

**PERANCANGAN DAN REALISASI  
PROTOTIP ELEKTROKARDIOGRAF 3-LEAD  
BERBASIS PC**

**TESIS**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
Untuk memperoleh gelar Magister dari  
Institut Teknologi Bandung**

Oleh

**LANNY AGUSTINE**

**NIM : 23202011**

**Program Studi Teknik Elektro**



No. INDUK	1723/05
TGL. TERIMA	02-05-2005
<del>B. P. I. T.</del> HADIH	
No. BUKU	616.120.754.7 Agu p-1
KOPI KE	1 (SATU)

**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG  
2005**

## ABSTRAK

### PERANCANGAN DAN REALISASI PROTOTIP ELEKTROKARDIOGRAF 3-LEAD BERBASIS PC

Oleh

Lanny Agustine

NIM : 23202011

Di Indonesia, dan sebagian besar negara lainnya, peningkatan jumlah penderita masalah jantung cukup signifikan, sehingga perlu pendeteksian sejak awal agar dapat dilakukan perawatan sejak dini. Usaha ini sangat tepat diterapkan di Puskesmas karena tersebar di seluruh kota maupun desa di Indonesia. Untuk tujuan ini, maka akan dikembangkan sistem EKG (elektrokardiograf) yang cukup murah dan mudah digunakan karena keterbatasan keuangan dan sumber daya manusia di Puskesmas. Sistem yang dikembangkan akan berfungsi untuk pendeteksi dini masalah jantung dengan merekam 3-lead sinyal EKG (*lead* I, II, dan III). Dengan sistem berbasis PC juga akan memberi banyak keuntungan.

Dalam tesis ini telah dilakukan pengembangan EKG 3-lead berbasis PC (*personal computer*) dengan elektroda pada tubuh berdasarkan metoda Segitiga Einthoven. Tiap *lead* sinyal EKG akan dideteksi melalui pasangan plat elektroda Ag-AgCl pada tubuh pasien. Sistem EKG yang telah dikembangkan terdiri dari dua modul yaitu modul perangkat keras dan perangkat lunak. Modul perangkat keras terbagi menjadi 2 blok utama. Blok pertama terdiri dari penguat instrumentasi (IC INA114) yang dihubungkan bertingkat terhadap penguat tak membalik. Rangkaian ini menghasilkan penguatan 500 kali ( $10 \times 50$ ) dan CMRR (*common-mode rejection ratio*) di atas 90dB. Rangkaian *driven right leg* digunakan untuk menghindari terjadinya *ground loop* demi keamanan pasien. Serangkaian filter juga digunakan untuk melewatkan sinyal EKG (0,05Hz-100Hz) dan menapis frekuensi lainnya. Penguat tak membalik juga berfungsi sebagai filter *low pass* aktif dengan frekuensi *cutoff* 100Hz. Filter *high pass* Butterworth orde 2 akan melewatkan sinyal-sinyal dengan frekuensi di atas 0,05Hz. Filter *notch* Twin-T digunakan untuk menapis sinyal dengan frekuensi 50Hz yaitu derau jala-jala listrik. Selanjutnya untuk pemrosesan sinyal digital dibutuhkan filter *anti-aliasing*, digunakan filter *low pass* Butterworth orde 2 dengan frekuensi *cutoff* 200Hz. Rangkaian *clamping* berfungsi untuk memberikan tambahan tegangan *dc* sekitar 2V pada sinyal EKG. Rangkaian ini diperlukan karena penggunaan ADC (*analog to digital converter*) *unipolar*. Blok kedua dari modul perangkat keras adalah PC *interface* yang terdiri dari rangkaian ADC, rangkaian mikrokontroler, dan rangkaian-rangkaian *optoisolator*. ADC0809 adalah ADC *unipolar* yang dapat mengkonversi sinyal analog 0-5V. ADC ini menghasilkan sinyal digital 8-bit dengan *error*  $\pm 1$  LSB (*least significant bit*). Mikrokontroler AT89S52 mempunyai 3 fungsi utama. Pertama, untuk mengontrol proses pengambilan sampel sinyal dengan mengatur perioda konversi pada ADC setiap 5ms. Kedua, untuk

menyimpan data EKG sementara di *register*. Ketiga, untuk melakukan komunikasi melalui *port* paralel pada *PC* untuk proses pengiriman sinyal EKG. *Ground* perangkat keras dan *PC* dipisahkan secara optik dengan menggunakan rangkaian *optoisolator* (PC817) untuk menghindari arus bocor dari *PC* ke pasien.

