian 4, hasil percobaan dan pembahasan dipresentasikan. Tulisan ini ditutup oleh sebuah kesimpulan.

## 2. MODEM AUDIO

Modem audio merupakan perangkat yang terdiri dari *modulator* dan *demodulator* yang berfungsi untuk melewatkan data digital melalui kanal audio atau suara. *Modulator* berfungsi untuk mengubah data digital menjadi sinyal suara, sedangkan *demodulator* berfungsi untuk mengubah sinyal suara menjadi data digital. Frekuensi suara yang dipakai sebagai medium komunikasi adalah 20 Hz sampai 20 KHz. Pada penelitian ini digunakan rentang frekuensi 300

Hz sampai 3,4 KHz untuk menyesuaikan lebar kanal suara sistem komunikasi GSM.

Kekurangan dari modem suara adalah dalam hal keterbatasan spektrum, sehingga hanya memiliki *bandwidth* yang sempit dan *transfer rate* yang rendah. Kelebihan dari modem audio adalah modem beroperasi pada frekuensi rendah, sehingga proses modulasi dan demodulasi mudah diimplementasikan.

Modulasi pada kanal suara dapat dilakukan dengan teknik modulasi amplitudo, frekuensi, atau fasa. Modulasi amplitudo merupakan jenis modulasi yang paling mudah diimplementasikan. Pada modulasi amplitudo *binary*, bit 1 di direpresentasikan dengan mengirimkan frekuensi pembawa sedangkan pada saat bit 0 tidak dikirim frekuensi apapun. Kelemahan dari jenis modulasi amplitudo adalah rentan terhadap noise dan distorsi.

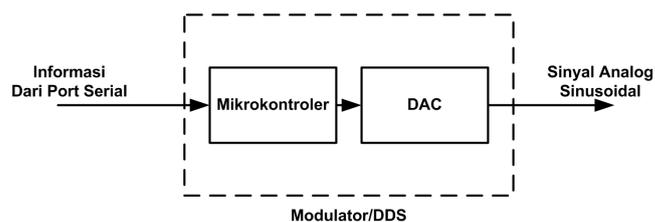
Modulasi fasa secara umum merupakan modulasi yang paling tahan terhadap distorsi maupun noise daripada jenis modulasi amplitudo maupun frekuensi. Kelemahan jenis modulasi fasa adalah sulit diimplementasikan karena membutuhkan *demodulator* yang koheren. Meskipun secara umum modulasi fasa paling tahan terhadap distorsi, pada kanal suara GSM sistem modulasi ini menghasilkan distorsi yang besar [6].

Modulasi frekuensi menggunakan lebar frekuensi yang besar untuk mengirimkan data. Sistem modulasi frekuensi menghasilkan distorsi sinyal yang kecil pada kanal suara GSM [6]. Pada jenis modulasi BFSK, bit 1 diwakili oleh sebuah frekuensi dan bit 0 diwakili sebuah frekuensi yang lain. Kedua frekuensi tersebut dikirim secara bergantian sesuai data digital yang diterima. Pada jenis modulasi MFSK, dikirimkan lebih dari satu frekuensi yang masing-masing mewakili simbol yang berbeda. Masing-masing simbol mewakili lebih dari satu bit. Misalnya pada sistem MFSK16, digunakan 16 simbol yang masing-masing direpresentasikan dalam nilai frekuensi yang berbeda, dengan masing-masing simbol mewakili 4 bit.

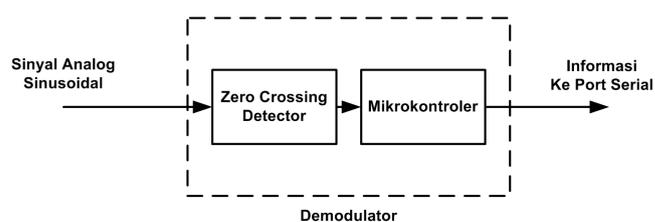
### 3. RANCANGAN MODEM AUDIO YANG DIUSULKAN

Perancangan sistem dapat dipisahkan menjadi dua bagian utama, yaitu bagian *modulator* dan bagian *demodulator*. Blok diagram sistem *modulator* dan *demodulator* ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada bagian *modulator*, data digital diterima secara serial dan di-modulasi menjadi sinyal suara. Sinyal suara yang dihasilkan berupa gelombang sinus dengan frekuensi 300 Hz sampai 3,4 KHz menggunakan teknik *Direct Digital Synthesizer* (DDS). Alasan penggunaan teknik DDS disebabkan sistem DDS sangat sederhana

dan mudah diimplementasikan. Komponen DDS terdiri dari sebuah unit prosesor dan sebuah *Digital to Analog Converter* (DAC). Unit prosesor berfungsi untuk proses *look up table* nilai variabel *tuning* dan mengakumulasi ke akumulator. DAC berfungsi untuk mengubah nilai akumulator menjadi nilai tegangan analog. Dengan demikian, teknik DDS dapat diimplementasikan pada mikrokontroler yang sederhana. Pada bagian *demodulator*, digunakan teknik *Zero Crossing Detector* (ZCD). Teknik ini dipilih karena sinyal suara yang dikirim oleh *modulator* hanya berupa sebuah sinyal sinus tunggal, yang memiliki perioda tetap. Dengan mendeteksi nilai sinyal pada tegangan nol, maka dapat diperoleh perioda sinyal dan juga frekuensinya. Prinsip kerja dari rangkaian ZCD adalah sinyal suara yang diterima dari *modulator* dikomparasikan dengan tegangan nol agar menghasilkan gelombang kotak. Dari gelombang kotak ini ditentukan perioda sinyal. perioda sinyal yang terdeteksi kemudian dikonversi menjadi data digital untuk selanjutnya dikirim melalui *port* serial.



Gambar 1. Blok diagram sistem *modulator*

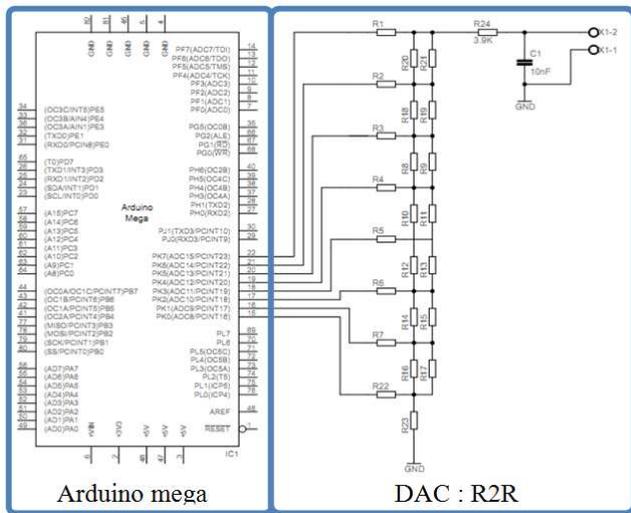


Gambar 2. Blok diagram sistem *demodulator*

#### 3.1 Modulator

Bagian *modulator* tersusun dari dua komponen utama, yaitu mikrokontroler dan rangkaian DAC. Mikrokontroler berfungsi sebagai penerjemah data digital menjadi nilai akumulator fasa yang kemudian di normalisasi sesuai dengan akurasi DAC. Modul mikrokontroler yang dipakai pada *modulator* adalah Arduino Mega 2560. Rangkaian DAC berfungsi untuk mengubah data digital dari port mikrokontroler menjadi sinyal analog dengan

menggunakan rangkaian R2R ladder. Rangkaian keseluruhan *modulator* ditunjukkan pada Gambar 3.



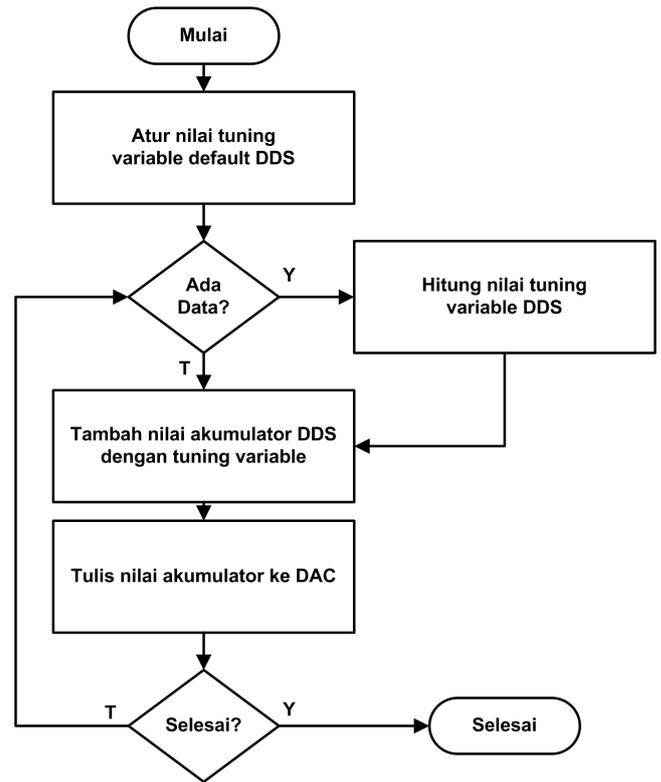
Gambar 3. Rangkaian *modulator* (DDS)

Modulasi data yang digunakan adalah jenis modulasi frekuensi, yaitu M-Ary FSK (M-FSK) dengan jumlah *tone* sebanyak jumlah kanal optimal. Pemilihan jenis modulasi frekuensi disebabkan *codec* GSM lebih toleran terhadap modulasi frekuensi dibandingkan modulasi amplitudo dan modulasi fasa [6].

Diagram alir program DDS ditunjukkan pada Gambar 4. Pemilihan kanal frekuensi dan kecepatan pengiriman data dikendalikan oleh data digital yang diterima melalui serial port. Ketika ada data yang diterima, maka mikrokontroler akan memilih kanal frekuensi yang sesuai dengan merujuk pada *look up table*. Mekanisme pemilihan kanal frekuensi dilakukan dengan menginisialisasi *tuning* variabel untuk DDS berdasarkan nilai yang diperoleh dari *look up table*. Setelah *tuning* variabel terinisialisasi, maka setiap waktu *clock* DDS, *tuning* variabel akan menaikkan nilai akumulator DDS sebesar nilai yang dimilikinya dan mengatur nilai *port* keluaran mikrokontroler sesuai nilai normalisasi akumulator tersebut. Setiap kanal frekuensi memiliki nilai *tuning* variabel yang berbeda-beda yang tersimpan pada *look up table*. Normalisasi akumulator DDS dilakukan dengan mengambil nilai 8 *most significant bit* (MSB) dari akumulator, karena *port* mikrokontroler hanya memiliki lebar data 8 bit.

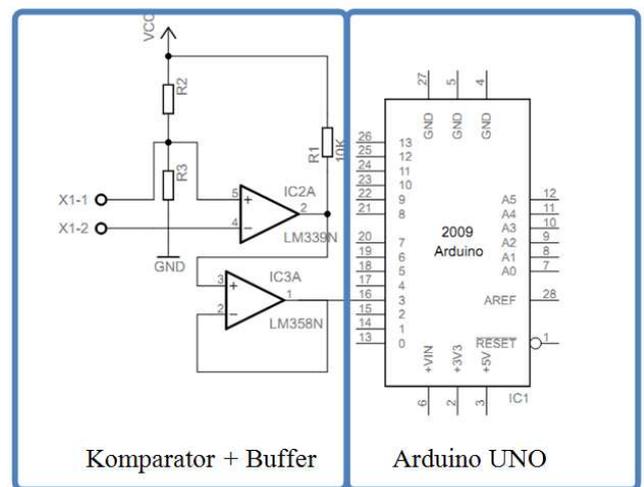
### 3.2 Demodulator

Bagian *demodulator* berfungsi untuk menerjemahkan sinyal suara yang termodulasi frekuensinya menjadi bentuk data digital. Teknik *Zero Crossing Detector* (ZCD) digunakan untuk mengukur frekuensi sinyal suara berdasarkan lebar



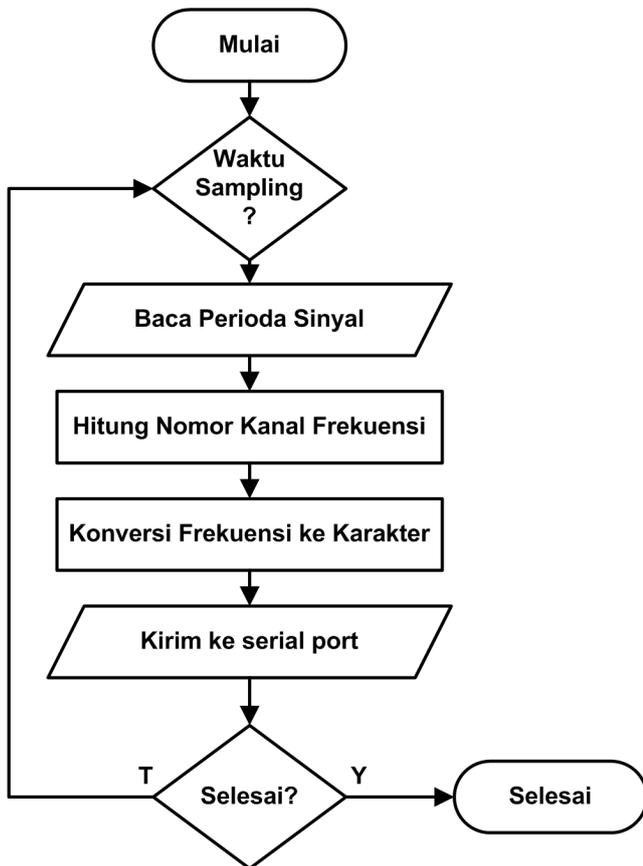
Gambar 4. Diagram Alir program *modulator*

periode dengan cara mendeteksi perubahan tegangan sinyal. Tegangan sinyal yang akan dideteksi dibandingkan dengan tegangan nol menggunakan rangkaian komparator dan selanjutnya dikonversi menjadi gelombang kotak. Modul mikrokontroler yang dipakai adalah Arduino UNO, sedangkan pada rangkaian ZCD dipakai IC komparator LM339 dan IC Op Amp LM 358 sebagai *voltage buffer*. Skema rangkaian alat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian *Zero Crossing Detector*

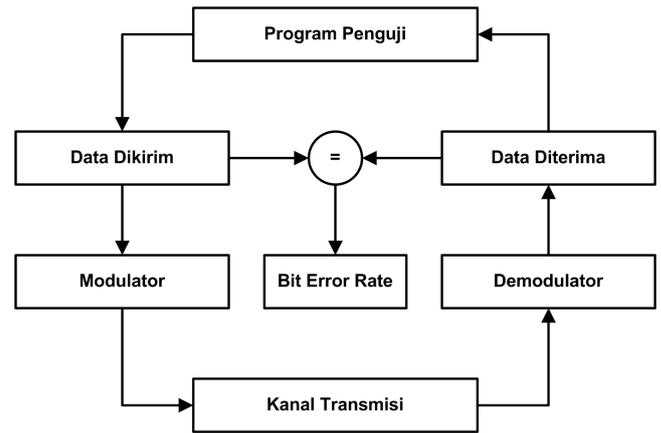
Program mikrokontroler pada *demodulator* berfungsi mengimplementasikan fungsi *demodulator* dengan menghitung lebar pulsa dan mengirimkan data yang berhasil di-demodulasi ke perangkat luar melalui *port* serial. Diagram alir program *demodulator* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir *demodulator*

### 3.3 Program pengujian

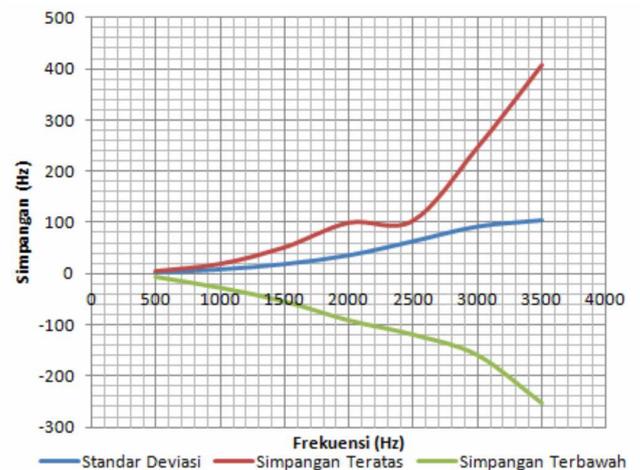
Program pengujian berfungsi untuk menguji performansi sistem modulasi dengan cara mengirim data digital ke *modulator*, menerima hasil demodulasi sinyal dari *demodulator*, dan membandingkan keduanya. Program pengujian mencatat semua data yang diterima pada *demodulator* dan menghitung jumlah bit error (BER). Kecepatan pengiriman data oleh *modulator* dikendalikan dengan cara mengirim data digital dengan periode simbol tetap, yaitu 20 ms. Dengan demikian program pengujian mampu melakukan pengujian dengan kecepatan transmisi 50 simbol/detik, atau 200 bps untuk MFSK16 dengan satu simbol merepresentasikan 4 bit. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Pengujian

## 4. HASIL DAN PENGUJIAN

Pengujian kanal optimal dilakukan dengan cara menghasilkan sinyal sinus dengan frekuensi yang berada pada *bandwidth* kanal suara GSM menggunakan *modulator*/DDS dan mengamati frekuensi yang terbaca di *demodulator*. Pemilihan kanal frekuensi dilakukan dengan melakukan sampling *bandwidth* dengan mengamati kualitas kanal frekuensi pada jangkauan tertentu. Pengujian pertama dilakukan pada rentang frekuensi 500 Hz sampai 4 KHz dengan beda frekuensi 500 Hz dan masing-masing memiliki 1000 sampel data. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8.

