

Transmisi Digital Sinyal ECG melalui Kanal VHF untuk Rekonstruksi dan Komunikasi Sinyal Jantung

Muh. Farid Retistiano, Dr. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT., Norma Hermawan, ST., MT.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya

E-mail: farid.retistianto11@mhs.ee.its.ac.id, arifin@ee.its.ac.id, sardjono@elect-eng.its.ac.id,
norma.hermawan@bme.its.ac.id

Abstrak – *Cardiac Monitoring* adalah monitoring sistem organ jantung dan akan mendapatkan sinyal ECG (*Electrocardiogram*) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dan aktivitas listrik dari jantung pasien. Pengujian yang dilakukan kini umumnya mengandalkan subjek uji untuk tetap berada dalam jangkauan penguji. Hal ini berarti terdapat kebutuhan jarak yang harus dipenuhi dan ketidakmampuan adanya deteksi dini. Kondisi geografis Indonesia yang berupa kepulauan dan persebaran lokasi unit medis (misal Rumah Sakit Rujukan) yang belum merata hingga pedalaman juga menjadi tantangan. Penggunaan model *Telemonitoring* memungkinkan pengiriman monitoring jantung secara jarak jauh dan menggunakan modulasi radio dapat menjawab tantangan ini karena lingkup ruangnya yang luas dibanding model komunikasi lainnya. Berlatar belakang hal tersebut, maka diwujudkan penelitian berupa realisasi instrumen ECG dengan IC AD620 yang mampu berhubungan secara jarak jauh menggunakan modulasi frekuensi radio. Dengan adanya sistem monitoring seperti ini diharapkan mampu mengeliminir kebutuhan jarak monitoring jantung dengan tetap mendapatkan informasi ECG yang memadai. Hasil yang didapatkan, dibuktikan pada keberhasilan pengiriman pada lima belas subjek dengan tingkat penerimaan data hingga 90% dengan rata-rata waktu pengiriman berkisar lima belas menit untuk tiap dua ribu data.

Kata Kunci – *Telemonitoring, EKG, ECG, frekuensi radio*

I. PENDAHULUAN

Monitoring sistem jantung dengan ECG telah menjadi dasar diagnosa dari bagaimana kondisi kesehatan jantung pasien, termasuk di Indonesia. Indonesia merupakan negara kepulauan yang luas. Bentuk negara berupa pulau-pulau dan klasifikasi Indonesia sebagai negara berkembang menunjukkan pembangunan yang belum merata. Sarana dan prasarana yang menunjang kebutuhan medis juga belum memadai, salah satunya adalah tantangan jarak dan keteraturan tata kota. Selama ini, pengujian ECG membutuhkan dedikasi waktu dan tenaga yang perlu diluahkan. Hal ini ditambah lagi akan adanya kebijakan manajemen kesehatan dari Kementerian Kesehatan mengenai deteksi dini kondisi jantung juga menjadi kebutuhan.

Melakukan monitoring jantung dengan ECG berarti mengakuisisi dan merekam aktivitas kelistrikan dari jantung dengan direpresentasikan sebagai sinyal PQRST. Mendapatkan sinyal jantung membutuhkan teknik dan perangkat tertentu berupa instrumen yang dapat mengukur diferensial dari titik-titik pengukuran (disebut juga sebagai *Lead*) yang dipasang sesuai dengan konfigurasi Segitiga Einthoven.[1]

Algoritma dari deteksi dan ekstraksi sinyal PQRST telah cukup lama dikembangkan. Salah satu yang umum digunakan adalah Detektor QRS oleh Pan-Tompkins.

Mengetahui kompleks QRS akan mempermudah dalam ekstraksi parameter temporal seperti laju detak jantung, variabilitas laju detak jantung hingga interval dari R-R dan turunan dari algoritma lainnya (seperti algoritma anotasi).

Sebagaimana kondisi yang telah disebutkan juga ditambah dengan kemampuan komunikasi radio menggunakan protokol AX.25[2] yang mampu mengirimkan paket data melalui port serial pada komputer, maka penelitian ini mewujudkan peningkatan kemampuan monitor ECG berbasis ARM[3] untuk dapat mengekstraksi parameter temporal dari jantung dan mentransmisikannya sesuai dengan kemampuan dari radio yang digunakan sehingga tantangan dari jarak saat melakukan monitoring jantung dengan ECG dapat diminimalisir.