Modul perangkat lunak telah dikembangkan dengan menggunakan dua bahasa pemrograman yaitu *Assembly* dan *Turbo C*. Sistem berbasis mikrokontroler AT89S52 diprogram dengan bahasa *assembly*. Proses selanjutnya di *PC* dilakukan dengan pemrograman *C* yang mempunyai 3 kategori fungsi. Pertama, dapat merekam data pribadi pasien (terbatas pada nama, tanggal lahir, dan jenis kelamin) dan tanggal serta waktu pemeriksaan EKG ke dalam file (.dat). Kedua, untuk melakukan komunikasi dengan mikrokontroler untuk menerima sinyal EKG melalui *port* paralel *PC*. Kemudian, sinyal EKG dibaca dan ditampilkan dalam bentuk grafik di monitor. Juga dapat dilakukan perekaman sinyal EKG ke file (.dat). Ketiga, untuk membaca data dari file (.dat) Data pribadi pasien dan tanggal serta waktu pemeriksaan EKG ditampilkan dalam bentuk teks ke monitor, dan rekaman sinyal EKG ditampilkan dalam bentuk grafik.

Prototip sistem ini telah diuji di laboratorium Teknik Biomedika. Sistem EKG yang telah direalisasikan dapat memberikan penguatan total 501,75 kali. Peredaman maksimum sinyal derau 50Hz jala-jala listrik sebesar 26,02dB. Rentang frekuensi *cutoff* filter *low pass* Butterworth orde 2 adalah 100-110Hz, 40db/dekade. Frekuensi *cutoff* filter *high pass* di bawah 0,05Hz. Dari perealisasi perangkat keras tersebut maka sistem dapat mendeteksi sinyal EKG dengan amplitudo (-)2 - (+)6mV, *bandwidth* sinyal 0,05-100Hz. Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan melakukan perekam sinyal-sinyal EKG dengan *input* dari simulator EKG (*phantom*) dan beberapa subyek, kemudian disimpan ke dalam file (.dat). Jumlah sampel maksimum dalam perekaman yaitu 9866 sampel untuk masing-masing *lead* sinyal EKG (sama dengan perekaman selama 170 detik). Operator dapat menentukan secara manual lamanya perekaman. Terjadi penurunan amplitudo sinyal yang disebabkan karena kualitas modul perangkat keras, khususnya filter *notch*. Beberapa sinyal artefak juga tampak pada sinyal EKG, misalnya yang disebabkan oleh pergerakan anggota tubuh dan karena aktivitas pernafasan. Pengujian di lapangan yang meliputi pengiriman file hasil rekaman ke *FTP server* melalui operator telepon genggam *GSM* dan *CDMA* serta Internet dapat dilakukan dengan baik. Usaha ini sangat bermanfaat untuk daerah terpencil, namun masih terlalu mahal untuk aplikasi di Puskesmas.

Meskipun telah diperoleh beberapa kemajuan positif, namun ada beberapa masalah yang harus diatasi seperti: derau, ukuran file, keamanan pasien, dan manajemen data. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem EKG berbasis *PC* ini dapat diterapkan sebagai salah satu aplikasi pada sistem telemedika Puskesmas yang sedang dikembangkan di laboratorium Teknik Biomedika.

Kata kunci : EKG, Puskesmas, *PC*, deteksi dini, analog, digital, mikrokontroler, deteksi, rekam, file data EKG, paralel, perangkat keras dan lunak

## ABSTRACT

### DESIGN AND REALIZATION OF 3-LEAD PC-BASED ELECTROCARDIOGRAPH PROTOTYPE

By

Lanny Agustine

NIM : 23202011

In Indonesia, as well as in most other countries, significant increase of heart disease cases has been recorded. Therefore, the sooner it is to be detected, the easier to be cured. This effort is properly applied in the Community Health Centres (*Puskemas*), since they are spreading among every city and rural area in Indonesia. For this purpose, the ECG system should be more affordable than similar device in the market and easy to be used since the *Puskemas* has limited budget and human resources. The developed ECG system will function for pre-detection of heart problems by recording the 3-lead ECG signals (lead I, II, and III). A computer-based system will give many benefits.