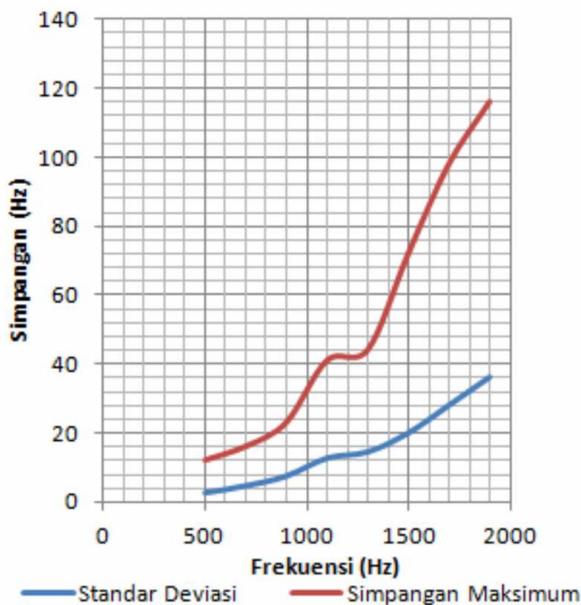


Gambar 8. Hasil pengujian kualitas bandwidth

Dari hasil pengujian dapat diamati bahwa simpangan frekuensi sangat besar untuk frekuensi di atas 2 KHz. Hasil tersebut dikarenakan ralat perhitungan nilai tuning variabel pada DDS, sehingga mengakibatkan adanya simpangan periode sebesar 2 kali nilai ralat perhitungan. Nilai ralat perhitungan terbesar dari DDS adalah sebesar nilai *clock* sumber dari DDS, yaitu frekuensi 50 KHz atau

periode 20  $\mu$ s. Dengan demikian semua frekuensi yang dihasilkan oleh DDS akan periodenya akan mengalami *error* lebih kecil dari  $2 \times 20 \mu$ s atau 40  $\mu$ s. Nilai tersebut tidak terlalu berarti untuk frekuensi rendah akan tetapi akan memberikan nilai *error* pembacaan yang besar pada frekuensi tinggi.

Berdasarkan hasil tersebut, dilakukan pengujian kedua untuk mencari jumlah kanal frekuensi yang paling optimal untuk frekuensi di bawah 2 KHz. Pengujian dilakukan mulai dari frekuensi 500 Hz sampai 1,9 KHz dengan beda frekuensi 200 Hz dan masing-masing 1000 sampel data pula. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Hasil pengujian kanal frekuensi optimal

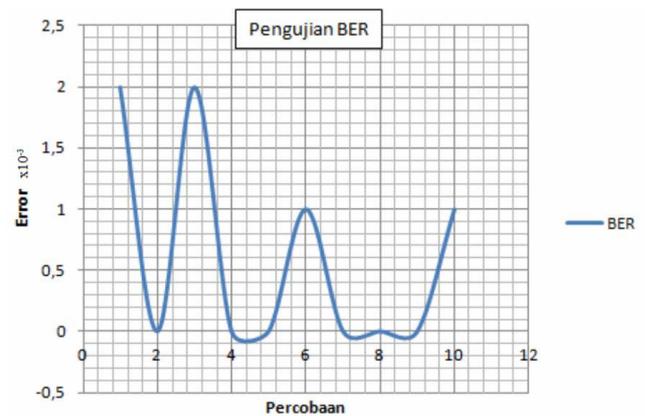
Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai simpangan frekuensi menjadi dua kali lipat untuk setiap kenaikan frekuensi sebesar 400 Hz. Dari hasil pengujian juga diperoleh adanya kenaikan simpangan yang cukup tajam pada kisaran frekuensi 900 Hz. Berdasar pengamatan tersebut maka kanal optimal dibagi menjadi dua bagian terpisah, yaitu kanal yang berada di bawah dan di atas frekuensi 900 Hz. Kanal optimal di bawah 900 Hz (300 Hz s.d. 900 Hz) memiliki simpangan maksimum 25 Hz, sedangkan kanal optimal di atas 900 Hz (900 Hz s.d. 2 KHz) memiliki simpangan maksimum 116 Hz. Rumus untuk mencari lebar kanal optimal adalah sebagai berikut:

$$JKO = \frac{\text{Bandwidth}}{2 \times SB} \quad (1)$$

Dengan *JKO* adalah jumlah kanal optimal dan *SB* adalah simpangan terbesar. Berdasarkan persamaan

1, jumlah kanal optimal di bawah 900 Hz adalah 12. Sedangkan, jumlah kanal optimal di atas 900 Hz adalah 4. Sehingga, secara total diperoleh  $12 + 4$  kanal = 16 kanal. Masing-masing kanal digunakan oleh satu *tone*. Enam belas kanal yang tersedia tersebut mencukupi untuk membangun 16 *tone* dengan modulasi M-FSK.

Pengujian kecepatan transfer data dan besar BER dilakukan oleh program penguji dengan mengirim data ke *modulator* kemudian membandingkannya dengan data yang diterima dari *demodulator*. Apabila program penguji mendeteksi ketidaksesuaian antara data yang dikirim dan data yang diterima maka program akan mencatatnya sebagai *error*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan jumlah 1000 data tiap kali pengujian. Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Hasil pengujian nilai BER

Kecepatan transmisi ditentukan oleh program penguji dengan mengubah data yang dikirim setiap 20 ms. Berdasarkan hasil pengujian, nilai maksimum BER yang diperoleh adalah  $2 \times 10^{-3}$ . Nilai *error* yang kecil tersebut disebabkan penggunaan medium kabel, sehingga dapat mengurangi noise dari lingkungan.

Pada implementasi sesungguhnya modem suara dihubungkan dengan modem GSM melalui kabel. Oleh karena itu, modem suara yang telah dibuat cukup baik untuk mengirimkan data digital melalui kanal suara. Dengan memastikan bahwa modem suara yang telah dibuat hanya memiliki nilai BER yang kecil, ke depannya dapat disimpulkan bahwa apabila terjadi *error* yang lebih besar pada komunikasi melalui kanal GSM, maka *error* tersebut sudah pasti bersumber dari internal kanal GSM, seperti *codec* GSM atau kualitas jaringan GSM. Untuk mendeteksi dan mengurangi nilai *error*, pada tahap penelitian selanjutnya dapat diimplementasikan *channel coding*.

## 5. KESIMPULAN

Berkurangnya jumlah kanal frekuensi optimal disebabkan oleh *error* perhitungan DDS. Jumlah kanal frekuensi optimal ketersediannya semakin kecil seiring naiknya frekuensi pembawa (*tone*). Transmisi data dapat mencapai standar sampling sinyal suara pada sistem GSM, yaitu 20 ms dan dengan nilai BER yang kecil ( $BER = 2 \times 10^{-3}$ ). Kecepatan transmisi data ditingkatkan menjadi 200 bps dengan menggunakan modulasi M-FSK dengan 16 *tone* atau MFSK16.

### Daftar Pustaka

- [1] S. Jean, K. Gamma, D. Donsez, and A. Lagreze, "Toward a monitoring system for high altitude objects," in *Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Technology, Application & Systems*, Nice France, 2009.
- [2] R. Sustika and O. Mahendra, "Pengembangan RTU (remote terminal unit) untuk sistem kontrol jarak jauh berbasis IP," *Jurnal INKOM*, vol. 4, no. 2, pp. 88–94, 2010.
- [3] I. M. Erwin, B. Sugiarto, and I. Sakti, "Rancang bangun sistem monitoring kualitas udara menggunakan teknologi wireless sensor network (WSN)," *Jurnal INKOM*, vol. 3, no. 1-2, pp. 90–96, 2009.
- [4] B. Santhikiran and S. M. Rao, "Multi point short range wireless data communication system using Zigbee network," *International Journal of Research in Computer Engineering and Electronics*, 2012.
- [5] Suyoto, A. Heryana, and F. Yunazar, "Desain dan implementasi sistem komunikasi wireless pada SBC Alix3d2," *Jurnal INKOM*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2011.
- [6] A. Dhananjay, A. Sharma, M. Paik, J. Chen, T. K. Kuppusamy, J. Li, and L. Subramanian, "Hermes: Data transmission over unknown voice channels," in *Mobile Computing and Networking MOBICOM*, 2010, pp. 113–124.
- [7] T. Chmayssani and G. Baudoin, "Data transmission over voice dedicated channels using digital modulations," in *18th International Conference on Radioelektronika*, 2008, pp. 1–4.
- [8] C. K. LaDue, V. V. Sapozhnykov, and K. S. Fienberg, "A data modem for GSM voice channel," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 2205–2218, 2008.
- [9] Z. Shu, W. Jian, X. Ping, and J. Zhou-shu, "GPRS wireless data terminal for heat pump remote monitoring," *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, vol. 7, 2011.
- [10] A. I. Basuki and O. Mahendra, "Aplikasi pemantau stasiun cuaca dengan javascript dan google maps api," in *Proceeding Seminar Ilmu Pengetahuan Teknik*, 2012, pp. 392–396.
- [11] M. Toledano-Ayala, G. Herrera-Ruizemai, G. M. Soto-Zarazaemail, E. A. Rivas-Araizaemail, R. D. B. Trujilloemail, and R. E. Porrs-Trejoemail, "Long-range wireless mesh network for weather monitoring in unfriendly geographic conditions," *Sensors*, vol. 11, no. 7, pp. 7141–7161, 2011.
- [12] F. Yunazar, "Implementasi teknologi wireless mesh untuk jaringan komunikasi data pada wireless weather station," *Jurnal INKOM*, vol. 6, no. 2, pp. 95–101, 2012.



# *Automated Estimation Parasitemia of Plasmodium berghei Infected Mice using CellProfiler*

## Otomatisasi Penghitungan Parasitemia Pada Mencit Terinfeksi Dengan *Plasmodium berghei* Menggunakan *CellProfiler*

Dwi Ramadhani \*, Siti Nurhayati

Center for Technology of Radiation Safety and Metrology  
National Nuclear Energy Agency of Indonesia  
Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Kotak Pos 7043 Jakarta Selatan 12070  
Indonesia

---

### **Abstract**

*In this paper, we propose a technique for automatically recording parasitemia of mice infected with Plasmodium berghei by using CellProfiler. Our purpose is to identify the difference number of parasitemia obtained by CellProfiler and manual assessment. We conducted a T-test analysis with  $p < 0.05$ . This value is considered to have a statistically significant difference between automatic and manual process. Total of 50 thin blood smear images were analyzed for both automatically using CellProfiler and manual process. Results showed that there were insignificant difference between automatic and manual process ( $p > 0.05$ ). It can be concluded that based on this research that automated quantification of parasitemia using CellProfiler was comparable but not better than manual.*

*keywords: Automation, CellProfiler, Parasitemia, Plasmodium berghei, Thin blood smear*

### **Abstrak**

Pada tulisan ini, penghitungan parasitemia pada mencit yang diinfeksi dengan *Plasmodium berghei* dengan *CellProfiler* diusulkan. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara nilai parasitemia yang diperoleh dengan menggunakan *CellProfiler* dibandingkan dengan secara manual. Uji T digunakan untuk analisis statistik dengan  $p < 0,05$  berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara penghitungan otomatis dibandingkan dengan manual. Total sebanyak lima puluh citra apusan darah tipis mencit dianalisis secara otomatis menggunakan *CellProfiler* dan secara manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara nilai persentase yang diperoleh secara otomatis dibandingkan dengan manual ( $p > 0,05$ ). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai persentase parasitemia yang diperoleh secara otomatis menggunakan *CellProfiler* sebanding tetapi tidak lebih baik dibandingkan dengan teknik manual.

kata kunci: *CellProfiler*, Otomatisasi, Parasitemia, *Plasmodium berghei*, Preparat Apusan Tipis

---

### 1. INTRODUCTION

Malaria is a serious global disease and a leading cause of morbidity and mortality in tropical and sub-tropical countries. It affects between 350 and 500 million people and causes more than one million deaths every year [1]. Malaria is caused by protozoan parasites of the genus *Plasmodium*. There are four species of *Plasmodium* that infect man and

result in four kinds of malaria fever which were *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale*, and *P. malariae*. *Plasmodium falciparum* is most common in tropical and subtropical areas. It causes the most dangerous and malignant form of malaria without relapses and contributes to the majority of deaths associated with the disease [2].

Infection of mice with rodent *Plasmodium* species is routinely conducted to evaluate the efficacy of drugs and vaccines against malaria. Percentage of infected erythrocytes by parasitemia is used to monitor the progress of infection and recovery of infected mice. The most widely used technique for determining the development stage of the malaria disease is visual microscopical evaluation

---

\*Corresponding Author. Tel: +6221-7513906

Email: dhani02@batan.go.id

Received: 22 Jun 2013; revised: 6 Jul 2013; accepted: 21 Aug 2013

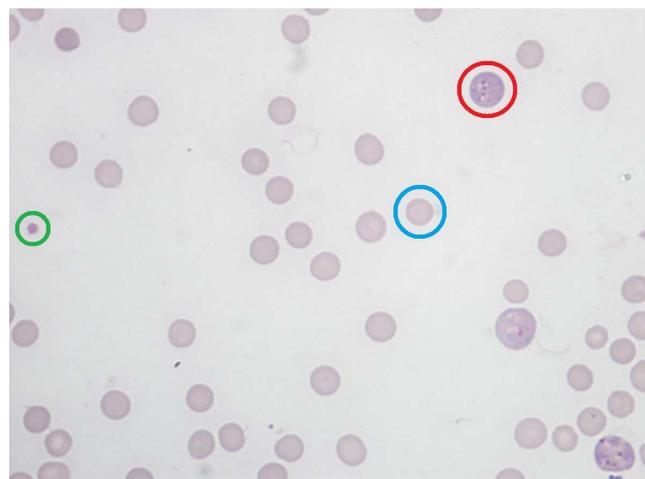
Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO263

of Giemsa stained blood smears. This process consists of manually counting the infected red blood cells against the number of red blood cells in a slide which is a laborious, time consuming and relies on the expertise of the experimenters with consequent person to-person variability [3]. Therefore, automation in the form of digital image analysis becomes obvious potential solution [4]. Infected red blood cell was indicated by the presence of dark spot inside it (red circle in Figure 1). When no dark spot is found, then is classified as a normal red blood cell (blue circle in Figure 1). If the dark spot was not inside the red blood cell then is simply an artifact (green circle in Figure 1).

Several studies have been done to automate the counting of the malaria parasite [4–8], but only a few studies that used open source software for automated quantification the parasitemia in thin blood smears. Ma et al. [4] developed Plasmodium AutoCount, which can automatically generate parasitemia values from *Plasmodium yoelii* in mouse thin blood smears. Plasmodium AutoCount, was written in the Python Programming Language and makes use of the NumPy and SciPy packages for fast numerical calculation. Unfortunately the use of Plasmodium Auto-Count is not easy and it was difficult to change the source code for biologists without training in computer vision or programming. Therefore, it was needed to develop software that easy to use and downloadable as a freeware from internet for automatically generates parasitemia values from thin blood smears. Here the used of CellProfiler an open access cell image analysis software for automatically generate parasitemia values from thin blood smears of mice that infected with *P. berghei* was reported. The results were compared to the manual counting of parasitemia from thin blood smears.

CellProfiler is freely available modular image analysis software that capable of handling hundreds of thousands of images. The software contains already-developed methods for many cell types and assays and is also an open-source, flexible platform for the sharing, testing, and development of new methods by image analysis experts. CellProfiler uses the concept of a pipelines of individual modules. Each module processes the images in some methods. The modules are placed in sequential order to create a pipeline. The pipeline usually contains image processing, object identification and measurement. Most modules are automatic but CellProfiler also allows interactive modules (for example the user can outlining a region of interest in each image). Modules are mixed and matched for a specific project and each module's settings are adjusted appropriately. Upon starting the analysis, each image (or group of images if multiple wavelengths are



**Figure 1.** Infected red blood cell (red circle), normal red blood cell (blue circle) and artifact (green circle) in thin blood smear from infected mice.

available) travels through the pipelines and is processed by each module in order [9].

