

Kinerja Inkubator Bayi dengan Pemanas Tanpa Listrik yang Dilengkapi Unit Pemantau Suhu dan Kelembaban Udara

Wihantoro, Abdullah N. Aziz, Mukhtar Effendi dan Sukmaji A. Raharjo

Program Studi Fisika, Universitas Jenderal Soedirman
wihantoro.han@gmail.com

Received 28-09-2012, Revised 22-10-2012, Accepted 30-10-2012, Published 25-10-2012

ABSTRACT

An infant incubator utilizing a non-electrical heater element and an add-on temperature and relative humidity controlling unit has been produced. Copper pipe in planar spiral construction which usually found as a radiator element in refrigerator was used as the heater element. Once the hot water filled into the element, it will served as heat energy source for $(40 \times 58 \times 40) \text{ cm}^3$ volume of incubator's baby compartment. Compartment's performance (P) in providing the heat energy was to be found as 0.4 J/s and the average constant temperature achievable was $34.2 \text{ }^\circ\text{C}$. Two of LM35 ICs were operated as dry and wet sensor each and served as the input for temperature and humidity quantities for baby's compartment. These both sensors were set by CV-AVR package program which then was loaded into the ATMega8535 chip. An LCD screen of 20×2 matrices was then used in displaying these both quantities. Dry and wet temperature sensors which were used to acquire the value of air temperature and relative humidity within baby's compartment to be found have sensitivity value of $0.02 - 0.01 \text{ volt}/^\circ\text{C}$ and $0.03 - 0.01 \text{ volt}/^\circ\text{C}$, each.

Keywords: baby compartment's performance, planar spiral heater element, non-electrical infant incubator.

ABSTRAK

Inkubator bayi yang mengunggulkan elemen pemanas tanpa listrik dan penambahan piranti elektronika pemantau suhu dan kelembaban udara relatif berhasil di produksi. Pipa tembaga lekuk datar yang biasa digunakan sebagai radiator lemari pendingin dimanfaatkan sebagai elemen pemanasnya. Elemen ini diisi air panas dan berperan sebagai pemasok energi panas bagi ruang inkubator bayi yang berukuran $(40 \times 58 \times 40) \text{ cm}^3$. Kinerja ruang inkubator (P) dalam memasok energi panas di dalam ruang inkubator diketahui sebesar $0,4 \text{ J/s}$ dengan capaian rata-rata suhu stabilnya $34,2^\circ\text{C}$. Dua buah IC LM35 difungsikan masing-masing sebagai sensor suhu kering dan suhu basah dan menjadi inputan besaran suhu dan kelembaban udara bagi ruang inkubator. Dalam menghasilkan nilai suhu dan kelembaban, fungsi kedua sensor ini diatur melalui bahasa pemrograman CV-AVR yang ditanamkan pada mikrokontroler ATMega8535. Nilai besaran ini ditampilkan ke layar LCD bermatrik 20×2 . Sensitifitas kedua besaran diketahui masing-masing sebesar $0,02 - 0,01 \text{ volt}/^\circ\text{C}$ dan $0,03 - 0,01 \text{ volt}/^\circ\text{C}$ untuk sensor suhu kering dan suhu basah.

Kata Kunci: kinerja ruang inkubator, elemen pemanas planar spiral, inkubator bayi tanpa listrik.

PENDAHULUAN

Daerah yang jauh dari akses kota (*remote area*) ternyata masih ada yang belum memperoleh pasokan listrik PLN. Daerah seperti ini diperparah dengan kurang memadainya fasilitas dan/atau akses kesehatan terutama bagi ibu dan anak. Daerah-daerah *remote area* di sekitar wilayah Banyumas, terutama Cilongok dan Gumelar^[1] masih ditemukan pelaporan adanya kelahiran di bawah berat normal dan/atau prematur. Dengan alasan faktor biaya, penduduk lokal ada yang memilih merawat bayinya sendiri di rumah dengan “inkubator” sederhana. Kearifan lokal menarik “inkubator” sederhana ini adalah digunakannya nampan seng berisi air yang dipanasi dengan pembakar minyak sumbu-tunggal sebagai sumber energi panasnya. Namun, asap hitam dari pembakar minyak ini dapat mempengaruhi kesehatan bayi. Kondisi inilah yang menginspirasi dibuatnya inkubator bayi tanpa listrik ini.