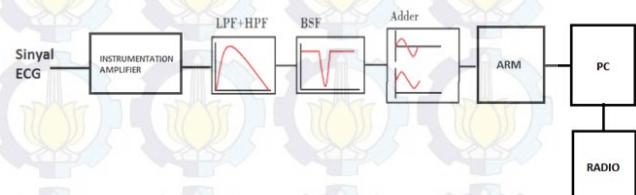
II. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Sistem

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem dengan pembagian sisi *Transmitter* dan *Receiver*. Secara keseluruhan, perancangan dapat dilihat sebagaimana pada gambar 1. Dapat dilihat bahwa komunikasi dari sisi *transmitter* dan *receiver* dilakukan dengan media frekuensi radio pita VHF (*VHF band*).

2.1.1 Transmitter (Pengirim)

Transmitter terdiri dari *Instrument* dan Radio dengan data yang diolah merupakan informasi dan parameter dari kondisi jantung (*Cardiac Parameter*). *Transmitter* berperan sebagai sisi yang mengakuisisi, mengolah dan mengirimkan informasi dari data ECG. Lebih dalam untuk bagian-bagian pada transmitter dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1 Blok Diagram dari Sisi Transmitter

a. Instrument

Perancangan *instrument* akan menggunakan rangkaian penguat instrumentasi yang mampu menguatkan amplitudo sinyal jantung. Selain itu juga pada diberikan rangkaian filter berupa LPF (*Lowpass Filter*), HPF (*High Pass Filter*) dan BSF (*Bandstop Filter*). Penggunaan ARM dan PC difungsikan sebagai pengolah data digital dari hasil akuisisi data ECG. Filter yang digunakan adalah *Low pass, High pass,*

dan *Band Stop* filter. Penggunaan dari masing-masing filter memiliki tujuan masing-masing namun secara umum, keseluruhan filter yang dimaksudkan untuk menghilangkan *noise*, mereduksi gangguan dari tegangan jala-jala dan menstabilkan sinyal sehingga tidak terkena *baseline wandering*.

- Algoritma QRS Detektor Pan-Tompkins

Ekstraksi dari parameter temporal sinyal jantung telah lama dikembangkan. Salah satu yang dapat diterapkan pada komputer dan pengolah data digital lainnya adalah algoritma QRS detektor oleh Pan-Tompkins. Algoritma ini memiliki beberapa tahapan yang difokuskan untuk mendeteksi adanya kejadian kompleks QRS. Mengetahui kompleks QRS memiliki banyak keuntungan karena parameter temporal lain dari monitoring jantung dapat diturunkan dari deteksi kompleks QRS seperti interval dari R ke R, laju detak jantung hingga variabilitas laju jantung.

Tahapan yang dilewati dari algoritma ini filter digital berupa *low pass* dan *high pass* kemudian fungsi derivatif, *squaring* hingga *moving window average*. Tahapan ini dapat dilihat pada gambar 7.

b. Radio (Transmitter - Pengirim)

Dengan akuisisi yang telah dilakukan pada rangkaian instrumentasi, pengiriman sinyal diolah secara digital dengan mengikuti langkah-langkah sebagaimana berikut:

1. Data file ECG yang telah diakuisisi dimuat pada program dengan variable bantuan yakni variable iterasi dari pengisian data informasi terkirim dan iterasi yang mengatur pengiriman data secara keseluruhan.
2. Data ECG yang disimpan dalam array akan dimasukkan pada suatu variable (yakni 'isi') dan diisi sebanyak 5 baris data (Penentuan dari 5 baris data didapatkan dari percobaan dimana jika diberikan baris data yang lebih kecil akan mendapatkan hasil rekonstruksi sinyal yang baik namun akan mendapatkan durasi pengiriman yang lama sedangkan jika baris data yang diberikan lebih dari 5 baris akan menghasilkan deformasi dari rekonstruksi sinyal yang didapatkan)
3. Pada tiap pengisian variable 'isi', sinyal akuisisi dari ADC yang dimiliki akan diolah sedemikian rupa, mengikuti sebagaimana berikut:
 - a. Data ADC yang ada akan dibulatkan terlebih dahulu, ini untuk mendapatkan bentuk uniform dari nilai pengiriman. Pengiriman dengan menggunakan format decimal point akan menyulitkan penerimaan pada radio.
 - b. Data nilai yang telah dibulatkan kemudian dijumlahkan dengan nilai 1,000. Kondisi ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa penerimaan data yang dilakukan berbentuk uniform pula. Tujuan uniform yang dimaksudkan adalah mendapatkan nilai yang sama untuk satuan, puluhan dan ratusan.
 - c. Selanjutnya adalah dengan mengkonversi nilai data yang didapatkan menjadi format data string. Format data string merupakan format data yang diterima oleh protocol komunikasi dari AX.25