## 2. METHODOLOGY

### 2.1 Giemsa-stained blood smears

Groups of mice were infected with *P. berghei* parasitized red blood cells. Three days post infection one drop of blood was taken from the tail tip of each mouse and used to make a thin blood smear. The smears were fixed with 100 % methanol for 2 minutes three times, stained with 10 % Giemsa for 15 minutes, and air-dried.

### 2.2 Image acquisition and standardization

A Nikon Eclipse E200 microscope with Nikon DS-Fi1 digital camera system was used to capture images of the smears. The smears were examined under oil immersion with a 100× objective. Automated exposure of fixed light intensity through a fully opened iris with one push white balance was used. Images were captured at a resolution of 2560 × 1920 pixels using the NISH Element D software and saved as JPEG files with the NISH Element D software.

### 2.3 Manual counting of parasitemia

A manual counting tool, Cell Counting Aid that was developed by Ma et al. [4] used for counting parasitemia values from thin blood smears. Cell Counting Aid runs on the Microsoft Windows platform and was written in Visual Basic (The programme is free software released under the General Public License (GPL) version 2 license). After an image was opened with the software, the operator uses the mouse to point to each cell and clicks the left button if the cell is uninfected or

**Table I.** Steps for the automated approaches used in this work using CellProfiler

No	Analysis steps	Modules use in CellProfiler and function of the module
1	Loading pipelines and image folder	Operator loads the pipelines with image folder in computer. Operator must check the Rescale Intensities setting so that saturated values are rescaled to 1.0 by dividing all pixels in the image by the maximum possible intensity value.
2	Resize image	Rezise module was used for resize an image due to memory constrains. Resizing method used is Resize by a fraction or multiple of the original size with the value of resizing factor is 0.5 and Interpolation method used is Bilinear.
3	Correct the illumination factor in image	ColorToGray, ImageMath, CorrectIlluminationCalculate, CorrectIlluminationApply, GrayToColor and ImageMath modules was used to corrected the illumination factor in the image. In CorrectIlluminationCalculate module the block size used is 50 smoothing method used is median filter and Smoothing filter size is 300.
4	Identify the cells that maybe infected by Plasmodium	UnmixColor module was used identify the infected cells based on their colors.
5	Identify all cells	IdentifyPrimaryObjects module was used to identify all cells in the image. Diameter of objects that categorized as cells was 50 to 200 (Min-Max). Otsu Global was selected as the thresholding method and Two-class thresholding was used. The threshold correction factor value was set to 1, and (0.0-1.0) was choose as a lower and upper bounds on threshold. Intensity was selected as a method to distinguish clumped objects and draw dividing lines between clumped objects. Size of smoothing filter was set to 30.
6	Identify Plasmodium inside the infected cells	Mask Image and IdentifyPrimaryObjects modules was used to identify Plasmodium inside the infected cells. Diameter objects that categorized as parasites was 15 to 200 (Min-Max). Otsu Global was selected as the thresholding method and Three-class thresholding was used. The threshold correction factor value was set to 2.8, and (0.0 – 1.0) was chosen as a lower and upper bounds on threshold. None was selected as a method to distinguish clumped objects and chose continue at handling of objects if excessive number of objects identified.
7	Establish a parent-child relationship between cells and Plasmodium.	RelateObjects module was used to establish a parent-child relationship between cells as a parent and Plasmodium as a child in order to make sure that infected cells detected in step 4 contain Plasmodium inside it.
8	Identify infected cells contain Plasmodium inside it.	FilterObjects module was used to filter the infected cells contain Plasmodium that represented as a parent with minimally had one or more child
9	Calculated the percentage of infected cells.	CalculateMath module was used to calculate the percentage of infected cells.
10	Export data to spreadsheet	Export to spreadsheet module was used to exports all data at the end of the analysis to Microsoft Excell.

the right button if it is infected. Parasitemia values are recalculated after each mouse click. The total number of cells and the total number of infected cells are recorded and can be exported to Microsoft Excel for analysis.

## 2.4 Automated counting of parasitemia

### 2.4.1 Validation Stage

An open access cell image analysis software CellProfiler 2.0 r10997 that developed by Broad Institute was used for an automated counting of parasitemia. CellProfiler (CP) runs on Microsoft

Windows XP SP 2 32-bit platform. Processor type used inside the computer is AMD Athlon(tm) 64 X2 Dual Core 5000+ with memory (RAM) is 1.87 GB. Pipelines were developed to automatically count the parasitemia. Before the pipelines was used to doing automatic count parasitemia, preliminary pipelines were developed for several testing images. The testing images was made using CorelDraw 13 software and the resolution of testing images was  $2560 \times 1920$  pixels.

#### 2.4.2 Running Stage

A pipelines that used in validation stage was modified to doing automatic count of parasitemia. Modification in the pipelines was done because the images files size that obtained from NISH Element D software was bigger compared to testing images in validation stage. Detail explanations about the pipelines can be found in Table I.

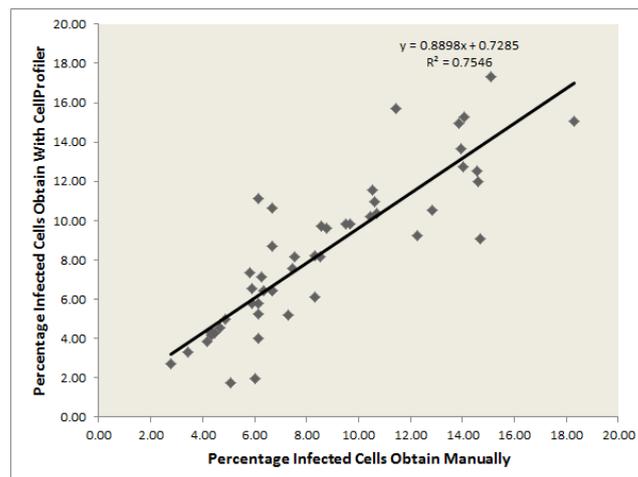
#### 2.5 Statistical analysis

Data analysis was done using the Microsoft Excel and StatPlus. Statistical significance of the difference between group means was performed by T-test with  $p < 0.05$  were considered to have a statistically significant different.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Preliminary pipelines were successful to automatically count the parasitemia in testing images. A modified pipelines was used for total of 50 blood smear images, the results showed in Table II. Scatter plots graph show that analyzes using CellProfiler had quite good linear relation with manual counting ( $r = 0.7549$ ; Figure 2). An average different value parasitemia between automatic counts using CellProfiler compare to manual count was 1.31%. Statistical analysis using T-test show that there were no significant different between manual counting and automated counting ( $P = 0.452$ ).

Even the statistical analysis showed that there was insignificant different between manual and automated counting, a significant variation between manual and automated counts was observed in several images that contain many dead parasites and white blood cells. The presence of dead parasites and white blood cells cause overestimation of parasitemia, which contributed to inaccuracies in automated counts. This problem commonly found in several researches on programme for determination parasitemia in thin blood smears. In our pipelines, the infected cells detection is based on parent-child relationship between the cells and the parasites. The red blood cell (parent) should count as the infected cell if it has at least a parasite (child)



**Figure 2.** Scatter plots comparing parasitemia defined by automatic and manual counting.

in it. It will not count be counted as an infected cell if the parasite is not overlapping with the cell. Unfortunately this concept cannot be run entirely on a calculation using CellProfiler. Many dead parasites or artifacts from Giemsa stain are closely attached with the cells and as a consequence CellProfiler will counted cells as an infected cells and this make the CellProfiler overestimated the infected cells. Different with this, white blood cells that appear in image also considered as an infected cells because CellProfiler cannot differentiate the cell infected with parasitemia and white blood cells. In order to get an accurate automated counts using CellProfiler the quality of images is also important. Images must sharply focus and well illuminated, cell density in thin blood smear also must sparser than a typical smear to allow easy examination of the programme output. Interestingly CellProfiler have a CorrectIlluminationCalculate module to correct images with not having a good illumination. That was the reason after split the color images into Red, Green and Blue components and inverts each component a CorrectIlluminationCalculate module is used to correct the illumination images. After that we used a CorrectIlluminationApply module to correct all three images.

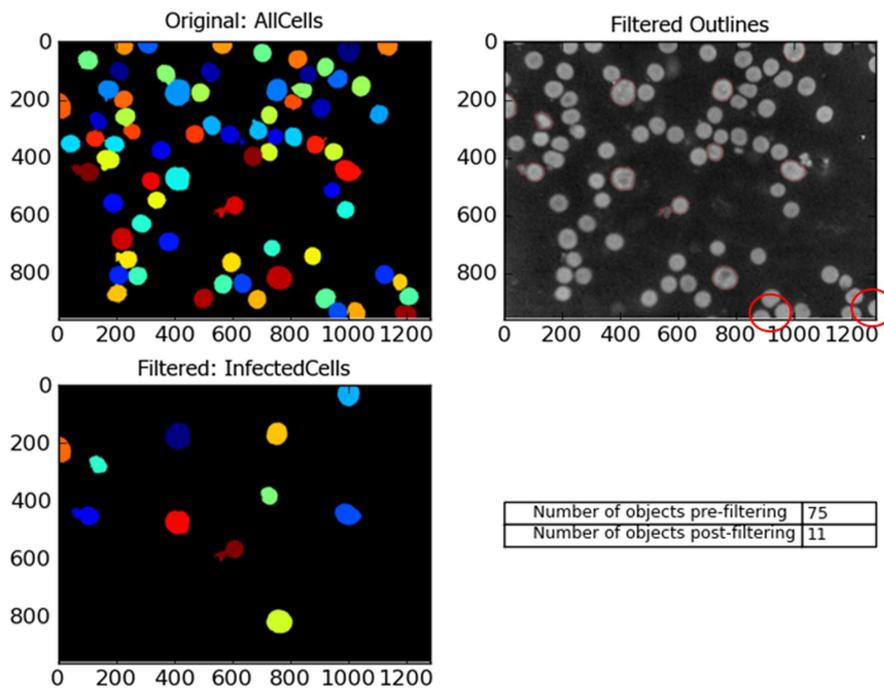
Another factor that may contribute to inaccurate determination of infected cells percentage was CellProfiler underestimated the red blood cells number. This because CellProfiler could not counted the red blood cells that appeared less than a half of the cells. For example, in Figure 3 two red blood cells were not counted with CellProfiler (in red circle). Overlapping red blood cells also can cause the inaccurate counted of the red blood cells because commonly it was counted as one cell. Overall, our pipelines worked very well for well stained and

**Table II.** Percentage Infected Cells Obtain Manually compared with CellProfiler

No	Image	Analysis Using CellProfiler			Manual Analysis			Difference
		TCN	ICN	PIC (%)	TCN	ICN	PIC (%)	
1	P101	49	3	6.12	52	3	5.76	0.36
2	P103	86	9	10.46	88	9	10.22	0.24
3	P104	48	2	4.16	52	2	3.84	0.32
4	P105	76	8	10.52	78	9	11.53	1.01
5	P107	66	7	10.60	64	7	10.93	0.33
6	P109	43	2	4.65	44	2	4.54	0.11
7	P110	49	3	6.12	36	4	11.11	4.99
8	P111	45	3	6.66	47	5	10.63	3.97
9	P112	49	3	6.12	38	2	5.26	0.86
10	P115	46	2	4.34	48	2	4.16	0.18
11	P116	46	2	4.34	46	2	4.34	0
12	P117	48	3	6.25	42	3	7.14	0.89
13	P118	57	5	8.77	52	5	9.61	0.84
14	P119	45	2	4.44	47	2	4.25	0.19
15	P120	46	2	4.34	47	2	4.25	0.09
16	P121	57	8	14.03	55	7	12.72	1.31
17	P122	62	6	9.67	61	6	9.83	0.16
18	P123	68	4	5.88	69	4	5.76	0.09
19	P125	47	4	8.51	49	4	8.16	0.35
20	P126	51	3	5.88	46	3	6.52	0.64
21	P127	53	4	7.54	49	4	8.16	0.62
22	P129	75	5	6.66	78	5	6.41	0.25
23	P130	70	6	8.57	72	7	9.72	1.15
24	P131	65	9	13.84	67	10	14.92	1.08
25	P132	71	10	14.08	72	11	15.27	1.19
27	P134	55	13	18.30	73	11	15.09	3.21
28	P136	63	8	15.09	52	9	17.30	2.21
29	P137	58	4	7.27	58	3	5.17	2.1
30	P139	63	6	9.52	61	6	9.83	0.31
31	P140	58	2	3.44	60	2	3.33	0.11
32	P141	49	3	6.12	50	2	4	2.12
33	P142	50	3	6	51	1	1.96	4.04
34	P143	48	7	14.58	50	6	12	2.58
35	P144	48	4	8.33	49	3	6.12	2.21
36	P146	30	2	6.66	31	2	6.45	0.21
37	P148	41	2	4.87	40	2	5	0.13
38	P149	45	3	6.66	46	4	8.69	2.03
39	P151	36	1	2.77	37	1	2.70	0.07
40	P152	59	3	5.08	57	1	1.75	3.33
41	P153	69	4	5.79	68	5	7.35	1.56
42	P154	67	5	7.46	66	5	7.57	0.11
43	P155	72	6	8.33	73	6	8.21	0.12
44	P156	78	10	12.82	76	8	10.52	2.3
45	P157	75	11	14.66	77	7	9.09	5.57
46	P158	63	4	6.34	62	4	6.45	0.11
47	P159	56	6	10.71	58	6	10.34	0.37
48	P160	57	7	12.28	54	5	9.25	3.03
49	P161	55	8	14.54	56	7	12.5	2.04
50	P162	43	6	13.95	44	6	13.63	0.32

Mean: 1.314 ± 1.44

TCN = Total Cells Number, ICN = Infected Cells Number, PIC = Percentage Infected Cells



**Figure 3.** Underestimated RBC counting with CellProfiler.

**Table III.** Percentage Infected Cells Obtain Manually and with CellProfiler of *P. falciparum*

No	Image Number	Analysis Using CellProfiler			Manual Analysis			Difference
		TCN	ICN	PIC(%)	TCN	ICN	PIC(%)	
1	M168	126	3	2.38	126	1	0.79	1.58
2	M170	151	2	1.32	152	1	0.65	0.66
3	M132	99	11	11.11	100	10	10	1.11
4	M138	122	9	7.38	121	9	7.43	0.05
5	M139	122	6	4.92	121	5	4.13	0.78
								Mean: $0.83 \pm 0.56$

well separated cells and free from dead parasites or artifacts from Giemsa staining that closely or attached to the cells. We also had tried in five images of thin bloods smear of *P. falciparum* that well-stained, well-separated cells and free from dead parasited or artifacts from Giemsa stain. The results showed that our pipelines also can be used for images that came from *P. falciparum* (Table III).

Several automated image-processing approaches for blood smear analysis have been attempted with some reported success. For example, an automated image processing programme has been developed by Ross et al. [6] for the diagnosis and classification of Plasmodium species, which reported a sensitivity of 85 % and a positive predictive value of 81 %. Another programme that successfully determined parasitemia in thin blood smears is Plasmodium AutoCount. Plasmodium AutoCount which was developed by Sio et al. [7]. It was designed

using the MATLAB platform involved the detection of the red blood cells using edge detection, binary morphology and clump splitting routines. Inaccuracies parasitemia detection arose mainly due to fields that contained overlapping or lysed cells and poor cell separation which resulted in Plasmodium AutoCount are overestimated the parasitemia. Plasmodium AutoCount needs approximately 30 seconds to process a single image.

Our pipelines need a longer time to process one single image compared to Plasmodium AutoCount (approximately 1.49 minutes). We are now in the process of developing another pipelines than can be used in smaller images, because at capturing images using NISH Element D we can change to smaller resolution for example to  $640 \times 480$  pixels. We hope this can increase speeds of processing image. The advantages using CellProfiler was it could be instructed to process images in

batches of several hundred to automatically generate parasitemia values without the need for supervision. This also eliminates factors such as user fatigue and lack of standardization that are often associated with manual enumeration.

#### 4. CONCLUSION

We have developed pipelines for CellProfiler software that can be used to determination of parasitemia from infected mouse blood. The parasitemia values obtain from CellProfiler show a quite good correlation with those determined by manual counting, and the variations between them are small (1.314 %). The pipelines can be used for *P. berghei* and *P. falciparum* and also can expand to estimate parasitemia more quickly. Overall it appears that in this research parasitemia defined with CellProfiler is comparable. However, the performance is not better than manual.