This thesis describes the development of a 3-lead PC (personal computer)-based ECG, using an Einthoven's triangle method for its electrodes placement. Each lead of ECG signal will be detected through a pair of Ag-AgCl surface electrodes. The system consists of two modules: hardware and software modules. The hardware module was separated into 2 main blocks. The first block consists of an instrumentation amplifier (IC INA114) cascaded with a non-inverting amplifier that provide 500 times (10x50) amplification factor to the input signals and a CMRR (common-mode rejection ratio) of more than 90dB. A driven right leg circuit is used to avoid ground loop for patient safety. A series of filter will be used to pass the ECG signal (0.05Hz to 100Hz) and to reduce others. The non-inverting amplifier also works as an active low pass filter with cutoff frequency under 100Hz. A second order Butterworth high pass filter will pass signal frequency over 0.05Hz. A Twin-T notch filter is used to reject 50Hz power line. The digital signal processing needs an anti-aliasing filter. A second order Butterworth low pass filter with 200Hz cutoff frequency is used for this purpose. A clamping circuit will be used to give about 2V dc voltage to the signals for passing the negative ECG signal to a unipolar ADC (analog to digital converter). The second block is the PC interface that consists of the ADC circuit, microcontroller circuit, and the optoisolator circuits. The ADC0809 is a unipolar ADC that converts 0-5V analog signals. It produces 8-bit digital signals with  $\pm 1$ LSB (least significant bit) error. The AT89S52 microcontroller has 3 main functions. They are controlling the signals sampling sequence by regulating the ADC signal conversion period about 5ms, saving ECG data temporarily in the register, and providing communication through the PC parallel port for sending

the ECG signals. The hardware and PC ground is separated optically using optoisolator (PC817) circuits to avoid leakage current from PC to patient.

The software module has been developed using two different programming languages, the assembly and Turbo C language. The software for AT89S52 microcontroller-based system has been written in assembly language. The next process in PC is served by C programming that has three function categories. First, recording patient personal data (name, birth date, sex) and ECG examination time into a file (.dat). Second, providing communication to microcontroller for receiving ECG signal through PC parallel port. After that, reading and plotting the signals into graphic form on the monitor. It also has the ECG signals recording facilities to the file (.dat). Third, reading the file (.dat) contents, then displaying the patient personal data and ECG examination time in text and the recorded ECG signal in graphic form on the monitor.

The system prototype has been tested in ITB Biomedical Engineering laboratory. The total amplification of the system is about 501.75 times factor to the input signals. Maximum rejection of 50Hz power line signal is 26.02dB. Frequency cutoff range of second order low pass Butterworth filter is 100-110Hz (40dB/dec) and high pass is under 0.05Hz. The total system testing is done by recording the ECG signals from ECG simulator (phantom) and some subjects, and then converted into file (.dat). The system is able to detect ECG signals of (-)2 - (+)6mV amplitudes and to record 9866 maximum samples of each lead, which is equal to 170 seconds. Operator could manually state the recording period. There is signal amplitude decrease that caused by the hardware module, especially the notch filter. Some artifacts appear on the ECG signal, for example because of body movement and breathing activity. Subjects should be relaxed during ECG recording to reduce these disturbances. A field experiment of file transfer from a remote *Puskesmas* to an FTP server through mobile phone operator (GSM & CDMA) via Internet connection has been successfully completed. This effort will be very useful for rural area, but the operation cost is quiet expensive for *Puskesmas*.

Although some positive progresses have been achieved, there are a number of problems that need to be solved include: signal noise, file compression, patient safety, and data management. For further development, this PC-based ECG system could be applied as part of *Puskesmas* telemedicine system that is developed in ITB Biomedical Engineering laboratory.