d. Langkah a hingga c dilakukan sebanyak sepuluh kali hingga didapatkan sepuluh baris informasi yang siap dikirimkan.

4. Setelah variable dari 'isi' didapatkan, maka pengiriman siap dilakukan. Akses dari kemampuan pengiriman dari data menggunakan radio digunakan adalah:

- a. Dengan menggunakan komunikasi serial yang dimaksudkan untuk menjadikan radio siap dalam mode mengirim. Dalam istilah komunikasi ini adalah dengan menjadikan Radio dalam 'Converse Mode'.
- b. Setelah 'Converse Mode' didapatkan, maka 'isi' siap dikirim.
- c. Komunikasi Radio kemudian dihentikan dan state dari radio direstart.
- d. Variable 'isi' kemudian dihapus dan siap untuk diisi kembali.

5. Proses 3 dan 4 dilakukan berulang kali hingga 400 kali, Nilai 400 didesain sehingga pengiriman dari data yang ada berjumlah 4.000 data, dimana data representasi yang dikirim merupakan data empat detik dengan fs bernilai 1,000.



Gambar 2 Skenario Hardware Handshaking[5]

2.1.2 Receiver (Penerima)

Receiver terdiri dari Radio, Computer Server, dan User Interface dengan data yang dihasilkan berupa summary (ringkasan pengukuran) dan Temporary Extract (hasil ekstraksi parameter temporal). Receiver berperan sebagai sisi yang menerima, menyimpan dan mengirimkan informasi hasil olahan pada tenaga medis.

a. Radio (Receiver - Penerima)

Setelah data ECG dikirim oleh radio, maka pada sisi penerima akan menerima dan mengolah data string. Pengolahan dari data yang diterima dilakukan sebagaimana berikut:

1. Setelah menyiapkan variable penampung dari sinyal yang diterima ('receive'), variable sinyal yang diolah('ReadValue') dan variable hasil konversi dari sinyal terolah('ReadValueConvert'), maka data string yang diterima dari radio akan disimpan pada variable 'receive'.
2. Saat penerimaan dilakukan, program akan mencoba mencari posisi dari string ':' (Alasan dengan mencari string ':' adalah format dari data yang diterima oleh program akan selalu dalam format 'NOCQ: xxx' dengan x adalah nilai yang diinginkan).
3. Setelah posisi dari string ':' ditemukan, posisi string akan disimpan dan menjadi referensi dari pengambilan nilai yakni 4 karakter dari sinyal yang diterima. (Merujuk pada bentuk uniform dari sinyal yang dikirim, dimana akan selalu dalam bentuk ribuan).

4. Pengecekan selanjutnya adalah dengan melakukan pengecekan pada karakter yang diterima. Dalam kondisi real pengiriman, terdapat kemungkinan masuknya karakter selain dari angka.
5. Setelah pengecekan dari data yang diterima adalah angka semua, maka data terima akan dikonversi menjadi data angka untuk kemudian dinormalisasi dengan mengurangnya dengan 1,000.

Data yang telah lolos dari seleksi kemudian digambarkan dan disimpan



Gambar 3 Skenario *Hardware Handshaking*

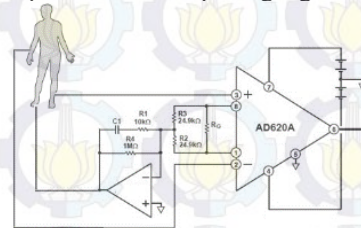
Data ekstraksi yang diterima oleh radio penerima dapat berupa data hasil dari pencarian nilai parameter temporal dari sinyal ECG. Penerimaan data ini bernilai cukup sedikit sehingga penerimaan tidak akan memakan waktu yang banyak. Perancangan ini dimaksudkan untuk memberikan ringkasan pada sisi penerima dan pada akhirnya, juga pada pengiriman GSM menggunakan Modem Wavecom. Langkah dari pengolahan data untuk kemudian dikirimkan pada modem GSM dilakukan sebagaimana berikut:

1. Penerima menerima data parameter temporal yang telah dikelompokkan menjadi lebar kompleks QRS, interval RR dan laju detak jantung dengan menambahkan nilai yang ada dengan nilai tertentu.
2. Penerima mengolah nilai yang diterima dan mengelompokkannya menjadi kelompok yang sesuai dan menghitung nilainya menjadi nilai semula. Pengelompokan nilai diterapkan dengan aturan if dengan nilai bacaan diatur menjadi:
 - Nilai cakupan 2000-3000 merupakan nilai lebar kompleks QRS dan akan dikurangi pada penerima untuk kemudian dibagi dengan frekuensi sampling.
 - Nilai cakupan 3000-4000 merupakan nilai lebar interval RR dan akan dikurangi pada penerima untuk kemudian dibagi dengan frekuensi sampling.
 - Nilai cakupan 4000-5000 merupakan nilai laju detak jantung dan akan dikurangi pada penerima untuk kemudian dibagi dengan frekuensi sampling.
3. Setelah nilai dari tiap parameter temporal dikembalikan, maka isi dari sms yang digunakan akan diperbarui dengan menambahkan pada tiap baris yang diterima.
4. Setelah semua informasi diterima, maka data siap dikirim sesuai dengan operator dari program.
5. Hasil dari pengiriman akan informasi ekstraksi hingga pengiriman informasi melalui modem GSM secara sederhana dapat dilihat pada diagram alir pada gambar dibawah ini.

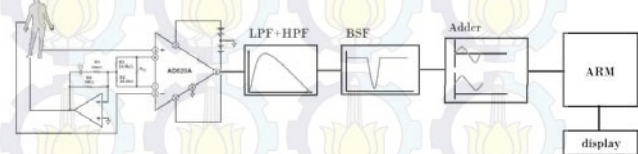
2.2 Metode Pengambilan Data

2.2.1 Pengambilan Sinyal Subjek

Dengan menggunakan konfigurasi segitiga Einthoven, subjek dimonitor aktivitas elektris dari jantungnya. Hasil monitor ditampilkan pada osiloskop untuk mengkonfigurasi penguatan dari sinyal sehingga didapatkan nilai sinyal dengan $V_{\text{peak-peak}}$ 1 V dari input tegangan 1 mV $_{\text{peak-peak}}$



Gambar 4 Hubungan Subjek terhadap Instrumen



Gambar 5 Sistem Keseluruhan Pengambilan Data

2.2.2 Pengolahan dengan Rangkaian Adder

Dari seluruh tahapan dari rangkaian, sinyal yang didapatkan secara teoritis masih dalam nilai sinyal bolak-balik dengan polaritas ± 1 V. Agar input ADC dapat seluruhnya mengolah sinyal yang ada, maka rangkaian penjumlah digunakan dan akan dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga nilai polaritas seluruh tegangan berada pada sisi positif.

2.2.3 Penggunaan ARM dan Perangkat Lunak

Setelah tiap pengolahan sinyal analog dilakukan, maka pengambilan data untuk nilai data digital dilakukan dan algoritma program yang telah dibuat digunakan untuk melakukan ekstraksi parameter temporal dari sinyal ECG yang ada.

2.2.5 Penggunaan Komunikasi Radio

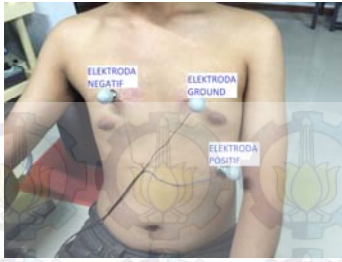
Setelah mendapatkan hasil pengolahan dari sinyal yang dilakukan, maka ekstraksi dan morfologi dari ECG dikirimkan melalui protokol komunikasi AX.25 untuk direkonstruksi kembali pada sisi penerima.

III. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

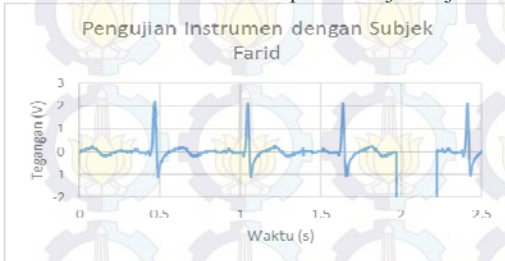
Hasil dari penelitian ini dijelaskan sebagaimana berikut, yakni:

3.1 Pengujian Instrumentasi

Pada rangkaian, elektroda diletakkan pada subjek uji dengan hasil yang ditampilkan pada osiloskop. Pengujian menunjukkan bahwa penguatan dari rangkaian telah berhasil mendapatkan sinyal ECG dengan tegangan $V_{\text{peak-peak}}$ mencapai 1 V. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 14 dan gambar 15.



Gambar 6 Peletakan Elektroda pada Subjek Uji



Gambar 7 Hasil Pengujian Rangkaian Instrumentasi

3.2 Pengujian Filter

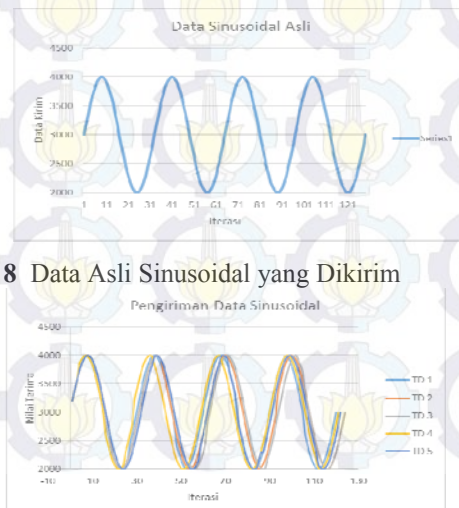
Pengujian rangkaian Filter dilakukan dengan memberikan input tegangan sinus pada masing-masing rangkaian dan dilakukan pencatatan terhadap respon frekuensi dari masing-masing rangkaian. Secara keseluruhan, terdapat pergeseran dari frekuensi *cut-off* yang diharapkan, namun masih dapat digunakan karena pergeseran dari nilai ini masih dapat mencapai tujuan dari masing-masing rangkaian. Grafik dari pengujian tiap filter dapat dilihat pada gambar berikut.

Tabel 2. Overview Hasil pengiriman lima subjek

	A	B	C	D	E
Jumlah	1945	1968	1947	1935	1912
Loss	55	32	53	65	88
Persen Data Terima	97.25	98.4	97.35	96.75	95.6

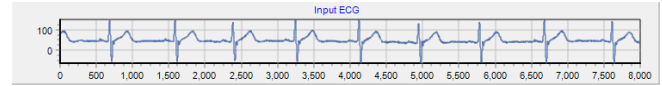
3.3 Pengujian Pengiriman Radio Sinyal Sinusoidal

Pengujian dimaksudkan untuk melihat kemampuan pengiriman menggunakan radio dalam merekonstruksi ulang sinyal yang diterima. Hasil dari pengiriman digambarkan sebagaimana berikut;



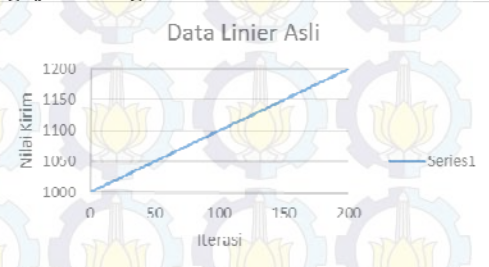
Gambar 8 Data Asli Sinusoidal yang Dikirim

Gambar 9 Data Sinusoidal yang Diterima

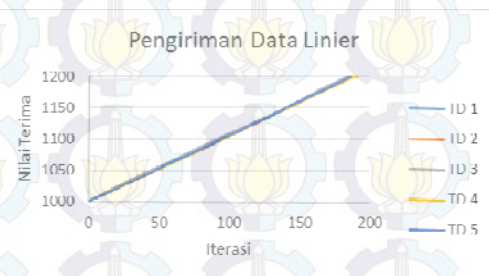


Gambar 10 Data Akuisisi dari Subjek A

3.4 Pengujian Pengiriman Data Lurus



Gambar 11 Data Asli Linier yang akan dikirim



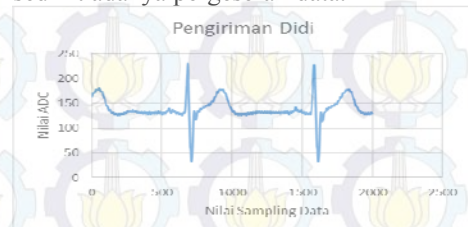
Gambar 12 Data hasil yang diterima dan direkonstruksi