#### Daftar Pustaka

- [1] W. UNICEF, "World malaria report," WMR and UNICEF, Tech. Rep., 2005.
- [2] H. Hisaeda, K. Yasutomo, and K. Himeno, "Malaria: immune evasion by parasite," *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, vol. 37, no. 4, pp. 700–706, 2005.
- [3] J. D. Smyth, *Introduction to Animal Parasitology*. Cambridge, New York, USA: Cambridge University Press, 1994.
- [4] C. Ma, P. Harrison, L. Wang, and R. Coppel, "Automated estimation of parasitemia of plasmodium yoelii-infected mice by digital image analysis of giemsa stained thin blood smears," *Malaria Journal*, vol. 9, pp. 1–9, 2010.
- [5] J. Frean, "Improving quantitation of malaria burden with digital image analysis," *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 102, no. 11, pp. 1062–1063, 2008.
- [6] N. Ross, C. Pritchard, D. Rubin, and A. Duse, "Automated image processing method for the diagnosis and classification of malaria on thin blood smears," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 44, no. 5, pp. 427–436, 2006.
- [7] S. Sio, W. Sun, S. Kumar, W. Bin, S. Tan, S. Ong, H. Kikuchi, Y. Oshima, and K. Tan, "Malariacount: an image analysis-based program for the accurate determination of parasitemia," *Journal of Microbiological Methods*, vol. 68, no. 1, pp. 11–18, 2007.
- [8] M. Le, T. Bretschneider, C. Kuss, and P. Preiser, "A novel semi-automatic image processing approach to determine plasmodium falciparum parasitemia in giemsa-stained thin blood smears," *BMC Cell Biology*, vol. 9, pp. 1–12, 2008.
- [9] A. Carpenter, T. Jones, M. Lamprecht, C. Clarke, I. Kang, O. Friman, D. Guertin, J. Chang, R. Lindquist, J. Moffat, P. Golland, and D. Sabatini, "Cellprofiler: image analysis software for identifying and quantifying cell phenotypes," *Genome Biology*, vol. 7, no. 10, pp. 1–11, 2006.



# Direct Digital Synthesize based Exciter Jammer

## Exciter Jammer Berbasis Direct Digital Synthesizer

Elan Djaelani <sup>\*,1</sup>, Purwoko Adhi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Penelitian Informatika  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jln Cisit 21/154 D, Bandung 40135  
Indonesia

<sup>2</sup> Pusat Penelitian Elektronika Telekomunikasi  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jln Cisit 21/154 D, Bandung 40135  
Indonesia

---

### Abstract

*In this paper, we propose a radio transmitter jamming device modification developed. The transmitter is built by replacing Voltage Controlled Oscillator (VCO) with modules for Direct Digital Synthesizer (DDS) as an exciter. Advantages of DDS is programmed with a computer and can produce a signal with a frequency stability and frequency accuracy is very high. The use of DDS allow setting the frequency of central and deviation with very easily using software. In addition, the period or sweep time designed to use only software can be reprogrammed with DDS to function on a Linear Sweep No Dwell mode and signal trigger with a period equal to the period the minimum desired sweep. DDS allows to generate a signal jamming by narrow BW, so the power output of the Jammer could be higher and increased outreach of radio jamming. Another advantage with the use of DDS is the dimension transmitter Jammer becomes smaller.*

*keywords:* Jamming devices, DDS, Eletronics warfare

### Abstrak

Pada tulisan ini, modifikasi perangkat pemancar radio *jamming* diusulkan, dengan mengganti Voltage Controlled Oscilator (VCO) dengan modul *Direct Digital Synthesizer* (DDS) sebagai exciter. Kelebihan DDS adalah bisa diprogram dengan komputer dan menghasilkan sinyal dengan stabilitas dan akurasi frekuensi yang sangat tinggi. Penggunaan DDS memungkinkan pengaturan frekuensi tengah dan deviasi dengan sangat mudah menggunakan software. Di samping itu, periode atau waktu sweep dirancang untuk bisa diatur hanya menggunakan software dengan memprogram DDS untuk berfungsi pada mode *Linear Sweep No Dwell* dan memberikan sinyal trigger dengan periode sebesar periode sweep minimum yang diinginkan. DDS memungkinkan untuk menghasilkan sinyal *jamming* dengan BW yang sempit, sehingga power output Jammer bisa lebih tinggi dan daya jangkauan radio *jamming* meningkat. Keuntungan lain dengan penggunaan DDS adalah dimensi pemancar Jammer menjadi lebih kecil.

kata kunci: Perangkat *Jamming*, DDS, Perang elektronik

---

## 1. PENDAHULUAN

*Jamming* (pemacetan) adalah cara melumpuhkan komunikasi elektronika dengan cara menimpa atau menutupi sinyal dari suatu pemancar dengan sinyal lain (disebut sinyal *jamming*) yang mempunyai frekuensi sama dan daya (energi) lebih besar, sehingga penerima yang dituju hanya akan mendeteksi sinyal *jamming* yang mempunyai daya

lebih besar, ini akan mengakibatkan komunikasi terganggu atau bahkan macet sama sekali. *Jamming* terutama digunakan untuk melumpuhkan komunikasi radio atau *wireless* yang membawa informasi voice, video ataupun data [1, 2].

Ada beberapa cara untuk melaksanakan memacetkan komunikasi radio, tiga teknik yang paling umum dapat dikategorikan sebagai berikut [3]:

- (1) *Spoofing*. Pada jenis *jamming* ini, perangkat memaksa radio bergerak untuk mematakannya sendiri. Jenis ini sangat sulit untuk dilaksanakan karena perangkat pertama mendeteksi beberapa telepon selular di area tertentu, maka perangkat

---

\*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: elan@informatika.lipi.go.id

Received: 3 Aug 2013; revised: 25 Aug 2013; accepted: 6 Oct 2013

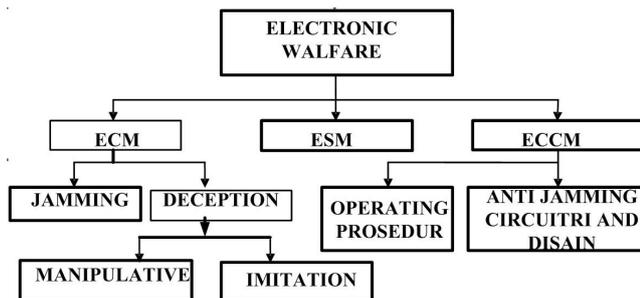
Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO257

mengirim sinyal untuk menonaktifkan telepon selular. Beberapa jenis teknik ini dapat mendeteksi telepon selular jika telepon selular dekatnya ada dan dikirim pesan untuk memberi tahu pengguna untuk mengaktifkan telepon ke mode diam [4].

- (2) *Shielding attacks*. Hal ini dikenal sebagai pelindung EMP (*electro magnetic power*). Jenis ini memerlukan menutup area di ruang Faraday sehingga perangkat didalam ruang ini tidak dapat mengirim atau menerima sinyal RF dari luar ruang ruangan. Misalnya digunakan pada ruangan gedung besar.
- (3) *Denial of Service*. Pada teknik ini perangkat mengirim sinyal derau pada frekuensi operasi yang sama dengan telepon selular, dalam rangka untuk mengurangi SNR sampai di bawah nilai minimum. *Jamming* semacam ini adalah suatu teknik yang paling sederhana dan perangkat yang diusulkan termasuk jenis ini. Beberapa penelitian *jamming* dengan *denial of service* telah dilakukan misalnya [5] yang mengusulkan *jamming* dengan teknik kolaborasi. Berbeda dengan [5], sistem *Jamming* yang diusulkan bersifat tunggal.

*Electronic Warfare (EW)* merupakan elemen penting pada konsep peperangan modern. EW dibagi menjadi tiga bagian yaitu: *electronic counter measures (ECM)*, *electronic counter-counter measures (ECCM)*, dan *electronic-warfare support measures (ESM)*. *Jamming* adalah bagian dari *electronic counter measures (ECM)*, seperti terlihat pada Gambar 1 [6].



Gambar 1. Struktur EW

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan performansi dan menurunkan dimensi *jammer* yang telah dikembangkan.

Berbeda dengan [7] yang mengusulkan jammer berbasis VCO, dalam hal ini pembangkitan sinyal *jamming* menggunakan komponen VCO. Perangkat ini dalam menentukan frekuensi tengah dan lebar frekuensi ditentukan oleh sinyal *sawtooth* secara perangkat keras. Sedangkan, *jammer* diusulkan

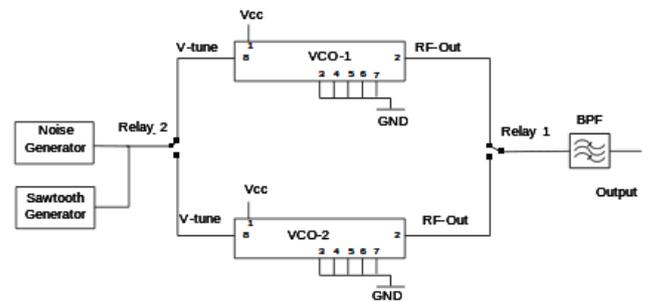
berbasis DDS yang memiliki keunggulan mudah dalam menentukan frekuensi tengah dan lebar frekuensi dengan cara memprogram computer.

Tulisan ini disusun sebagai berikut: pada bagian 2, uraian singkat *exciter* sinyal *jamming* berbasis DDS akan dijelaskan. Uraian implementasikan rangkaian akan dijelaskan pada bagian 3. Sedangkan pemograman DDS dijabarkan pada bagian 4. Hasil percobaan disajikan pada bagian 5. Tulisan ini ditutup oleh kesimpulan yang disampaikan pada bagian 6.

## 2. EXCITER UNTUK JAMMER

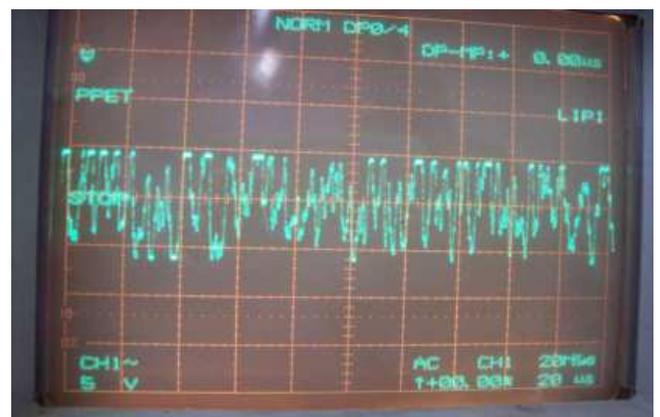
### 2.1 Exciter berbasis VCO

*Exciter jammer* berbasis VCO seperti pada Gambar 2, terdiri dari: *noise Generator*, *sawtooth Generator*, VCO1, VCO2 dan *Bandpassfilter* [1].



Gambar 2. Diagram blok Exciter

*Noise generator* adalah pembangkit *noise* Dibuat dari sebuah Dioda Zener dipasang *reverse bias*, lalu diperkuat oleh transistor dan OpAmp. Bentuk output gelombang seperti pada Gambar 3.



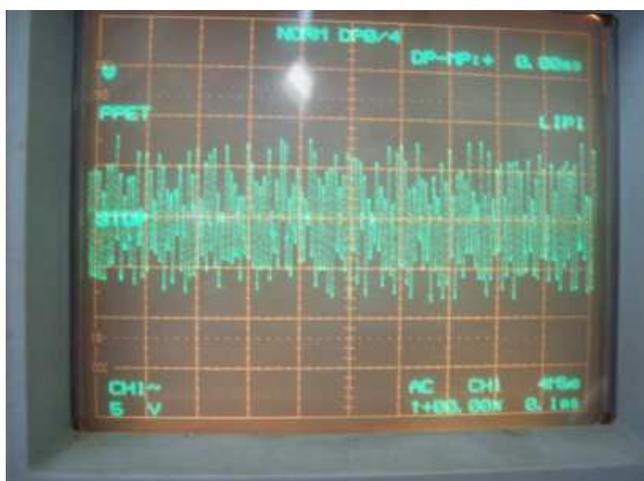
Gambar 3. Sinyal Noise

*Sawtooth Generator* adalah pembangkit sinyal gigi gergaji. Dibentuk oleh timer LM 555 dan diperkuat oleh transistor dan OpAmp Bentuk output gelombang gigi gergaji seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Sinyal Gigi Gergaji

Kedua gelombang tersebut di atas digabungkan menghasilkan bentuk gelombang seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Gabungan sinyal noise dan sinyal gigi gergaji

Gabungan sinyal tersebut menjadi input kedua VCO. VCO-1 adalah type POS 50 Mini Circuits mempunyai karakteristik seperti pada Table I dan kurva di bawah ini. Level gelombang gabungan mempunyai besar 10 Vpp. Gelombang ini akan menentukan bandwidth dari sinyal *jamming*. Karakteristik VCO-1 diberikan oleh Tabel I. Sedangkan, karakteristik VCO-2 diberikan oleh Tabel II.

*Exciter* mempunyai *output* dua *band*, jika posisi *switch* pada VCO-1 disebut band-1. Posisi *switch* pada VCO-2 disebut band-2. Dengan rincian daya dan output sebagai berikut: input daya VCO-1 dalam rentang 0-10 V dengan frekwensi output 30-45 MHz. Sedangkan daya VCO-2 adalah dalam rentang 0-10 V dan frekwensi keluaran 50-80 MHz.

*Output exciter* terbatas dua band dengan *bandwidth* sudah tertentu. Untuk mengubah lebar dan frekuensi *sweep* perlu mengubah nilai komponen R dan C pada rangkaian Sawtooth Generator. *Bandpass filter* membatasi output *exciter* antara 30-80 MHz [8]. Exciter berbasis VCO untuk

Tabel I. Karakteristik VCO-1

V Tune (Volt)	Frekuensi (MHz)	V Tune (Volt)	Frekuensi (MHz)
1	23,9	7	36,4
2	26,4	8	38,5
3	28,5	9	40,5
4	30,5	10	42,5
5	32,4	11	44,5
6	34,4	12	46,4

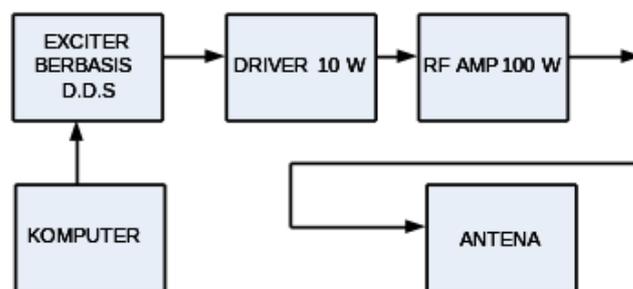
Tabel II. Karakteristik VCO-2

V Tune (Volt)	Frekuensi (MHz)	V Tune (Volt)	Frekuensi (MHz)
1	51,074	7	73,492
2	56,074	8	78,043
3	57,074	9	82,347
4	61,458	10	86,719
5	63,852	11	90,596
6	69,002	12	93,827

memilih frekuensi tengah *sweep* dan deviasi *sweep*, tergantung sinyal gigi gergaji. Pengubah sinyal gigi gergaji diperlukan untuk mengubah nilai komponen pada rangkaian generator gigi gergaji.

## 2.2 Exciter berbasis DDS

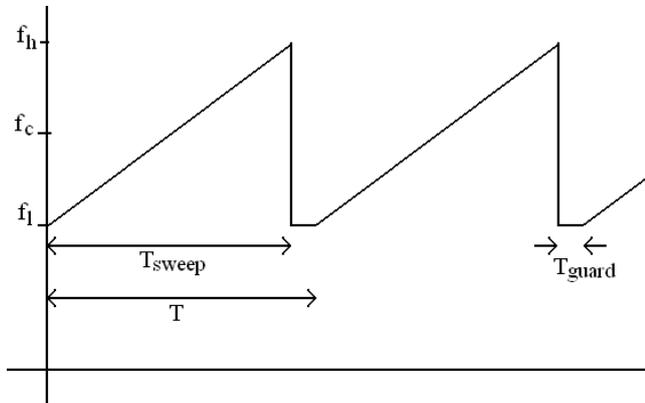
Berbeda dengan *Jammer* yang dibuat sebelumnya yaitu *jammer* dengan *exciter* berbasis VCO [1]. *Jammer* yang diusulkan mempunyai *exciter* berbasis DDS. Blok diagramnya seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram Perangkat jammer dengan exciter berbasis DDS

Blok diagram Perangkat jammer dengan exciter berbasis DDS seperti pada Gambar 6 terdiri dari: Komputer, Exciter berbasis DDS, Driver 10 Watt, RF AMP 100 Watt dan Antena. Bagian yang akan dibahas adalah *Exciter* berbasis DDS. Bagian ini membangkitkan sinyal *jamming*. Sinyal *jamming* yang diinginkan memiliki frekuensi yang naik atau turun dengan waktu. Sehingga bisa menyapu rentang frekuensi yang diinginkan dalam periode tertentu. Perangkat ini mempunyai spesifikasi: sama seperti exciter berbasis VCO, kecuali pengaturan frekuensi tengah dan deviasi dengan sangat mudah

menggunakan software. Sinyal *jamming* bisa dihasilkan dengan memodulasi secara FM sebuah sinyal dengan sinyal gigi gergaji. Representasi frekuensi waktu dari sinyal *jamming* yang ingin dibangkitkan seperti Gambar 7 [9].