Keywords : ECG, *Puskesmas*, PC-based, pre-detection, analog, digital, microcontroller, ECG data file, detect, record, parallel, hardware and software

**PERANCANGAN DAN REALISASI  
PROTOTIP ELEKTROKARDIOGRAF 3-LEAD  
BERBASIS PC**

Oleh

**Lanny Agustine**

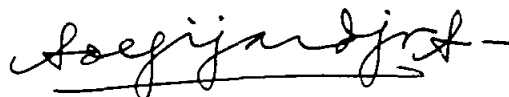
**NIM: 23202011**

Program Studi Teknik Elektro  
Institut Teknologi Bandung

Menyetujui

Pembimbing I

Tanggal *22/1/2005*



---

(Prof. Dr. Ir. Soegijardjo Soegijoko)  
NIP: 130282125

## **PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS**

Tesis S2 yang dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seijin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seijin Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan Tesis yang berjudul “Perancangan dan Realisasi Prototip Elektrokardiograf *3-lead* Berbasis *PC*”.

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Soegijardjo Soegijoko sebagai dosen pembimbing, pemberi bantuan dana, dan kepala laboratorium Teknik Biomedika (Institut Teknologi Bandung) selama pengerjaan tesis ini.

Terima kasih pula kepada Hendi Handian Rahmat, Trie Maya Kadarina, dan Yuliana sebagai tim sukses dan teman-teman terbaik, serta seluruh keluarga di rumah atas doa dan dorongan semangatnya, juga kepada Rendo, Fajri, Pak Obus, Anton, dan Hendro atas semua saran dan bantuannya.

Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada Pak Simin, Bu Mia, dan Pak Yus atas segala bantuannya, serta teman-teman tercinta: Shanti, Mera, Dini, Pak Ferry, Mbak Neti, Mbak Esti, Sulaiman atas segala dukungannya.



## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
PENGESAHAN .....	iv
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
Bab I Pendahuluan .....	1
I.1 Latar Belakang Masalah .....	1
I.2 Batasan Masalah .....	2
I.3 Tujuan dan Manfaat .....	3
I.4 Metodologi Penelitian .....	4
I.5 Sistematika Penulisan Laporan Tesis .....	8
Bab II Teori Dasar Elektrokardiograf .....	9
II.1 Biopotensial Jantung dan Elektrokardiogram .....	9
II.2 Standar Pengukuran EKG .....	13
II.3 Transduser Elektroda .....	15
II.4 Penguat Instrumentasi .....	16
II.5 Penguat Tak Membalik dan Filter <i>Lowpass</i> Aktif .....	18
II.6 <i>Buffer</i> .....	19
II.7 Rangkaian <i>Driven Right Leg</i> .....	20
II.8 Filter Analog .....	21
II.9 Rangkaian <i>Clamping</i> .....	26
II.10 Pembangkit Pulsa Berbasis IC Pewaktu ( <i>Timer</i> ) 555 .....	27
II.11 <i>PC Interfacing</i> .....	28
II.12 Isolator Optik ( <i>Optoisolator</i> ) / <i>Optocoupler</i> .....	34
II.13 <i>Port</i> Paralel .....	35

Bab III	Perancangan Dan Relisasi Sistem .....	38
III.1	Spesifikasi Sistem Elektrokardiograf <i>3-lead</i> Berbasis <i>PC</i> .....	38
III.2	Diagram Blok dan Fungsi Sistem .....	39
III.3	Perancangan dan Realisasi Perangkat Keras per Blok.....	41
III.4	Perancangan dan Realisasi Perangkat Lunak.....	54
Bab IV	Pengujian Sistem dan Analisis.....	64
IV.1	Pengujian Simulator EKG .....	66
IV.2	Pengujian Tiap Bagian .....	68
IV.3	Gabungan Seluruh Perangkat Keras dan <i>PC</i> .....	80
IV.4	Pengujian Pengiriman Data dengan Salah Satu Sistem Telemedika Puskesmas .....	90
Bab V	Kesimpulan dan Saran .....	93
V.1	Kesimpulan .....	93
V.2	Saran .....	94

DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Rangkaian Transduser .....	95
Lampiran B	Rangkaian Filter Analog & <i>Clamping</i> .....	96
Lampiran C	Rangkaian <i>ADC</i> dan Mikrokontroler .....	97
Lampiran D	Deskripsi Fungsi Pin-Pin Mikrokontroler AT89S52.....	98
Lampiran E	Foto-foto .....	100
	E.1 Foto-foto alat .....	100
	E.2 Foto-foto pengujian sistem .....	101
Lampiran F	Publikasi .....	102