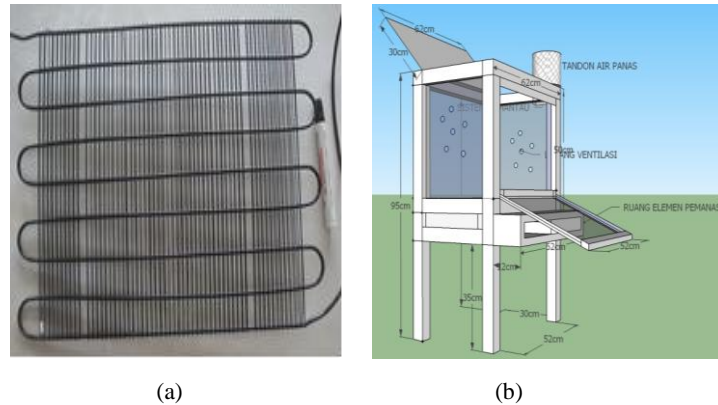
Inkubator secara keseluruhan berangka kayu dengan sisi dinding ruang bayinya dari plastik akrilik tembus pandang. Pipa tembaga lekuk datar yang biasa digunakan sebagai elemen radiator kulkas yang diisi air panas dimanfaatkan sebagai sumber energi panas tanpa listriknya. Agar mendekati inkubator keluaran pabrik, pada ruang inkubator ditempatkan satu buah IC LM35 yang difungsikan sebagai sensor suhu kering. Satu buah lagi IC LM35 ditempatkan dalam wadah terpisah berisi kapas basah dan difungsikan sebagai sensor suhu basah. Masing-masing keluaran sensor diumpungkan ke mikrokontroler ATmega8535 guna menghasilkan nilai besaran suhu dan kelembaban udara. Tambahan ini menjadi unit piranti elektronik pemantau suhu dan kelembaban udara yang dapat lepas-pasang dan tidak harus menempel pada inkubator^[2]. Walau masih dalam kategori prototipe karena belum dicoba pakai serta tidak melibatkan bayi dalam percobaannya, inkubator bayi ini diharapkan mampu mengatasi keterbatasan tersedianya sarana dasar kesehatan bagi bayi baru lahir di bawah berat badan dan/atau prematur di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik PLN dan jauh dari akses sarana kesehatan memadai.

Pada ranah fisika, tujuan utama tulisan ini adalah menentukan kinerja elemen pemanas dalam memasok sumber energi panas bagi ruang inkubator yang dinyatakan sebagai kinerja ruang inkubator, P . Penambahan unit pemantau suhu dan kelembaban diuji kinerjanya guna melihat kehandalannya dalam menampilkan nilai suhu dan kelembaban ruang inkubator. Pengujiannya dilakukan dengan hanya mengkarakterisasi dua buah sensor IC LM35 yang difungsikan sebagai sensor suhu basah dan kering.

BAHAN DAN PERALATAN

Bahan utama inkubator adalah rangka kayu ukuran 2,5 cm x 4,5 cm. Bahan tembus pandang plastik akrilik setebal 5 mm dipilih sebagai dinding ruang inkubator. Ukuran volume bagian dalam ruang inkubator ini adalah (40 x 58 x 40) cm³ (Gbr. 1a). Elemen pemanasnya diambil dari elemen radiator yang biasa ditemukan pada sisi belakang lemari pendingin (kulkas). Elemen ini berupa pipa tembaga berdiameter dalam 3,0 mm berbentuk lekuk mendatar (*planar spiral*) yang jarak antar lekuknya 4,5 cm dan luas (43,0 x 48,5) cm². Jarak antar lekuk elemen ini dijaga tetap dengan menempelkan batang tembaga pepat berdiameter 1,0 mm secara melintang pada sisi atas dan bawah dengan jarak spasi tiap batangnya 0,8 cm (Gbr. 1b). Elemen pemanas ini digunakan untuk memasok energi panas (kalor) ke ruang inkubator (*baby compartment*) dengan cara mengalirkan air panas yang sudah tersedia di tandon (termos) melalui salah satu ujung pipa elemen. Ujung pipa elemen satunya difungsikan sebagai kran untuk menahan air panas di dalam elemen serta membuang air di dalamnya bila telah tidak digunakan. Volume air panas yang dapat ditampung elemen ini setara dengan seper-lima volume kemasan gelas plastik air mineral,