**Gambar 7.** Representasi frekuensi-waktu dari sinyal *jamming*.

Periode ( $T$ ), sweeptime ( $T_{sweep}$ ), dan guardtime ( $T_{guard}$ ) memiliki hubungan seperti pada Persamaan 1. Sedangkan frekuensi tengah ( $f_c$ ), frekuensi bawah ( $f_l$ ), dan frekuensi atas ( $f_h$ ) memiliki hubungan seperti pada Persamaan 2.

$$T = T_{sweep} + T_{guard} \tag{1}$$

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \tag{2}$$

Sinyal *jamming* dalam frequency-domain dapat ditulis dengan Persamaan 3.

$$f = \begin{cases} f_l + kt & \text{if } nT \leq t < nT + T_{sweep} \\ f_l & \text{if } nT + T_{sweep} \leq t < (n + 1)T \end{cases} \tag{3}$$

Dengan  $k$  adalah kecepatan sinyal *jamming*. Dengan demikian  $k$  dapat ditulis seperti pada Persamaan 4.

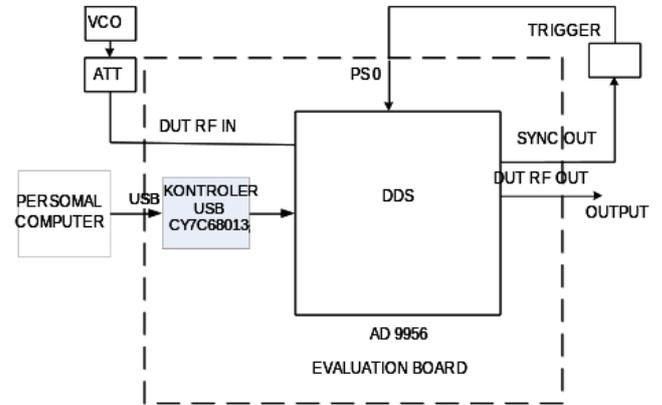
$$k = \frac{f_h - f_l}{T_{sweep}} = \frac{f_{rd}}{T_r} \tag{4}$$

Dengan  $f_{rd}$  adalah kenaikan frekuensi setiap step dan  $T_r$  adalah periode step.

### 3. IMPLEMENTASI JAMMER BERBASIS DSS

Implementasi rangkaian digunakan IC DDS AD 9956 dari Analog Device [10]. Selain DDS, IC ini juga memiliki Kontroler USB. Board

tersebut memiliki interface USB untuk keperluan pemrograman IC dan beberapa konektor SMA untuk input dan output. Diagram skema rangkaian dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Diagram skema rangkaian

Output VCO yang sudah diatenuasi digunakan sebagai clock referensi utama dari DDS. Untuk itu output Atenuator dihubungkan dengan input DUT RF IN pada evaluation board. Sebagai output DDS adalah pin DUT RF OUT dan nanti disambung ke Power Amplifier. IC VCO, Attenuator ATT dan Rangkaian TRIGGER berada di luar Evaluation Board AD9956.

#### 3.1 Pemrograman DDS

Komponen DDS yang digunakan dalam tulisan ini adalah AD9956 dari Analog Devices. Komponen memiliki 3 mode operasi [9]. Yang pertama dan juga merupakan mode operasi default adalah mode single tone. Akumulator fasa bekerja pada frekuensi tetap, sesuai dengan bilangan tuning dari profil yang aktif. Demikian juga dengan offset fasanya yang tetap dan sesuai dengan bilangan offset fasa dari profil yang aktif. Divais ini mempunyai 8 profile fasa/frekuensi yang berbeda, masing masing memiliki bilangan tuning frekuensi 48 bit dan bilangan offset fasa 14 bit. Profile dipilih dengan memberikan nilai digital pada pin pin select (PS2,PS1,PS0). Namun tidak dimungkinkan menggunakan fasa dari satu profile dan frekuensi dari profile yang lain.

Yang kedua adalah mode linier *sweep*. Mode ini diaktifkan dengan memberikan nilai logik 1 pada bit linier *sweep* enable dari kontrol register (CFR1 < 17 >= 1) namun dengan tetap membiarkan 0 pada bit linier *sweep* no dwell (CFR1 < 16 >= 0). Ketika komponen dalam mode linier *sweep*, akumulator frekuensi meningkatkan frekuensi output dari divais dari frekuensi bawah yang telah diprogram ke frekuensi

atas atau sebaliknya. Frekuensi bawah diatur oleh bilangan tuning frekuensi dari profile 0, dan frekuensi atas diatur oleh bilangan tuning frekuensi dari profile 1.

Kombinasi logika dalam akumulator frekuensi mengharuskan nilai disimpan pada FTW0 selalu lebih rendah dari nilai yang disimpan dalam FTW1. Arah *sweep* dikendalikan oleh PSO. Logika 1 pada pin ini memerintahkan output untuk *sweep* ke FTW1. Logika 0 memerintahkan output untuk *sweep* ke FTW0. Akumulator frekuensi membutuhkan 4 nilai, yang disimpan dalam register register. Yang pertama adalah nilai kenaikan frekuensi yang menentukan berapa besar kenaikan frekuensi setiap kali frekuensi naik. Nilai ini disimpan dalam rising delta frekuensi tuning word (RDFTW). Yang kedua adalah seberapa sering frekuensi naik. Nilai ini disimpan dalam rising *sweep* ramp rate (RSRR). Nilai RSRR menentukan berapa banyak siklus SYNC\_CLK yang harus dihitung oleh akumulator frekuensi dari kenaikan frekuensi ke kenaikan frekuensi berikutnya. Yang ketiga dan keempat adalah ekuivalen dari yang pertama dan kedua untuk arah yang berlawanan, yaitu *falling delta frekuensi tuning word* (FDFTW) dan *falling sweep ramp rate* (FSRR).

Mode operasi yang ketiga adalah mode linier *sweep no dwell*. Mode inilah yang digunakan kita dalam aplikasi untuk *Jammer*. Mode ini diaktifkan dengan memberikan logika 1 pada bit linier *sweep* enable dan bit linier *sweep no dwell* dari register control CFR < 17 : 16 ≥ 1. Ketika komponen dalam mode ini, akumulator frekuensi menaikkan frekuensi output dari divais dari frekuensi bawah ke frekuensi atas. Pada saat frekuensi atas tercapai, akumulator langsung kembali ke frekuensi bawah, tanpa melihat apakah PSO kembali ke 0 atau tidak. Mode ini hanya menggunakan RDFTW dan RSRR. Operasinya masih dikendalikan oleh pin PSO. Namun pin ini berfungsi sebagai triger. Ketika transisi pada pin PSO dari 0 ke 1 terdeteksi, komponen melakukan *sweep* penuh, tanpa melihat apakah pin PSO kembali ke 0 atau tidak. Setelah *sweep*, selesai *sweep* lain bisa dilakukan dengan memberikan rising edge lain pada pin PSO. Ini berarti pin PSO harus dikembalikan ke 0 sebelum *sweep* berikutnya.

AD9956 mempunyai 14 Register yang bisa diakses, dibaca atau ditulis, melalui port *interface serial*. Mereka adalah *Control Function Register* 1 (CFR1), CFR2, *Rising Delta Freq Tuning Word* (RDFTW), *Falling Delta Freq Tuning Word* (FDFTW), *Rising sweep Ramp Rate* (RSRR), *Falling sweep Ramp Rate* (FSRR), *Profile Control Register* 0 (PCR0), PCR1, PCR2, PCR3, PCR4, PCR5, PCR6, dan PCR7.

Untuk aplikasi *Jammer* register-register yang digunakan adalah: CFR1, CFR2, RDFTW, RSRR, PCR0, dan PCR1. Frekuensi *clock reference* yang digunakan adalah 300 MHz. Frekuensi yang sama akan digunakan untuk sistem clock (SYSCLK). Untuk itu kita bypass RF-DIVIDER dengan memberi bit logika 1 pada RF Divider SYSCLK MUX (CFR2(16) = 1). Dengan demikian frekuensi synchronisasi clock (SYNC\_CLK) adalah sebesar SYSCLK dibagi 4, atau sebesar 75 MHz. Frekuensi ini bisa didapat pada pin SYNC\_OUT.

Frekuensi *sweep* maksimum yang diinginkan adalah sekitar 75 kHz atau *sweep* time sekitar 0.013 ms. Frekuensi terdekat yang didapat dengan cara membagi dengan bilangan 2n adalah 73.242 kHz, di mana n=10. Berarti *sweep* time sama dengan 0.013653 ms atau 1024 siklus SYNC\_CLK. Untuk meyakinkan bahwa akumulator frekuensi kembali ke frekuensi bawah, dengan mengatur guard time sebesar 4 siklus SYNC\_CLK, sehingga *sweep* dari frekuensi bawah ke frekuensi atas dilakukan selama 1020 siklus SYNC\_CLK. Untuk mendapatkan frekuensi ekskursi sekitar 3 MHz pada  $T_{sweep} = 13.653 \mu s$ , nilai 1 dimasukkan pada RSRR. Nilai ini menghasilkan kenaikan frekuensi setiap satu siklus SYNC\_CLK atau setiap  $T_r = 0,01333 \mu s$ . Kenaikan yang dibutuhkan setiap kali adalah sekitar 2.929 kHz. Nilai terdekat yang bisa diperoleh adalah 2.932 kHz dengan memberikan nilai 164 pada RDFTW. Nilai-nilai di atas akan menghasilkan frekuensi ekskursi sebesar 2.929 MHz untuk *sweep* time yang telah ditentukan di atas. Tabel III menunjukkan nilai nilai RSRR dan RDFTW untuk periode *sweep* dan ekskursi yang lain.

**Tabel III.** Contoh Nilai Nilai RSRR dan RDFTW

$T_{sweep}$ (ms)	RSRR	RDFTW	Frekuensi ekskursi (MHz)
0,013	1	164	2.991199
0,013	1	547	9.976745
0,013	1	1639	29.893755
0,000013	1	820	29.970646
0,1365	1	164	30.017567

Dengan mengambil 55 MHz sebagai frekuensi tengah maka frekuensi rendah dan frekuensi tinggi untuk masing-masing frekuensi ekskursi dapat dilihat pada Tabel IV.

Frekuensi bawah dan frekuensi atas digunakan untuk menghitung FTW0 dan FTW1 dengan Persamaan 5.

$$FTW = \frac{f}{f_s} 2^{48} \quad (5)$$

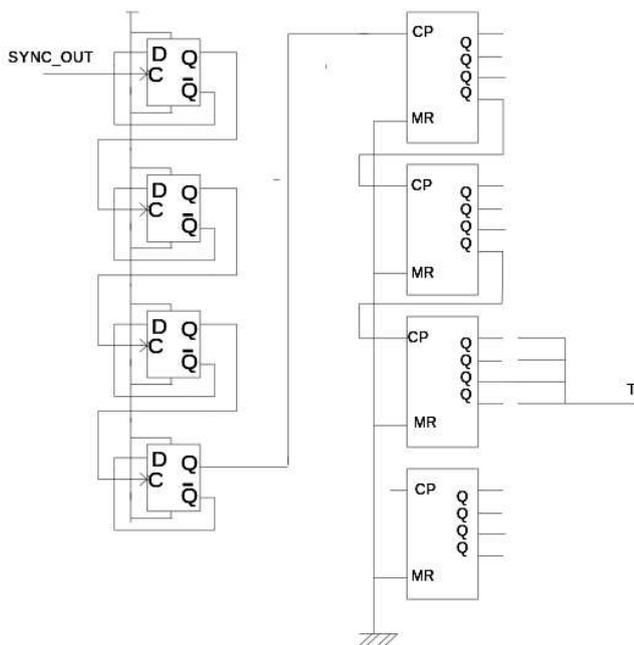
**Tabel IV.** Frekuensi rendah, tinggi dan ekskursi untuk frekuensi 55 MHz

Frek.ekskursi (MHz)	Frek.bawah (MHz)	Frek.atas (MHz)
2,9912	53,498535	56,489735
9,976745	49,992065	59,96881
29,893756	39,994507	69,888263
29,970645	39,985352	69,955997
30,017566	39,985352	70,002918

Di mana  $f_s$ =frekuensi clock referensi Selanjutnya FTW0 dan FTW1 ditulis bersama dengan POW0 dan POW1, yang dibiarkan 0, pada PCR0 dan PCR1.

### 3.2 Sinyal Triger

Triger periodik dengan perioda sebesar *sweep* time yang diinginkan diperlukan oleh DDS agar menghasilkan sinyal *jamming* periodik. Untuk menjaga koherensi sinyal triger. Sinyal triger dibangkitkan dengan membagi sinyal SYNC\_CLK yang bisa diperoleh pada pin SYNC\_OUT dari AD9956. Untuk menyakinkan bahwa pembagi bisa bekerja pada frekuensi SYNC\_CLK, untuk pembagi tahap awal digunakan komponen TTL tipe fast (F). Tipe HCT atau ACT juga bisa digunakan. Setelah didapat frekuensi yang lebih rendah, pada tahap berikutnya bisa digunakan tipe lain. Diagram rangkaian pembagi dapat dilihat pada Gambar 9.



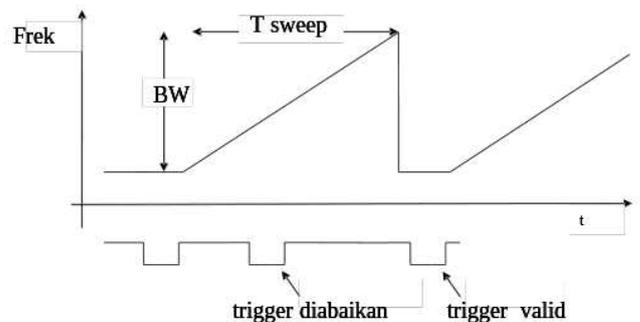
**Gambar 9.** Rangkaian pembagi untuk triger.

Dalam rangkaian tersebut digunakan dua buah IC74F74 yang masing masing memiliki dua buah D-Flipflop yang difungsikan sebagai pembagi dua.

Keempat D-Flipflop dirangkai membentuk pembagi 16. Sinyal output pada pin SYNC\_OUT sudah kompatibel dengan sinyal TTL, sehingga bisa dihubungkan langsung ke input clock dari D-Flipflop pertama. D-Flipflop terakhir menghasilkan sinyal dengan frekuensi 4.6875MHz. Selanjutnya sinyal ini dibagi 16 menggunakan salah satu counter 4 bit yang ada dalam sebuah IC 74HC393 dan difungsikan sebagai pembagi 16. Selanjutnya counter lainnya pada IC 74HC393 yang sama difungsikan sebagian sebagai pembagi 2, 4, 8, dan 16 di mana outputnya bisa diperoleh pada masing-masing dari 4 pin output. Keempat output memiliki frekuensi 146.484KHz, 73.242KHz, 36.621kHz, dan 18.310kHz yang bisa dipilih dengan jumper untuk input trigger DDS pada PS0.

### 3.3 Pengaturan Waktu *sweep*

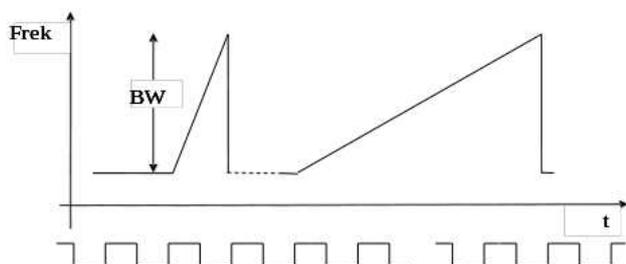
Waktu *sweep* dapat diatur hanya menggunakan software. Hal ini dimungkinkan dengan memanfaatkan perilaku IC DDS AD9956 ketika diprogram dalam mode Linear *sweep* No Dwell. Dalam mode ini, AD9956 akan mengabaikan trigger, berupa rising edge pada PS0, yang terjadi ketika melakukan *sweep* dari frekuensi bawah ke frekuensi atas yang telah ditentukan. Trigger dianggap valid dan memiliki efek jika terjadi pada saat output AD9956 sudah kembali ke frekuensi bawah. Gambar 10 mengilustrasikan trigger yang diabaikan dan trigger yang dianggap valid.