3.5 Pengujian Perangkat Lunak

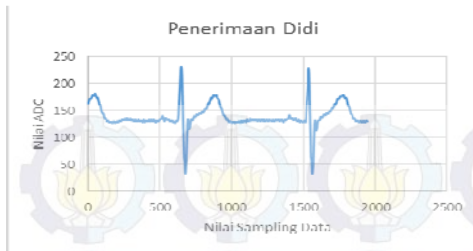
Pengujian dilakukan dengan menggunakan seluruh rangkaian analog dan diterima oleh ARM. Pada pengujian, dikirimkan data yang ada dan direkonstruksi pada penerima. Setelah seluruh data diterima, maka sinyal akan diolah untuk kemudian dicari ekstrak dari parameter temporalnya. Pengujian dapat dilihat pada gambar berikut:

3.6 Penggunaan Radio

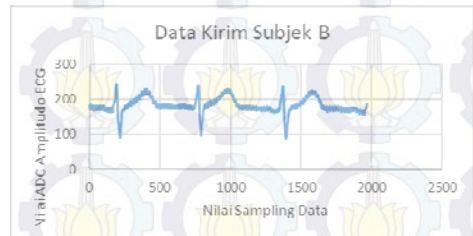
Pengujian dilakukan dengan mengirimkan sinyal *database* yang telah didapat dengan konfigurasi komputer pada gambar 22. Terlihat bahwa algoritma menerima sinyal dan mampu merekonstruksi ulang bentuk sinyal yang dikirim, dengan sedikit adanya pergeseran data.



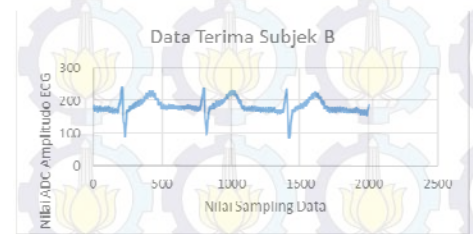
Gambar 13 Data asli yang didapat dari Subjek A



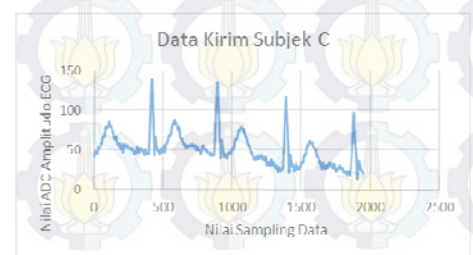
Gambar 14 Penerimaan Data dari Subjek A



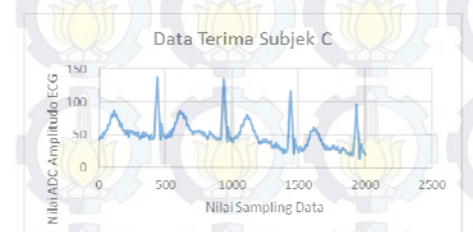
Gambar 15 Data asli yang didapat dari Subjek B



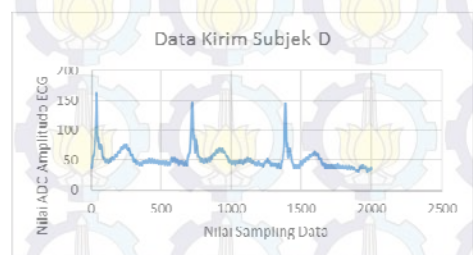
Gambar 16 Penerimaan Data dari Subjek B



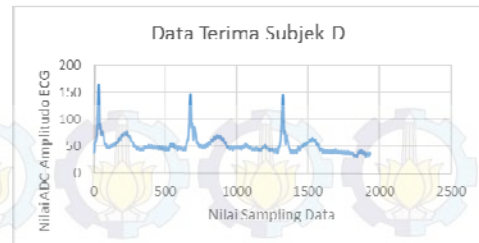
Gambar 17 Data asli yang didapat dari Subjek C