yaitu $39,6 \text{ cm}^3$. Disinilah kelebihan elemen ini dalam memasok energi panas. Walaupun hanya menggunakan air panas dengan volume sedikit, tetapi konstruksi pipa tembaganya mampu menghasilkan suhu yang tinggi.



Gambar 1. (color online) (a) Desain rangka inkubator, (b) elemen pemanas planar spiral dari radiator kulkas. (Gambar 1a dibuat dengan bantuan *GoogleSketchUp*)

Kehandalan elemen pemanas dilihat dari kemampuannya memasok energi panas ke ruang inkubator. Ini dilakukan dengan cara mengamati perubahan suhu yang terjadi di dalam ruang inkubator segera setelah air panas diisikan ke elemen. Pengamatan perubahan suhu dilakukan menggunakan sensor suhu IC LM35 yang difungsikan sebagai sensor suhu kering dan menampilkan nilai suhu ruang inkubator. Agar fungsi pemantauan kondisi fisis ruang inkubator menjadi lengkap, ditambahkan variabel pemantau kelembaban udara dengan menambahkan lagi satu IC LM35 sebagai komponen suhu basah terpisah dari IC LM35 sensor suhu kering. Rasio selisih suhu kering dan suhu basah terhadap suhu keringnya inilah yang diproses sebagai kelembaban relatif udara. Alur pengaturan ini diolah memanfaatkan paket program CV-AVR yang *listing* lengkapnya ditanamkan ke dalam modul mikrokontroler ATmega8535. Nilai pembacaan dari dua variabel ini selanjutnya ditampilkan pada komponen layar LCD bermatriks 20x2.

METODE

Spesifikasi ukuran fisik inkubator bayi disajikan pada Gbr. 1a. Ruang tempat elemen pemanas diletakkan di bawah ruang inkubator guna memudahkan air panas dialirkan dari tandon ke elemen. Juga agar air panas mudah mengalir di sepanjang pipa tembaganya, elemen dipasang miring dengan titik masuk air panas berada pada bagian atas dan titik buang airnya berada di bawah. Alasan lain dari penempatan ruang elemen pemanas di bawah ruang inkubator adalah agar energi panas dari ruang pemanas dapat mudah mengalir ke atas merujuk efek cerobong (*chimney effect*)^[3]. Guna menjamin berlangsungnya efek cerobong, sekeliling sisi dan alas elemen pemanas dilapisi *foam* setebal 2,0 cm.

Kinerja ruang inkubator diturunkan dari persamaan Joule. Besaran ini menyatakan jumlah energi panas yang diterima udara di dalam ruang inkubator tiap satuan waktu^[4]

$$P = BV \frac{\Delta\theta}{\Delta t} ; B = \rho_{ud} c_{v-ud} \quad (1)$$

dengan $\Delta\theta/\Delta t$ menyatakan perubahan suhu udara di dalam ruang inkubator selama selang waktu t , ρ_{ud} menyatakan rapat massa udara ($1,29 \text{ kg/m}^3$) dan c_{v-ud} menyatakan kalor jenis udara pada volume tetap ($0,71 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$). Dua variabel terakhir merupakan nilai konstanta

udara dalam ruang inkubator dan dinyatakan sebagai konstanta B . Sementara, V menyatakan volume udara yang tertampung di bagian dalam ruang inkubator. Berdasar persamaan (1) selanjutnya diamati seberapa cepat suhu udara ruang inkubator naik hingga tepat mencapai nilai stabil suhu inkubator yang dipertahankan. Persamaan (1) merupakan bentuk persamaan linier sederhana dengan B dan V bernilai tetap selama rentang waktu pengukuran. Secara grafis suhu ($\Delta\theta/\Delta t$) merupakan gradien garis lurus dan nilai P kinerja ruang inkubator dapat ditentukan.