**Gambar 10.** Triger yang diabaikan dan triger valid

Waktu *sweep* dan bandwidth sepenuhnya dapat diatur menggunakan software. Sedangkan *trigger* harus dibangkitkan oleh rangkaian luar. Perilaku AD9956 ketika diprogram dalam mode *Linear sweep No Dwell*, memungkinkan pengaturan waktu *sweep* tanpa mengubah sinyal *trigger*. Yaitu dengan membuat perioda sinyal trigger sekecil mungkin atau lebih kecil dari waktu *sweep* terkecil yang diinginkan. Dengan demikian waktu *sweep* dapat diatur dalam kelipatan bulat perioda sinyal trigger. Gambar 11 mengilustrasikan waktu *sweep* sebesar 1

periode trigger dan waktu *sweep* sebesar  $N$  periode *trigger*, dengan *bandwidth* yang sama, dalam satu grafik untuk menghemat tempat.



**Gambar 11.** Waktu *sweep* 1 periode trigger dan  $N$  periode trigger.

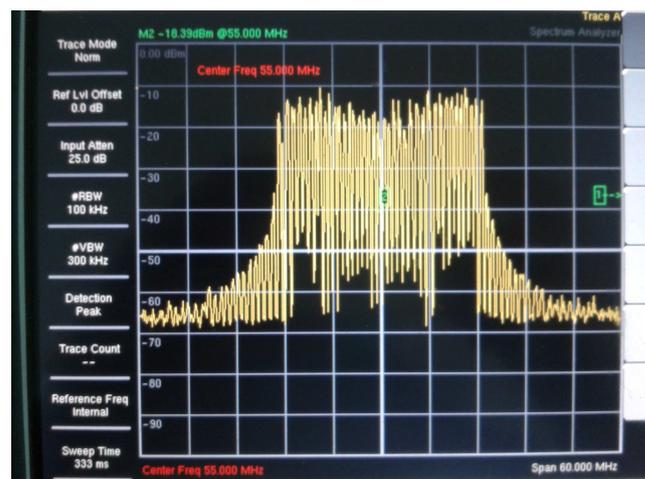
Pada aplikasi *jammer*, periode sinyal *trigger* adalah  $13.653 \mu\text{s}$ . Pengaturan waktu *sweep* dilakukan dengan memberikan nilai pada the *rising delta frequency tuning word* (RDFTW) dan the *rising sweep ramp rate word* (RSRR), sedemikian rupa sehingga frekuensi atas tercapai dalam waktu sedikit kurang dari waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan jumlah periode sinyal *trigger* yang diinginkan, tepat sebelum rising edge sinyal *trigger* tiba.

Pemrograman DDS ini secara teknisnya adalah sebagai berikut: Perhatikan Gambar 6 tentang skematik rangkaian. Pemrograman DDS, berupa akses dari dan ke register dalam IC DDS, dilakukan melalui USB dengan bantuan IC kontroler USB CY7C68013 dari Cypress yang terpasang di atas board yang sama dengan IC DDS. Pemrograman IC kontroler USB dilakukan oleh driver USB, yang disediakan oleh pembuat board DDS. Akses ke DDS juga dilakukan melalui driver yang sama, menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman Visual Basic. Perangkat lunak pada Personal Computer(PC) mengirim nilai-nilai register ke IC kontroler USB melalui USB, selanjutnya IC kontroler USB meneruskan nilai-nilai register tersebut ke IC DDS.

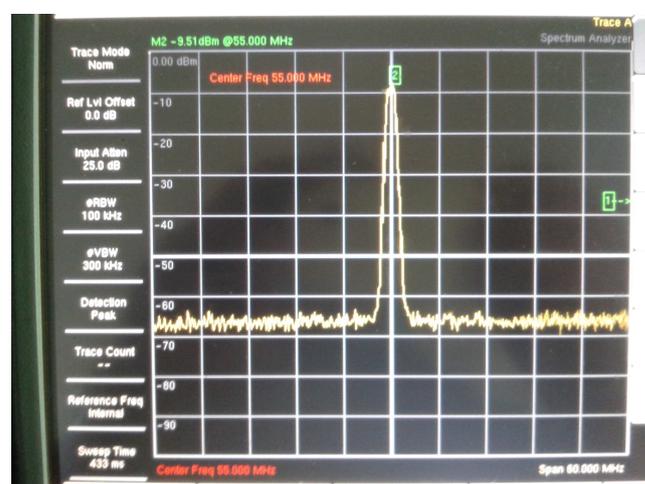
#### 4. PENGUKURAN

Sinyal output dari DDS dimonitor dengan sebuah *spectrum analyzer*. Contoh sinyal spektrum dengan frekuensi tengah 55 MHz dan frekuensi ekskursi 240 MHz yang dihasilkan oleh DDS dengan sinyal clock 300 MHz yang dapat dilihat pada 12. Sinyal diambil dari output DDS tanpa melalui filter. *Spectrum analyser* diset pada frekuensi tengah 55 MHz, span 60 MHz, dan *sweep time* 100 milidetik.

Gambar 12 merupakan contoh spectrum sinyal output. Untuk mengetahui kualitas sinyal yang



**Gambar 12.** Contoh spektrum sinyal output.



**Gambar 13.** Sinyal output DDS pada frekuensi tetap 55 MHz.

dihasilkan pembangkit sinyal *jamming*, pembangkit sinyal *jamming* diprogram untuk menghasilkan sinyal dengan frekuensi antara 30-80 MHz. Sedangkan, Gambar 13 menunjukkan spectrum sinyal tersebut. Spektrum analyser diset dengan frekuensi tengah 55 MHz dan span 60 MHz. Bentuk spectrum menunjukkan bahwa sinyal yang dihasilkan cukup baik dan memenuhi syarat untuk digunakan pada Jammer.

#### 5. KESIMPULAN

Sinyal yang dimodulasi secara FM dengan sinyal gigi gergaji menghasilkan sinyal *jamming*. Sinyal yang sama bisa dibangkitkan dengan menggunakan DDS. Untuk membangkitkan sinyal tersebut, DDS diprogram untuk mode operasi linier *sweep no dwell*. Parameter yang dimasukkan adalah frekuensi bawah, frekuensi atas, kenaikan frekuensi, dan seberapa sering kenaikan frekuensi yang masing

masing dimasukkan dalam register PCR0, PCR1, RDFTW, dan RSRR. Pengulangan dibuat dengan memberikan trigger periodik pada pin PS0. Semua parameter disesuaikan dengan periode trigger. Periode trigger merupakan periode atau waktu *sweep* terendah yang dapat dihasilkan. Waktu *sweep* lainnya dapat diatur agar mendekati kelipatan bulat dari periode trigger.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pembangkit sinyal *jamming* telah bekerja dengan baik dan memenuhi syarat untuk digunakan pada Jammer. Di mana sinyal *jamming* dapat diatur bandwidth nya, sehingga bandwidth bandwidthnya menyempit dan gain Radio Frekuensi Power Amplifier naik, seterusnya output Jammer naik. Daya jangkauan jammer naik. Penggunaan DDS pada Jammer menaikkan performansi pemancar Jammer dan downsizing.

#### Daftar Pustaka

- [1] E. Djaelani, N. Aminah, and R. A., "Simulation of exciter from device jamming by using labview," *IJBAS*, vol. 01, no. 02, pp. 274–284, October 2012.
- [2] Rustamaji and E. Djaelani, "Radar jamming suatu konsep rancang bangun," *ELECTRANS*, vol. 11, no. 2,

- September 2012.
- [3] S. Gold, "Cellular jamming," *Network Security*, vol. 2012, no. 8, pp. 15 – 18, 2012.
- [4] S. Mili, D. Sodoyer, V. Deniau, M. Heddebaut, H. Philippe, and F. Canavero, "Recognition process of jamming signals superimposed on gsm-r radiocommunications," in *Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2013 International Symposium on*, Sept 2013, pp. 45–50.
- [5] W. Wang, S. Bhattacharjee, M. Chatterjee, and K. Kwiat, "Collaborative jamming and collaborative defense in cognitive radio networks," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 9, no. 4, pp. 572 – 587, 2013.
- [6] Rustamaji, "Review peperangan elektronika (electronic warfare)," in *Prosiding Seminar Radar Nasional 2010*, 2010.
- [7] N. K. Mishra, "Development of gsm900 mobile jammer: An approach to overcome existing limitation of jammer," in *Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN), 2009 Fifth IEEE Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–4.
- [8] P. Adhi, "Pembangkitan chirp untuk radar fm cw menggunakan dds," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 11, no. 2, Juli-Desember 2011.
- [9] Minicircuits. (2012) Data sheet vco type pos 50, pos 100, pos 500 minicircuits.
- [10] A. Device, *Evaluation Board AD9956*, 2011.

# Microcontroller-based Mini Wearable ECG Design

## Desain Mini wearable ECG Berbasis Mikrokontroler

Sugondo Hadiyoso, Koredianto Usman \*, Achmad Rizal, Radian Sigit

Faculty of Engineering  
Telkom University  
Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40257  
Indonesia

---

### Abstract

*Electrocardiogram (ECG) is a biopotential signal which generated by electrical activity of the heart muscle cells. ECG is taken by placing electrodes at a certain point a person's body. This research propose a wearable ECG device. This device can be used to monitor athlete's heart condition. ECG device is designed in small size that can be put on the waist with a mini LCD to view ECG signal graph. The ECG system used 3 lead's configuration based on modified Einthoven triangle method then called modified chest lead. Electrodes that placed on the body, taking electrical signal activity of the heart then the signal is amplified and filtered by signal conditioning. By Analog to Digital Converter signals are converted into digital data then the microcontroller reads data from ADC and displays graphs of signal and heart rate on the Nokia 5110s LCD screen.*

*keywords:* Electrocardiogram, Biomedik, Einthoven, ADC, Nokia 5110

### Abstrak

Electrocardiogram (ECG) merupakan suatu sinyal biopotensial hasil dari aktivitas listrik sel otot jantung. ECG diambil dengan memasang elektroda pada titik tertentu tubuh seseorang. Pada tulisan ini, diusulkan sebuah perangkat ECG digital yang dapat digunakan untuk memonitor kondisi jantung seorang atlet. ECG yang dirancang memiliki ukuran kecil yang dapat diletakkan pada pinggang dengan mini LCD sebagai penampil grafik sinyal ECG. Sistem ECG yang digunakan adalah 3 *lead* menggunakan metode segitiga *Einthoven* dengan memodifikasi titik penempatan elektroda yang disebut modifikasi *chest lead*. Elektroda yang terpasang pada tubuh, melakukan sadapan sinyal listrik jantung kemudian oleh pengkondisi sinyal dilakukan penguatan dan filter. Oleh *Analog to Digital Converter* sinyal tersebut diubah menjadi data digital selanjutnya mikrokontroler membaca data ADC dan menampilkan grafik sinyal berikut *heart rate* pada layar LCD Nokia 5110.

kata kunci: *Electrocardiogram, biomedic, Einthoven, ADC, Nokia 5110*

### 1. PENDAHULUAN

*Electrocardiogram* (ECG) merupakan suatu gambaran yang terbentuk sebagai hasil dari aktivitas listrik jantung [1]. Sinyal ECG mempunyai bentuk spesifik sehingga dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan kondisi kesehatan jantung. Seorang atlet tentunya memerlukan pemantauan kondisi jantung secara rutin terutama ketika sedang melakukan latihan supaya tetap dalam kondisi prima. Pada kondisi tertentu seorang atlet memerlukan pemantauan kondisi jantung

oleh dirinya sendiri. Untuk kondisi dimana tidak memungkinkan seorang atlet terus menerus di pantau oleh ahli klinis. Oleh karena itu dibutuhkan perangkat ECG yang yang memiliki dimensi yang relatif kecil dan *wearable*. Perangkat ECG juga dilengkapi sistem perhitungan *heart rate* sehingga atlet dapat melakukan analisis sederhana dan melakukan pemeriksaan ke ahli klinis ketika terdapat ketidaknormalan denyut jantung.

Pada penelitian sebelumnya [2–5] telah direalisasikan perangkat ECG digital berbasis PC namun perangkat tersebut masih membutuhkan tegangan catu bersumber dari PLN 220V yang tentunya tidak bersifat *mobile*, dimensi modul yang relatif besar ( $20 \times 10 \times 6$ cm), faktor keamanan yang kurang terjaga dan tidak *wearable*. Sedangkan pada penelitian [6] direalisasikan mini ECG menggunakan media penyimpanan data Flash Disk untuk keperluan monitoring secara tidak

---

\*Corresponding Author. Tel: +6222-7564108

Email: kru@ittelkom.ac.id

Received: 26 Juni 2013; revised: 6 Sep 2013; accepted: 13 Sep 2013

Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO250

langsung sehingga diperlukan ekstrak data untuk melihat sinyal ECG yang direkam. Berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan pada [2–7], pada penelitian ini diusulkan suatu perangkat ECG yang *wearable* dan *mobile*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, ECG memiliki ukuran relatif kecil dan grafik sinyal ECG ditampilkan secara langsung pada layar LCD.

Pada penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pembuatan perangkat ECG dengan PCB *board* berukuran kecil. Bagian ECG meliputi: penguat instrumentasi, filter analog, mikrokontroler dan perangkat penampil. Teknik sadapan berbasis pada metoda segitiga *Einthoven* dengan modifikasi peletakan elektroda. Sehingga dengan sistem ini diharapkan atlet dapat melakukan pemantauan kondisi jantung secara langsung ketika tidak sedang berada ditempat latihan diluar pantauan ahli medis.

Secara runtut, penjelasan untuk setiap bagian terdiri dari: pada bagian 2 dijelaskan teori ECG dan teknik pengambilan sinyal ECG, bagian 3 berisi penjelasan perancangan dan realisasi *hardware* ECG, bagian 4 berisi hasil dan diskusi, dan kesimpulan terdapat pada bagian 5.

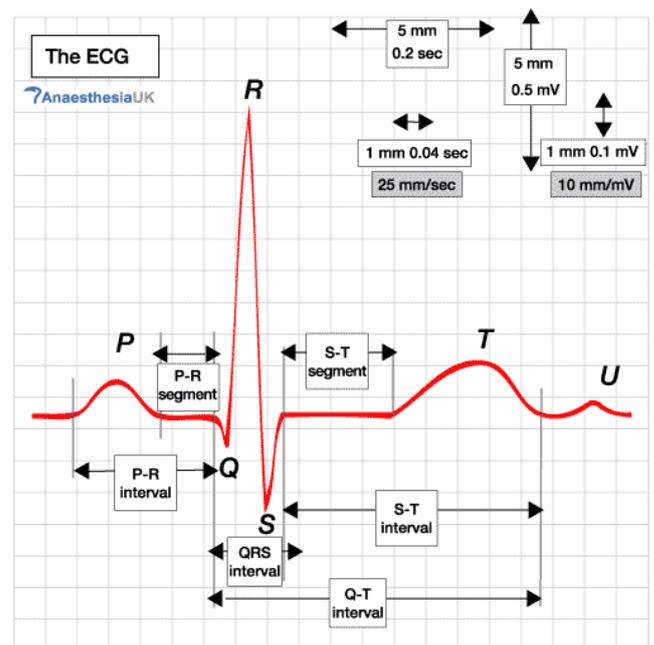
## 2. ECG BERBASIS MIKROKONTROLER

### 2.1 Elektrokardiograf

Elektrokardiograf merupakan suatu sinyal yang terbentuk sebagai hasil dari aktivitas listrik otot jantung. Sadapan sinyal EKG dapat dilakukan dengan memasang elektroda pada titik tertentu tubuh pasien. Dari bentuk sinyal dan irama sinyal EKG dapat ditentukan kondisi kesehatan jantung pasien [8]. Aktifitas listrik jantung ini dapat direkam menggunakan mesin elektrokardiogram. Bentuk sinyal EKG normal dapat dilihat pada Gambar 1.

Masing-masing gelombang pada sinyal EKG menyatakan aktifitas jantung sebagai berikut [9]:

- (1) Proses depolarisasi (jantung berkontraksi) yang menyebabkan kontraksi *atrium* dari *sinus atrialis* ke *nodulus atrio ventricularis* menimbulkan gelombang P
- (2) Akhir dari kontraksi *atria* dan awal dari kontraksi *ventrikel* menimbulkan gelombang R.
- (3) Depolarisasi pada *ventrikel* membangkitkan QRS kompleks.
- (4) Repolarisasi *ventrikel* menyebabkan terjadinya gelombang T
- (5) Interval P-R menandakan waktu dari permulaan kontraksi atrial sampai permulaan kontraksi *ventrikel*
- (6) Interval R-T menunjukkan kontraksi otot (*ventricel systole*), dan interval T-R menunjukkan adanya relaksasi otot (*ventricel diastole*).