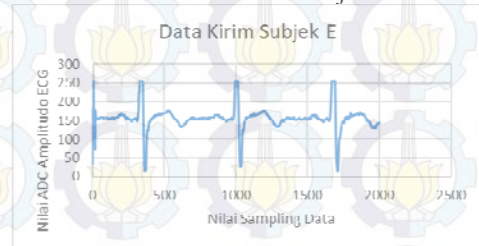
Gambar 18 Penerimaan Data dari Subjek A



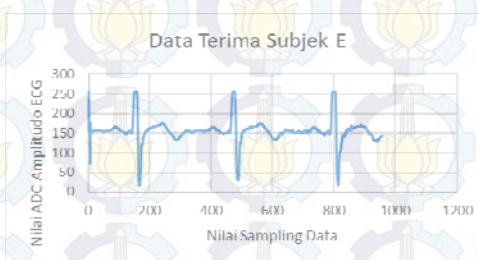
Gambar 19 Data asli yang didapat dari Subjek D



Gambar 20 Penerimaan Data dari Subjek D



Gambar 21 Data asli yang didapat dari Subjek E



Gambar 22 Penerimaan Data dari Subjek E

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan simulasi, Rangkaian ECG dengan menggunakan ARM telah mampu untuk melakukan monitoring aktivitas listrik dari jantung. Terlihat pula bahwa pengiriman data menggunakan protokol AX.25 masih cukup lambat untuk dapat mengirimkan data secara *real time*. Pemasangan yang dilakukan adalah dengan menggunakan paket data untuk pengiriman sekaligus berupa 5 *sample* untuk tiap transmisi. Pemilihan jumlah transmisi dinilai tepat karena dapat menghindari pergeseran nilai informasi yang ada dan bahkan pada kondisi pengiriman tanpa data. Kemampuan komunikasi ini cukup *reliable* namun memakan waktu transmisi yang cukup lama, namun kompensasi ini lebih baik karena kemampuannya untuk menjangkau wilayah terpencil dimana pengiriman data dari monitoring jantung umumnya akan memakan waktu lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.Tompkins, Willis, "Biomedical Digital Signal Processing", Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [2] User Manual Alinco DR-135 mk III, Alinco, 2012
- [3] Hanif, Messa, "Rancang Bangun Sistem Instrumentasi dan Pengolahan Digital Sinyal ECG untuk Analisa Variabilitas Parameter Temporal Berbasis Mikrokontroler ARM", Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No.1, (2015)1-6, Surabaya, 2015
- [4] Pan J, Tompkins W. *A real-time QRS detection algorithm*. IEEE Trans Biomed Eng. 1985; 32: 230-236.
- [5] Pan J, Tompkins W. "Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database", IEEE Trans Biomed Eng. 196; 33: 1157-1165.
- [6] AD620 datasheet, Analog Device, 2010.
- [7] Charles K., Matthew N., "Fundamental of Electric Circuits, 5th.", Mc Graw Hill, Companies., 2013.

- [8] Modul *Biomedical Signal Amplifier* mod EB-B1/EV, Eleetronica Veneta, hal 45.
- [9] Pujiono, "Rangkaian Elektronika Analog", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- [10] Martini, Nath, "*Fundamentals of Anatomy and Physiology*", Pearson Education, INC., San Fransisco, Ch 3-4, 2012

BIOGRAFI PENULIS



Muhammad Farid Retisianto dilahirkan di Tangerang, 17 Juli 1993. Putra terakhir dari dua bersaudara. Selama masa kanak-kanaknya, penulis telah berkeliling dan tinggal di beberapa kota seperti Jayapura, Semarang, Surabaya, dan Jakarta. Penulis merupakan anggota dan asisten dari laboratorium elektronika di Jurusan Teknik Elektro ITS, terdaftar sebagai asisten

laboratorium elektronika dasar dan anggota dari laboratorium teknik biomedika selama penulis menempuh masa studi S1 di kampus ITS Surabaya. Penulis telah menempuh pendidikan di SMA Negeri 61 Jakarta Timur, dan merupakan alumni dari dua SMP Negeri, yakni SMP Negeri 255 Jakarta dan SMP Negeri 6 Surabaya. Riwayat pendidikan SD penulis ditempuh di tiga kota, yakni SD Muhammadiyah 4 Pucang Surabaya, SD Hidayatullah Semarang dan SD Asyasyafi'iyah 02 Jatiwaringin Jakarta.