Sebuah unit tambahan yang berperan sebagai pemantau suhu dan kelembaban udara dalam ruang inkubator dibuat dengan mengandalkan dua buah sensor suhu IC LM35. Listing program berbahasa C untuk mikrokontroler, yaitu paket program CV-AVR, yang ditanamkan pada *chip* mikrokontroler ATmega8535 dibuat guna mengubah nilai yang dihasilkan oleh kedua sensor IC LM35 menjadi besaran suhu dan kelembaban. Nilai suhu dibuat dalam satuan $^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif dalam satuan persen. Nilai-nilai ini selanjutnya ditampilkan ke layar LCD matriks berukuran 20x2. Bagian terpenting dari unit pemantau ini adalah pengaturan satu sensor LM35 sebagai sensor suhu kering yang selanjutnya digunakan untuk pembacaan suhu ruang inkubator. Sedangkan satu sensor LM35 lainnya diatur sebagai sensor suhu basah. Rasio selisih suhu kering dan suhu basah terhadap suhu keringnya itu sendiri inilah yang dibaca sebagai kelembaban relatif (RH)^[5] menurut hubungan

$$RH = \frac{\theta_{\text{kering}} - \theta_{\text{basah}}}{\theta_{\text{kering}}} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Inkubator bayi tanpa listrik

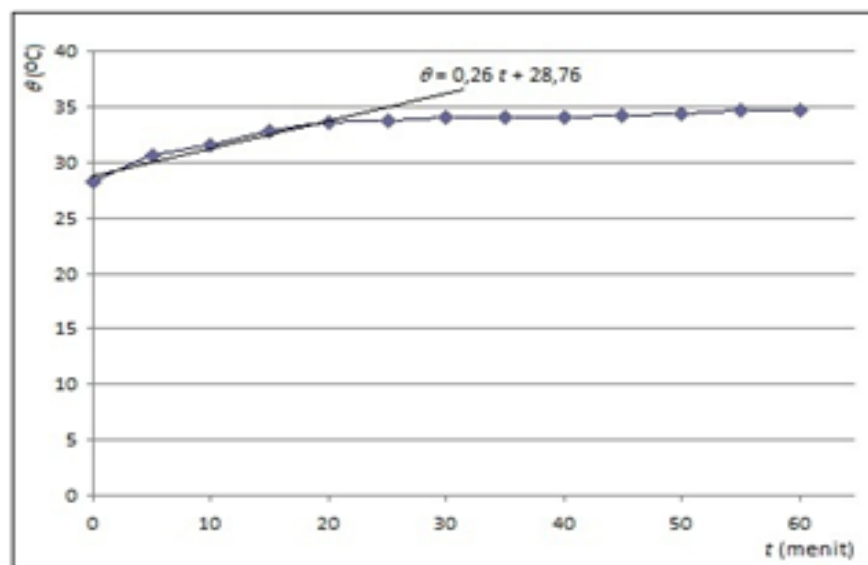
Rancangan inkubator bayi berikut dengan spesifikasi teknis ukuran dimensinya disajikan pada Gambar 1a. Rangka inkubator dipilih dari bahan kayu agar kokoh tetapi tetap ringan. Tiga bagian utama inkubator terdiri dari ruang elemen pemanas, ruang inkubator dan penampung (tandon) air panas. Sekeliling sisi dan alas ruang elemen pemanas terbuat dari kayu dengan bagian dalamnya dilapisi *foam* guna melokalisasi energi panas agar tidak cepat terbang ke lingkungan sekitar dan menjamin arah alirannya hanya ke atas, ke ruang inkubator. Mekanisme ini dikenal sebagai efek cerobong (*chimney effect*)^[6]. Sekeliling sisi dan kanopi ruang inkubator dibuat dari plastik akrilik dengan ketebalan 5 mm. Sisi kiri-kanan ruang ini diberi lubang ventilasi secukupnya untuk pertukaran udara. Kanopi dan bagian depannya dibuat agar dapat dibuka-tutup guna memudahkan akses penanganan/perawatan bayi nantinya (Gambar.2). Antara kedua ruang ini diberi sekat berupa triplek berlubang yang disangga dengan rangka kayu dan difungsikan sebagai alas tempat tidur bayi. Lubang pada triplek alas difungsikan guna memudahkan proses transfer energi panas dari elemen pemanas ke ruang inkubator.