Gambar 1. Gelombang EKG normal [10]

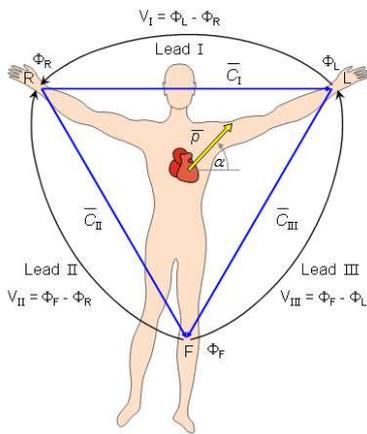
Terdapat dua mode untuk mengukur EKG: mode diagnosa dan mode monitoring. Mode diagnosa digunakan untuk melakukan diagnosa kelainan jantung dengan *range* frekuensi sinyal 0.05-100 Hz [6]. Pada mode monitoring memiliki pita frekuensi yang lebih sempit yaitu 0.5-40 Hz [6]. karena pada mode ini biasanya hanya ritme jantung saja yang dilihat [10]. Dengan lebar pita yang lebih sempit, *noise* yang dihasilkan relatif lebih kecil dan efek pergerakan tubuh bisa berkurang [6]. Pada penelitian ini, perangkat EKG yang diterapkan adalah mode monitoring.

### 2.2 Teknik Pengambilan Sinyal ECG

Teknik sadapan sinyal EKG didasarkan dengan teori segitiga *Einthoven*. Dengan metode ini diperoleh sadapan bipolar *lead 1*, *lead 2* dan *lead 3*. Sadapan yang digunakan pada penelitian ini adalah *lead 2*. Sadapan untuk masing-masing *lead* merupakan kombinasi dari elektroda yang dipasang sesuai penjelasan berikut [11]:

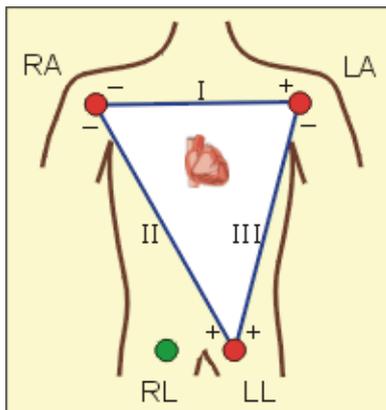
- (1) *Lead I* : elektroda positif di tangan kiri dan elektroda negatif di tangan kanan
- (2) *Lead II* : elektroda positif di kaki kiri dan elektroda negatif di tangan kanan
- (3) *Lead III* : elektroda positif di kaki kiri dan elektroda negatif di tangan kiri

Untuk melakukan pengambilan sinyal menggunakan metoda segitiga *Einthoven* mempunyai kendala jika diterapkan pada pengguna yang selalu bergerak. Membutuhkan elektroda dengan kabel yang panjang untuk menjangkau kaki



**Gambar 2.** Segitiga *Einthoven* [5]

sehingga jika diterapkan pada atlet menjadi tidak *wearable*. Untuk itu dilakukan modifikasi peletakan elektroda pada bagian dada dan sekitar perut yang disebut *modified chest lead* seperti tampak pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Segitiga *Einthoven* dan *modified chest lead* [12]

### 3. REALISASI SISTEM

#### 3.1 Metoda Pengambilan Sinyal ECG

Dalam penelitian ini digunakan kombinasi *lead* 1 (satu) untuk mengambil sinyal listrik jantung yang merupakan beda potensial diambil dari tangan kanan (RA), lengan kiri (LA), dan kaki kanan (RL). Untuk mengambil sinyal listrik jantung diperlukan elektroda yang dipasang di titik-titik tubuh seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya. Dalam penelitian ini elektroda transduser digunakan untuk konversi ion pada permukaan tubuh manusia menjadi listrik yang dapat dialirkan melalui kabel. Listrik yang dihasilkan oleh pergerakan elektron akan diproses oleh sistem di blok berikutnya.

Jenis elektroda transduser digunakan dalam elektrokardiograf memiliki karakteristik:

- Menangkap sinyal yang memiliki amplitudo yang sangat kecil antara 0.01mV - 3mV.
- Mengantisipasi impedansi yang sangat besar, 5 Mega-ohm.
- Memiliki kebocoran arus yang sangat kecil kurang dari 1 mikro-Amp.
- Frekuensi respon 0 - 150 Hz.



**Gambar 4.** Transduser Elektroda [2]

#### 3.2 Penguat Instrumentasi

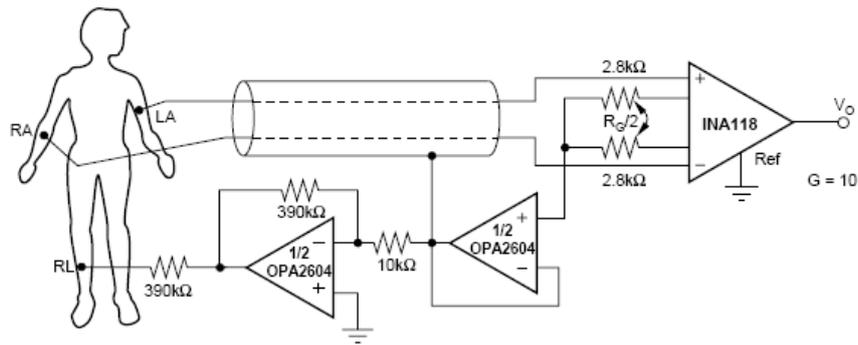
Sinyal ECG memiliki amplitudo 0.1 - 3 mV sehingga diperlukan penguat instrumentasi dengan gain tinggi. Penguat Instrumentasi tersusun dari beberapa op-amp menjadi satu buah *chip compact* yang mempunyai fungsi menguatkan sinyal amplitudo kecil dan meredam *noise*. Penguat instrumen merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk akuisisi bio-potensial. Hal ini dikarenakan pada pengukurannya akan mendapatkan sinyal bio-potensial yang sangat lemah dengan impedansi dan *noise* sumber yang sangat besar. Pada penelitian ini digunakan chip IC INA 118. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

- (1) Dapat membaca sinyal pada orde 50 Volt.
- (2) *Gain* penguatan sampai 1000 kali.
- (3) Tegangan power rendah dengan catuan arus maksimal 1.3 mA.
- (4) Mempunyai CMRR tinggi, min. 110dB.

Rangkaian penguat instrumentasi seperti tampak pada Gambar 5 berikut.

*Gain* penguatan pada penguat instrumentasi besarnya 10 kali. Untuk mendapatkan nilai penguatan 10 kali, maka nilai RG yang digunakan adalah 5.6KΩ. Nilai ini didapatkan dari persamaan berikut [13]:

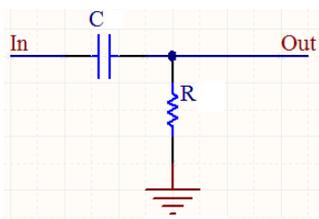
$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{RG} \tag{1}$$



**Gambar 5.** Dasar Rangkaian Penguat Instrumentasi EKG [13]

### 3.3 Filter Analog

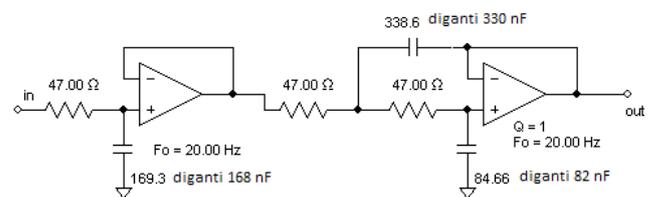
Sinyal hasil penguat instrumentasi masih bercampur dengan *noise* sehingga diperlukan filter *analog* untuk menghilangkan *noise* tersebut. Nilai cut off filter disesuaikan dengan frekuensi monitoring sinyal ECG yaitu 0.05 – 20 Hz. Untuk menghasilkan respon filter pada frekuensi tersebut, maka dirancang high pass filter dengan  $f_c$  0.05 Hz dan *low pass filter* dengan  $f_{cut-off}$  20 Hz. Desain HPF menggunakan jenis filter pasif orde 1 seperti pada Gambar 6 berikut.



**Gambar 6.** Desain High Pass Filter

Berdasarkan persamaan filter HPF orde 1 dimana  $F_c = \frac{1}{2\pi RC}$ , maka untuk mendapatkan nilai cut off sebesar 0.05 Hz digunakan nilai  $R = 33k\Omega$  dan nilai  $C = 100\mu F$ .

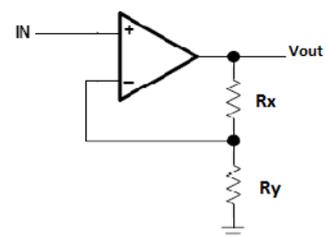
Low pass filter akan meloloskan sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi cutoff- nya. Dalam perancangan *low pass filter* frekuensi *cut-off* yang diinginkan adalah 20 Hz. Filter ini digunakan untuk menghilangkan *noise* jala-jala listrik dengan frekuensi 50-60 Hz. Dalam penelitian ini digunakan filter LPF aktif orde 3 yang tersusun dari 2 buah op-amp. Untuk mempermudah perancangan filter ini digunakan software bantu Filter Free 3.1. Gambar 7 menunjukkan hasil perancangan menggunakan Filter Free tersebut. Nilai kapasitor yang tidak ada di pasaran diganti dengan nilai yang mendekati perancangan.



**Gambar 7.** Desain Low Pass Filter

### 3.4 Penguat Operasional

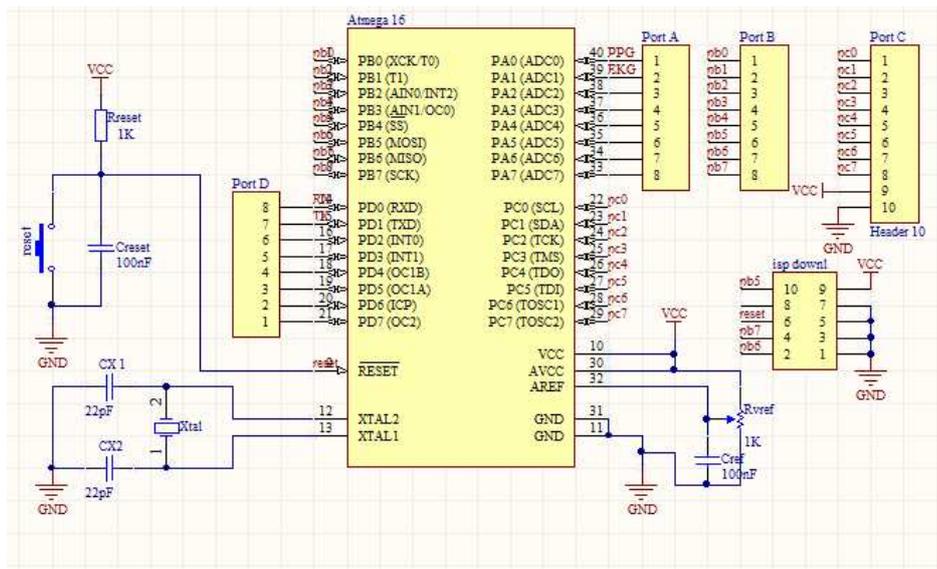
Penguatan kedua dimaksudkan untuk mendapatkan sinyal EKG dengan amplitudo yang sesuai dengan karakteristik sinyal digital untuk proses pengolahan selanjutnya. Level tegangan yang masuk ke penguat kedua berkisar 5 mV – 40 mV, agar dapat diolah dalam proses selanjutnya sinyal harus mempunyai level tegangan antara 3 V – 5 V. Oleh karena itu diperlukan gain penguatan minimal 100kali. Penguatan kedua menggunakan konfigurasi penguat *non inverting* menggunakan ICOP-07. Dengan nilai  $R_x = 100 K$  dan  $R_y = 1 K$ . Rangkaian penguat operasional ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.



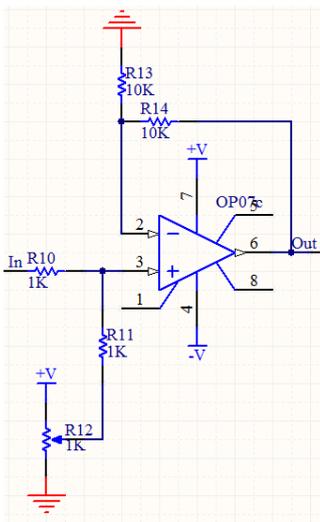
**Gambar 8.** Konfigurasi Penguat Kedua

### 3.5 Level Shifter

Sebagian sinyal ECG berada pada level negatif, sehingga dibutuhkan rangkaian penggeser level tegangan yang digunakan untuk menggeser



**Gambar 10.** Sistem Minimum Mikrokontroler



**Gambar 9.** Rangkaian Level Shifter



**Gambar 11.** LCD Nokia 5110

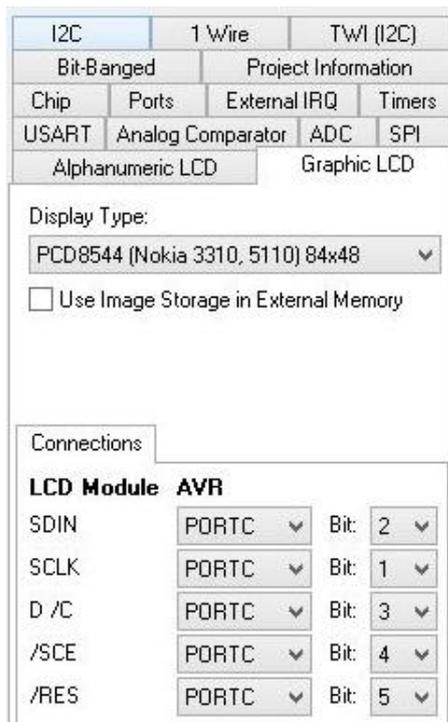
sinyal tanpa mengubah bentuk sinyal sehingga semua sinyal mempunyai nilai amplitudo positif. Dilakukan agar proses konversi sinyal *analog* ke digital dapat dilakukan dengan baik. Besar kecilnya level pergeseran sinyal dapat diatur menggunakan potensiometer yang dipasang pada rangkaian. Berikut rangkaian level shifter ditunjukkan pada Gambar 9.

### 3.6 Bagian Pengolah Data Digital dan Display

Sinyal *analog* diubah menjadi bentuk digital oleh komponen ADC yang sudah embedded pada mikrokontroler. Penelitian ini menggunakan jenis mikrokontroler ATMEGA16 karena sudah memiliki fitur ADC. Mikrokontroler supaya dapat bekerja

dengan baik maka diperlukan sebuah sistem minimum. Gambar 10 di bawah ini adalah rangkaian sistem minimum yang direalisasikan.

Untuk menampilkan sinyal ECG, digunakan LCD nokia 5110. LCD ini dipilih karena memiliki ukuran kecil dan kemampuan untuk menampilkan grafis. LCD ini bekerja menggunakan data serial yang dikirimkan oleh mikrokontroler. Untuk pemrograman, menggunakan Code Vision AVR versi 2.05.3 sebagai compiler. Dalam versi ini, library untuk mengakses LCD tersebut sudah disediakan. Gambar 11 berikut ini adalah gambar LCD nokia 5110 dan pengaturannya di Code Vision AVR.



**Gambar 12.** Pengaturan LCD

#### 4. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pengukuran desain *hardware* dilakukan dengan melihat output dari setiap blok pemrosesan sinyal. Pengukuran dibagi menjadi 2 bagian: pengukuran *analog* dan pengukuran digital. Dalam pengukuran sinyal *analog* digunakan osiloskop Tektronix tipe TDS210. Pengukuran digital dilakukan dengan melihat sinyal yang ditampilkan pada LCD

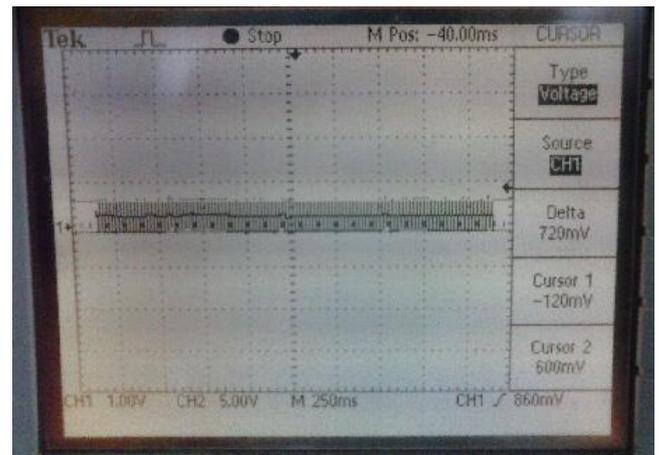
##### 4.1 Pengukuran dan Analisis Pengkondisi Sinyal

###### 4.1.1 Pengukuran Penguat Instrumentasi

Sinyal keluaran penguat instrumentasi masih mengandung banyak *noise*, baik *noise* yang dihasilkan tubuh maupun *noise* dari komponen perangkat ECG itu sendiri, bentuk dasar sinyal elektrokardiogram belum dapat dilihat. Level tegangan sinyal output dari penguat instrumentasi mencapai 720mVpp sedangkan level tegangan sinyal EKG secara teoritis memiliki amplitudo 0.1mV - 3mV. Perbedaan amplitudo antara hasil pengukuran dengan teori dikarenakan *noise* yang bercampur dengan sinyal ECG masih sangat besar. Capture sinyal keluaran penguat instrumentasi pada layar osiloskop dapat dilihat pada Gambar 10.

###### 4.1.2 High Pass Filter 0.05 Hz

Bentuk sinyal keluaran dari high pass filter masih memiliki bentuk yang sama dengan keluaran



**Gambar 13.** Sinyal Keluaran Penguat Instrumentasi

blok sebelumnya. Hal ini terjadi karena *noise* frekuensi tinggi masih terkandung pada sinyal ECG. Sedangkan amplitudo sinyal masih sama dengan sinyal keluaran blok penguat instrumentasi.

###### 4.1.3 Penguat Operasional

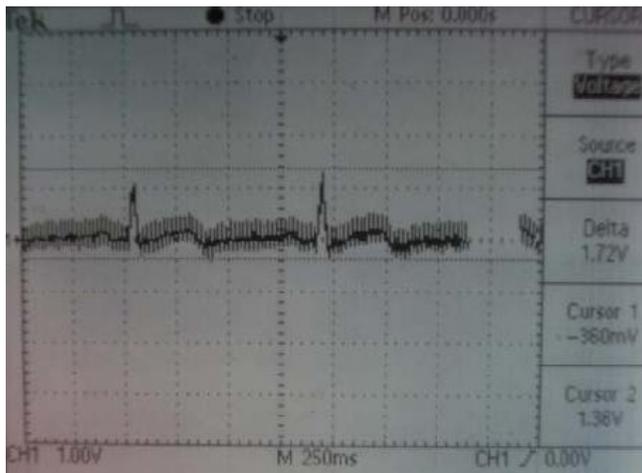
Penguat operasional digunakan untuk mengatur supaya sinyal EKG memiliki kisaran amplitudo 5 volt dimana disesuaikan dengan karakteristik dari blok ADC yang dapat membaca level tegangan 0-5 volt. Keluaran dari blok ini, bentuk sinyal EKG sudah terlihat terutama sinyal QRS kompleks dapat dilihat pada Gambar 11 dengan level amplitudo 1,72 V dan perbandingan daya sinyal rata-rata terhadap *noise* sebesar  $SNR_{dB} = 20 \log(A_{signal}/A_{noise}) = 10,73 \text{ dB}$ .

###### 4.1.4 Low Pass Filter 20 Hz

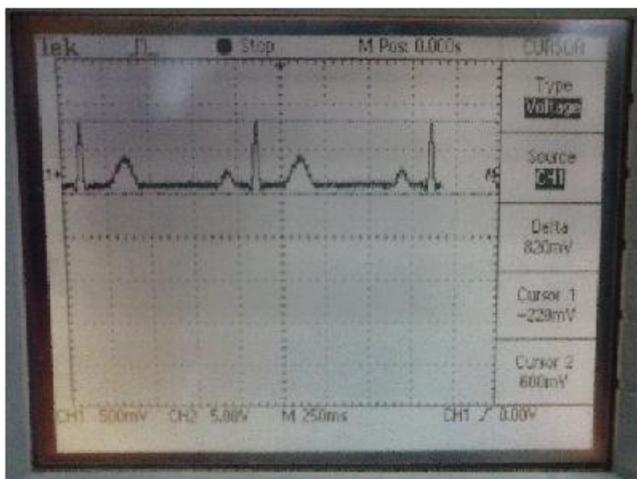
Keluaran dari filter LPF 20Hz bentuk dasar sinyal elektrokardiogram semakin terlihat jelas, dapat dilihat pada Gambar 15. *noise* yang berada pada frekuensi tinggi dapat dilemahkan tanpa menghilangkan informasi sinyal QRS ECG dibuktikan dengan perbandingan daya sinyal rata-rata terhadap *noise* yang lebih besar dari keluaran sebelumnya dengan nilai  $SNR_{dB} = 20 \log(A_{signal}/A_{noise}) = 18,7 \text{ dB}$ .

###### 4.1.5 Level Shifter

Rangkaian Level Shifter telah bekerja dengan baik untuk menggeser sinyal ECG sebesar  $\pm 0.5$  Volt sehingga semua komponen sinyal berada di level positif. Hal ini diperlukan karena ADC yang digunakan hanya untuk memproses sinyal dengan amplitudo 0 sampai 5 Volt. Pada Gambar 16 menunjukkan bahwa sinyal mengalami pergeseran sehingga semua komponen sinyal memiliki level

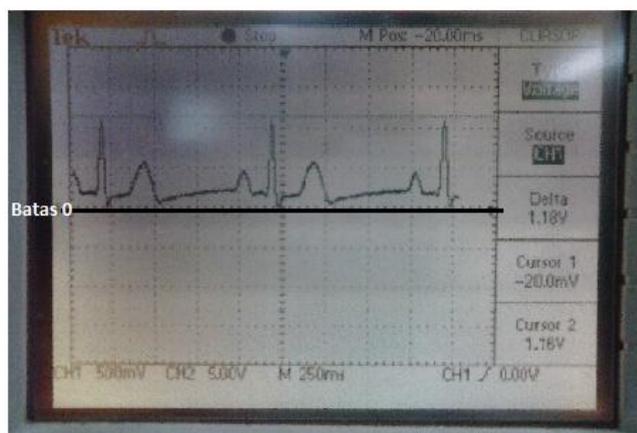


**Gambar 14.** Sinyal Keluaran Penguat Operasional



**Gambar 15.** Sinyal Keluaran LPF 20 Hz

amplitudo positif. Dari gambar juga menunjukkan bahwa bentuk sinyal tidak mengalami perubahan.



**Gambar 16.** Sinyal Keluaran Level Shifter

## 4.2 Pengukuran dan Analisis Bagian Digital dan Display



**Gambar 17.** Hasil Pengujian LCD

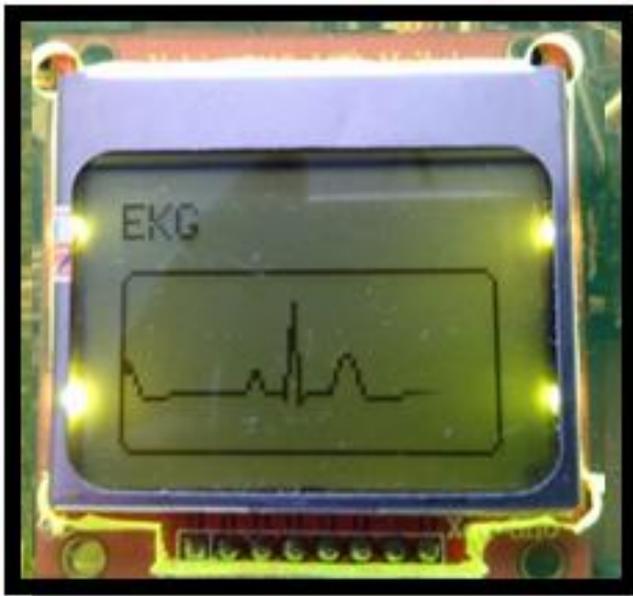
### 4.2.1 Analisis Kestabilan Blok Digital

Blok digital memiliki karakteristik yang lebih tahan terhadap *noise*, sehingga *noise* tidak mempengaruhi sistem secara signifikan. Di blok digital, sistem ini relatif stabil karena bekerja pada instruksi sederhana yang membaca data output ADC dan kemudian mengirimkannya secara serial ke driver LCD. Jika terjadi kesalahan dalam perangkat maka mikrokontroler perlu di-reset terlebih dahulu sehingga dapat bekerja lagi. Atur ulang proses dapat dilakukan dengan menekan tombol reset pada papan PCB atau dapat dilakukan dengan mematikan perangkat kemudian hidupkan kembali perangkat tersebut.

### 4.2.2 Display Sinyal EKG pada LCD

Pengujian awal, menampilkan kata pada layar LCD pada koordinat tertentu. Hasil yang ditampilkan pada LCD sudah benar sesuai dengan instruksi yang diberikan sehingga dapat disimpulkan instruksi yang diberikan ke LCD grafik sudah sesuai.

Pengujian berikutnya adalah menampilkan sinyal ECG didasarkan pada pembacaan data oleh ADC. Meskipun sinyal *analog* ECG masih mengandung sedikit *noise*, sinyal yang ditampilkan pada layar LCD tidak terlihat adanya *noise*. Secara tidak langsung menggunakan grafis LCD Nokia 5110 dengan resolusi kecil akan menguntungkan karena dengan keterbatasan ini, komponen *noise* tidak ditampilkan. Gambar 15 di bawah adalah sinyal ECG yang berhasil ditampilkan pada layar LCD.



**Gambar 18.** Sinyal ECG pada Layar LCD

Pengujian juga dilakukan pada ketahanan baterai yang digunakan. Perangkat mini ECG ini menggunakan 2 buah baterai handphone dengan spesifikasi tegangan 3,7 Volt dan daya 1500 mAh yang mampu menjalankan perangkat selama rata-rata 1 jam 20 menit dalam kondisi terus-menerus menampilkan data. Setelah perangkat ditempatkan pada casing, mini ECG ini memiliki dimensi  $11 \times 5 \times 4$  cm sehingga perangkat bisa mudah digunakan dan *wearable*.

## 5. KESIMPULAN

Telah berhasil direalisasikan dan dilakukan pengujian perangkat mini ECG. Perangkat dapat melakukan akuisisi sinyal kemudian menampilkan grafis dari sinyal ECG secara realtime. Sinyal ECG dapat diambil berdasarkan metoda segitiga *Einthoven* dengan memodifikasi penempatan elektroda di mana elektroda ditempatkan pada bagian dada. Meskipun sinyal *analog* ECG masih mengandung sedikit *noise*, sinyal ditampilkan pada layar LCD tidak terlihat adanya *noise*. Secara tidak langsung menggunakan grafis LCD dengan resolusi kecil sangat menguntungkan karena dengan keterbatasan ini, komponen *noise* tidak ditampilkan.

Perangkat mini ECG mampu bertahan selama 1 jam 20 menit dengan menggunakan 2 buah baterai 3,7 Volt. Perangkat mini ECG memiliki mobilitas yang sangat tinggi dan *wearable* karena memiliki ukuran yang relatif kecil yaitu  $11 \times 5 \times 4$  cm.

## Daftar Pustaka

- [1] E. M. Sugondo Hadiyoso, "Monitoring elektrokardiograf menggunakan zigbee sebagai pengirim data," in *Seminar Nasional SciETec*, 2012.
- [2] A. Alfaruq, "Integrasi sistem monitoring elektrokardiograf dan fotoplethysmograf berbasis mikrokontroler," Master's thesis, IT Telkom, 2011.
- [3] J. Achmad Rizal, "Wireless lan electrocardiogram (ecg)," in *Konferensi Nasional Sistem Informatika 2010*, 2010.
- [4] R. Saputra, "Perancangan dan implementasi aplikasi penerima data pada sistem monitoring elektrokardiograf digital berbasis wireless lan (802.11b)," Master's thesis, IT Telkom, 2008.
- [5] S. Hadiyoso, "Sistem monitoring photoplethysmograph digital dengan wireless lan (802.11b) sebagai pengirim data." Master's thesis, IT Telkom, 2010.
- [6] H. Jin and B. Miao, "Design of holter ecg system based on msp430 and usb technology," in *Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2007. ICBBE 2007. The 1st International Conference on*. IEEE, 2007, pp. 976–979.
- [7] S. Korsakas, J. Lauznis, A. Vainoras, Z. Markovitch, L. Gargasas, Z. Navickas, and R. Ruseckas, "The mobile ecg and motion activity monitoring system for home care patients," in *Computers in Cardiology, 2006*. IEEE, 2006, pp. 833–836.
- [8] W. Sutopo, *ECG Praktis*. Binarupa Aksara Jakarta, 1990.
- [9] W. J. Tompkins, *Biomedical Signal Processing*. Prentice Hall, 1993.
- [10] AnaesthesiaUK, "Sinyal electro-cardiogram," <http://www.frca.co.uk/article.aspx?articleid=339>, accessed: 2014-03-12.
- [11] W. Einthoven, *Die galvanometrische Registrierung des menschlichen Elektrokardiogramms, zugleichine Beurtheilung der Anwendung des Capillar-Electrometers in der Physiologie*. Pflugers Arch Ges Physiol, 1903.
- [12] "Einthoven triangle," <http://www.cvphysiology.com/Arrhythmias/A013a.htm>, accessed: 2014-02-22.
- [13] "Datashet ina118," <http://www.alldatashet.com/view.jsp?Searchword=Ina118>, accessed: 2014-02-22.

# Panduan Penulisan

## Ruang Lingkup

Jurnal INKOM menerima naskah yang berisi hasil penelitian, pengembangan, dan/atau pemikiran di bidang Informatika, Sistem Kendali, dan Komputer. Naskah harus orisinal dan belum pernah dipublikasikan serta tidak sedang dalam proses publikasi di jurnal/media lain. Setiap naskah yang diterima akan dievaluasi substansinya oleh paling sedikit 2 orang pakar mitra bestari (peer reviewer) sebagai juri dalam bidang yang sesuai. Untuk menjunjung fairness proses penilaian dilakukan hanya pada isi naskah dengan menghilangkan identitas penulis (blind review). Penulis/para penulis bertanggung jawab sepenuhnya terhadap akurasi naskah. Penulis utama bertanggung jawab untuk sebelumnya menyelesaikan ijin penulisan yang berkaitan dengan hasil kerja anggota kelompoknya. Naskah yang diterima dianggap sudah menyelesaikan seluruh kewajiban (clearance) dan ijin reproduksi bila memuat hal-hal yang mengandung hak cipta (copyright) pihak lain.

## Tata Penulisan

Naskah ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam 2 kolom (ukuran kertas A4) dengan huruf Times New Roman ukuran 11, rata kanan-kiri. Naskah diawali dengan judul, nama penulis, instansi, alamat surat, dan alamat email untuk korespondensi. Isi naskah setidaknya berisi/menerangkan tentang pendahuluan, metoda, hasil, diskusi, kesimpulan, daftar pustaka. Ucapan terimakasih bila diperlukan dapat dituliskan setelah bagian kesimpulan. Naskah dilengkapi dengan abstrak (100-250 kata) diikuti kata kunci (4-8 kata) dalam bahasa Inggris dan Indonesia. Abstrak hendaknya menjelaskan tentang apa yang diteliti/dikembangkan/dipikirkan, metoda dan hasil sehingga isi naskah dapat tergambar tanpa membaca seluruh tulisan. Judul bagian naskah serta sub judul untuk bagian yang berbeda (pendahuluan, metoda, hasil, diskusi, kesimpulan) diberikan nomor arab secara bertingkat (1, 1.1, dst). Satuan ukuran yang digunakan serta singkatannya mengikuti aturan International System of Units (SI). Persamaan dinomori berurutan dengan nomor arab dalam kurung di sebelah kanan persamaan (rata kanan). Penggunaan simbol dalam persamaan diberi keterangan dalam bagian naskah di bawahnya. Penyisipan gambar dan tabel disertai dengan judul singkat di bawahnya (untuk gambar) dan di atasnya (untuk table) serta diberi nomor berurutan. Seluruh gambar dan table yang digunakan harus diulas pada bagian tulisan.

## Rujukan

Daftar rujukan yang dikutip dituliskan pada bagian akhir naskah dengan judul Daftar Pustaka dan diberikan nomor urut sesuai dengan urutan pengutipan pada naskah. Bagian naskah yang mengacu pada satu atau beberapa literatur lain hendaknya mencantumkan nomor urut referensi pada daftar pustaka. Pengacuan acuan pada naskah dengan menggunakan notasi [nomor acuan] seperti: [1] (artikel pada jurnal), [2] (artikel pada prosiding) dan [3] (buku). Berikut ini adalah contoh daftar pustaka:

## Daftar Pustaka

- [1] D. Rosiyadi, S.-J. Horng, P. Fan, X. Wang, M. Khan, and Y. Pan, "Copyright protection for e-government document images," *MultiMedia, IEEE*, vol. 19, no. 3, pp. 62–73, 2012.
- [2] A. F. M. Hani, E. Prakasa, H. Nugroho, A. Affandi, and S. Hussein, "Body surface area measurement and soft clustering for pasi area assessment," in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*, 2012, pp. 4398–4401.
- [3] D. E. Knuth, *The T<sub>E</sub>Xbook*. Addison-Wesley, 1984.

## Template

Template tata penulisan naskah dapat didownload di <http://jurnal.informatika.lipi.go.id/index.php/inkom/about/submissions#authorGuidelines>

## **Jurnal INKOM**

Pusat Penelitian Informatika  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Komp. LIPI Gd. 20 Lt. 3  
Sangkuriang, Bandung, 40135  
Email: [jurnal@informatika.lipi.go.id](mailto:jurnal@informatika.lipi.go.id)  
Telp: +62 22 2504711  
Fax: +62 22 2504712  
<http://jurnal.informatika.lipi.go.id>