Gambar 2. (color online) Bukaan ganda inkubator bayi produksi sendiri yang memudahkan akses penanganan bayi. Kotak kecil yang ditunjuk adalah unit tambahan pemantau suhu dan kelembaban

Kinerja Ruang Inkubator

Walaupun sumber energi panasnya berasal dari air panas yang dikungkung dalam elemen planar spiral di ruang pemanas, tetapi kinerja yang diukur adalah kinerja ruang inkubatornya. Alasan mendasarnya adalah ruang inkubator inilah tempat bayi baru lahir dibawah berat badan dan/atau prematur ditempatkan. Kondisi lingkungan fisis dalam ruang inilah yang akan berinteraksi dengan bayi. Persamaan (1) yang digunakan sebagai dasar penentuan kinerja ruang inkubator merupakan contoh langsung penerapan persamaan Joule, $\Delta Q = m.c.\Delta\theta$. (variabel suhu t diganti dengan θ agar tidak rancu dengan variabel t waktu). Seperti diuraikan pada bagian eksperimental, nilai B dan V Persamaan (1) cenderung tetap pada rentang pengamatan suhu. Nilai $(\Delta\theta/\Delta t)$ yang pada dasarnya merupakan variabel yang diamati pada kajian ini dihitung dari gradien kenaikan suhu hingga tepat tercapai suhu stabil dalam ruang inkubator. Data yang dimasukkan untuk pengambilan nilai gradien ini adalah rata-rata semua pengukuran perubahan suhu yang dilakukan (Gambar. 3).



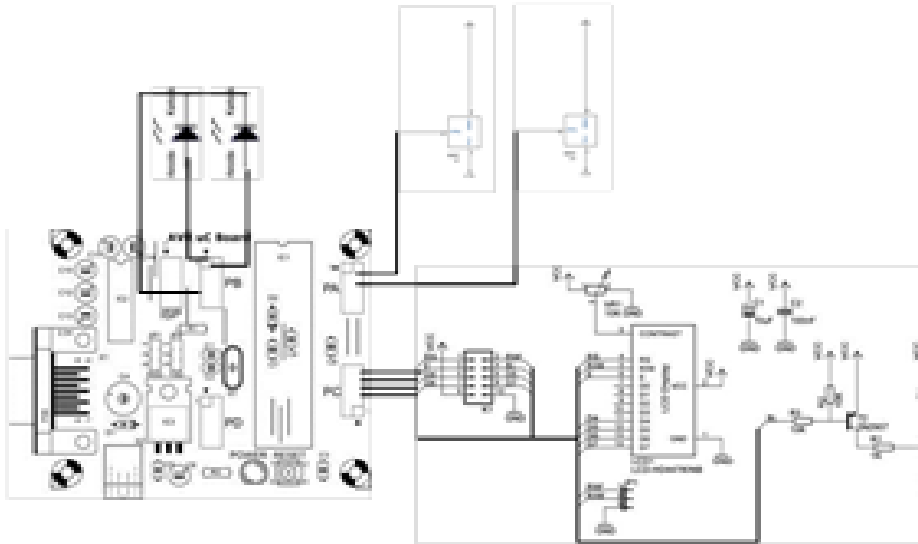
Gambar 3. Pembangkitan persamaan linier untuk penentuan nilai gradien perubahan suhu-waktu ($\Delta\theta/\Delta t$) di dalam ruang inkubator produksi sendiri. Data dengan garis mendatar memperlihatkan capaian suhu stabil (Grafik dan pembangkitan persamaan regresi linier diolah dengan bantuan Microsoft Excel 2010)

Dengan memasukkan nilai-nilai dari semua komponen variabel Persamaan (1) diperoleh besarnya kinerja ruang inkubator rata-rata sebesar 0,4 J/s. Sementara capaian suhu stabil udara ruang inkubator rata-rata tercapai pada 34,2°C. Suhu stabil ini rata-rata tercapai 20 menit segera setelah air panas mengisi penuh volume elemen planar spiral. Capaian suhu stabil ruang inkubator yang rata-rata sebesar 34,2°C sudah cukup memadai sebagai lingkungan bayi, karena suhu maksimal yang disyaratkan adalah 37°C^[6,7].

Begitu penunjukkan suhu stabil ruang inkubator memperlihatkan penurunan, air panas dalam elemen dapat dibuang untuk kemudian digantikan dengan air panas baru yang tersimpan di tandon. Secara praktek memang terlihat kurang praktis harus membuang atau mengisi air panasnya, namun inilah cara solutif aman penyedia sumber energi panas inkubator untuk daerah yang belum teraliri listrik PLN dan jauh dari akses pusat kesehatan.

Unit Pemantau Suhu dan Kelembaban

Rangkaian tiap komponen penyusun unit pemantau ini disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4a. Skema unit pemantau suhu dan kelembaban untuk inkubator
(Gambar dibuat dengan Microsoft Visio 2002)



Gambar 4b. (color online) Rangkaian unit pemantau suhu dan kelembaban untuk inkubator secara fisik.
Gambar inset memperlihatkan contoh tampilan pembacaan nilai suhu dan kelembaban

Sensor IC LM35 dengan pin *input* dikoneksikan melalui kabel serial paralel yang memungkinkan terjadinya sistem konversi sinyal analog ke sinyal digital (sistem ADC yang telah terdapat di dalam modul mikrokontroler). Sistem ADC mempunyai jumlah maksimum delapan saluran masukan analog yang dapat direspon secara bersamaan melalui port A mikrokontroler. Sistem ADC mempunyai lebar pita 8 bit, sehingga proses *sampling* data analog dapat dibagi menjadi 28 atau 256 bagian (dari bit 0-255). Pin-pin ADC yang digunakan pada pembuatan unit ini adalah pin 0 untuk *output* sensor suhu kering dan pin 1 untuk sensor suhu basah. Sinyal digital keluaran dari ADC akan langsung diolah oleh mikrokontroler. Dengan program CV-AVR yang telah dibuat, mikrokontroler akan mengatur sinyal keluaran menuju aktuator yang dipasang pada *port* B, dan layar LCD pada *port* C. Nukilan potongan *listing* program CV-AVR pengatur suhu dan kelembaban dapat dilihat pada Gambar.5.

```

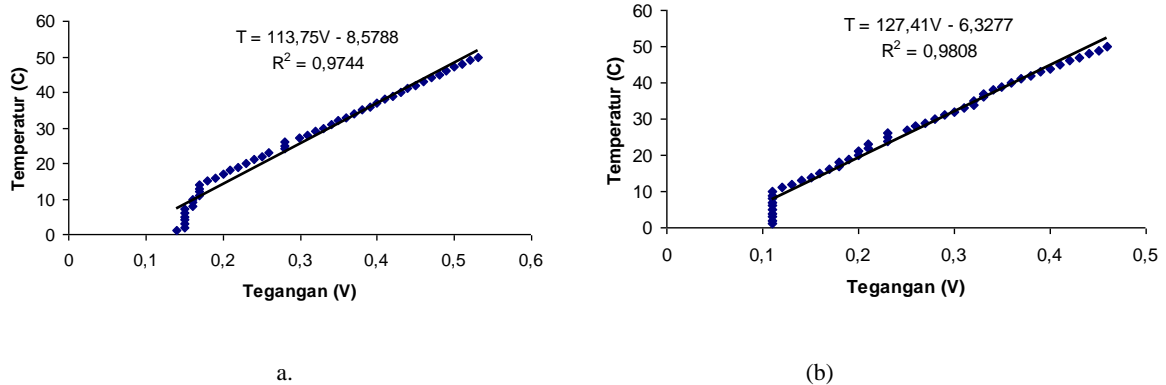
lcd_gotoxy(3,0);
tkering=(113.75*vtkering)-8.5788; // konversi fungsi tranfer
sprintf(buf1,"%d",tkering); // menyimpan string ke SRAM
lcd_puts(buf1); // menampilkan temperatur ke LCD

if(tkering>tbasah){
deltat=((tkering-tbasah)/tkering)*100; // inialisasi fungsi kelembaban
}
else{
deltat=((tbasah-tkering)/tkering)*100;
};
if(vtkering==vtbasah){
lembab=100;
}

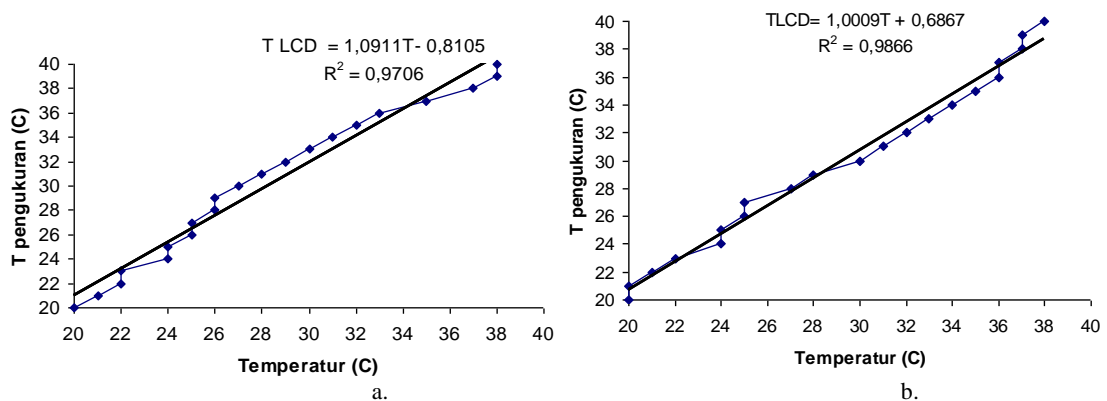
```

Gambar 5. (color online) Nukilan listing pembacaan suhu kering (atas) dan kelembaban udara (bawah)

Guna menjamin bahwa besaran fisis yang ditunjukkan pada layar LCD sama dengan besaran fisis semestinya, dilakukan kalibrasi pada kedua sensor IC LM35-nya. Kalibrasi pertama adalah dengan memperlihatkan bahwa perubahan nilai variabel fisisnya setara dengan perubahan tegangan yang terjadi pada tiap sensor (Gambar.6). Kalibrasi kedua adalah membandingkan nilai besaran fisis yang ditunjukkan oleh sensor suhu kering dan suhu basah sama dengan nilai yang ditunjukkan pada termometer digital dari keduanya (Gambar. 7).



Gambar 6. Kalibrasi sensor suhu kering (a) dan sensor suhu basah (b) terhadap nilai tegangan keluarannya.(Gambar dan persamaan regresi linier dibangkitkan dengan bantuan Microsoft Excel 2010)



Gambar 7. Perbandingan nilai suhu kering terukur (a) dan suhu basah (b) pada LCD dengan nilai penunjukkan pada termometer digital rujukan.
(Gambar dan persamaan regresi linier dibangkitkan dengan bantuan Microsoft Excel 2010)

Berdasarkan Gambar. 7, kalibrasi nilai suhu ruang inkubator yang muncul di layar LCD dibandingkan dengan nilai suhu yang terbaca pada termometer digital. Sementara kalibrasi kelembaban yang nilainya ditampilkan pada layar LCD tidak dibandingkan dengan higrometer digital, karena tidak adanya higrometer digital. Nilai kelembaban yang muncul pada layar LCD sepenuhnya mengandalkan pengolahan data sensor suhu kering dan suhu basah menurut Persamaan (2) yang algoritmanya diatur sebagaimana nukilan program pada Gambar. 5. Sehingga disini, yang dikalibrasi adalah nilai suhu basah dan suhu kering pengukuran terhadap nilai keduanya yang diukur dengan termometer digital.

Dari persamaan regresi linier yang diperoleh serta melihat nilai R^2 -nya, kesensitifan sensor berkisar antara $0,02 - 0,01 \text{ volt}^\circ\text{C}$ dan $0,03 - 0,01 \text{ volt}^\circ\text{C}$, masing-masing untuk sensor suhu kering dan suhu basah. Dari persamaan linier yang muncul terutama nilai R^2 -nya dapat diketahui bahwa sistem pemantau besaran suhu dan kelembaban dalam memantau lingkungan fisis inkubator bayi produksi sendiri ini mempunyai akurasi sebesar 97,06% dan 98,66%, masing-masing untuk sensor suhu kering dan sensor suhu basah. Unit pemantau ini lebih sederhana dalam pembuatan listing programnya dan lebih lengkap karena menyertakan variabel kelembaban udara dibanding dengan unit sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya^[8].

KESIMPULAN

Secara umum, inkubator bayi dengan sumber energi berupa air panas yang dikungkung dalam elemen planar spiral mampu menghasilkan energi panas rata-rata sebesar 0,4 J/s dengan capaian rata-rata suhu stabilnya $34,2^\circ\text{C}$ dalam selang waktu 20 menit segera setelah air panas mengisi elemen. Kalibrasi dari kedua sensor suhu kering dan basahnya masing-masing memiliki kepekaan berkisar $0,02 - 0,01 \text{ volt}^\circ\text{C}$ dan $0,03 - 0,01 \text{ volt}^\circ\text{C}$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM UNSOED atas dukungan dana melalui skim PKM Berbasis Riset. Dinas Kesehatan Kabupaten Banyumas atas perkenan ijin kegiatan PKM dan kunjungan ke Puskesmas Rawat Inap dan Rumah Sakit Bersalin di sekitar Banyumas. Miftakhul Firdaus atas bantuan inisiasi pemrogramannya.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 BPS Kab. Banyumas. “Kabupaten Banyumas dalam Angka 2011”. ISSN 0214.4331. Katalog BPS 1401.3302.
- 2 Wihantoro. 2011. “Pemantau Parameter Fisis untuk Lingkungan Inkubator Bayi.” *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI, Jateng-DIY*. ISSN 0853-0823. pp. 96-98.
- 3 Antonucci, R., Porcella A., and Fanos V. 2009. “The infant incubator in the neonatal intensive care unit: unresolved issues and future developments”. *Journal of Perinatal Medicine*, Vol. 37 No. 6, pp. 587-598.
- 4 Wihantoro dan Agus Yanto. 2010. “Kajian Teori Dan Eksperimen Dinding Penampung Kalor: Alternatif Pemanas Air Sederhana Tenaga Matahari” *Prosiding Seminar Nasional Energi Terbarukan Indonesia I*. pp. 85-89.
- 5 Sinclair, L and Sinn J. ”Higher versus Lower Humidity for the Prevention of Morbidity and Mortality in Praterm Infants in Incubators”. *Cochrane Database of Systematic Reviews* pp.2.
- 6 Aynsley-Green, A., Robertson N.R., and Rofley. P. 1975. “Air Temperature Recording in infant incubators”. *Arch Dis Child*. Vol. 50 No. 3, pp. 215-219.

- 7 Dahm, Linda Swafford, and Stanley James. 1977. "Newborn Temperature And Calculated Heat Loss In The Delivery Room". *Pediatrics* Vol. 49 No. 4, pp. 504-513.
- 8 Sugito, H dan Suryono. 2009. "Rancang Bangun Sistem Pengaturan Suhu Ruang Inkubator Bayi Berbasis Microcontroller AT89S51". *Berkala Fisika*, Vol. 12. No. 2, pp. 55-62.