

Rancang Bangun Inkubator Bayi Mengacu Kepada Standar Nasional Indonesia

Raldi A. Koestoer dan Ramadita Budhi Wadhana

Mechanical Engineering Departement

Faculty of Engineering University of Indonesia, Depok 16424

Phone : (021)7270032 E-mail : heatlabs@eng.ui.ac.id

Abstrak

Dalam makalah ini, sebuah inkubator bayi prototipe dirancang dan dibuat, dan unjuk kerjanya diuji menggunakan prosedur pengujian SNI. Kotak inkubator prototipe seluruhnya terbuat dari plywood, kecuali pada sisi depan dan atas, kedua sisi ini menggunakan akrilik transparan, sehingga perawat dapat mengawasi bayi dengan baik. Inkubator prototipe terdiri dari dua ruangan, ruang yang di bawah disebut ruang pemanasan dan ruang yang di atas disebut ruang bayi atau ruang inkubator. Pada ruang pemanasan terdapat empat buah bola lampu pijar sebagai sumber panas dan suhu ruangan diatur oleh Autonics thermostat yang menggunakan sensor Pt100. Suhu ruang inkubator dipanaskan dengan variasi suhu kontrol antara 32°C hingga 36°C. Sensor pengukur suhu diletakkan 10 cm di atas matras bayi pada 5 titik yang sudah ditentukan. Hasil pengujian membuktikan bahwa ketika suhu kontrol 36°C, suhu rata-rata di ruang bayi sekitar 34°C dan kelembaban udaranya berkisar antara 50% hingga 60%.

Abstract

In this paper, a prototype of infant incubator has been discussed and built, and a test of the incubator performanc is conducted by using SNI testing procedure. All of the body of prototype incubator is made of plywood, except the front and topside, these two sides using transparent acrylic, so that the nurses can watch the baby well through it. Prototype incubator consists of two rooms, the lower room called heating room and the upper room called infant room or incubator room. In the heating room there are four electric light bulbs as the heat source and the room temperature controlled by Autonics digital temperature controller using Pt100 as sensor. The incubator room temperature is heated with temperature variation from 32°C to 36°C. Temperature measuring sensor is fitted 10 cm from the bed in 5 different measuring points. The result of the test giving a fact that when the incubator temperature controller set in 36°C, average temperature in the infant room is about 34°C and its relative humidity is about 50% to 60%.

Key words: Infant incubator, IEC, DSN, SNI, heat, temperature, humidity.

1. Latar Belakang

Kelahiran yang prematur, lebih awal dari waktunya, menyebabkan bayi yang dilahirkan rentan terhadap kematian. Kematian dapat terjadi pada bayi yang lahir prematur karena bayi tersebut belum mampu mempertahankan suhu tubuhnya sendiri. Untuk mencegahnya dari kedinginan, bayi tersebut harus didekap oleh ibunya terus menerus, sehingga panas tubuh si ibu akan menghangatkan bayinya secara alami. Dengan demikian si ibu harus terus menerus bersama bayinya, sedangkan kondisi yang biasa terjadi, tidak semua ibu dapat selalu bersama bayinya setelah

melahirkan, karena si ibu masih dalam kondisi yang lemah dan memerlukan perawatan.

Untuk menggantikan fungsi dari dekapan ibu diatas, dalam dunia kedokteran dikenal suatu alat yang disebut Inkubator Bayi (*Infant Incubator*). Alat ini berupa kotak penghangat sehingga dapat membantu bayi yang lahir prematur untuk bertahan hidup. Seiring dengan kemajuan teknologi, alat ini terus berkembang mengikuti teknologi terkini dan mengacu kepada standar-standar perancangan yang ditetapkan oleh badan standar internasional, dalam hal ini adalah *International*

Electrotechnical Commission (IEC) [5], yang juga menjadi acuan dalam pembuatan Standar Nasional Indonesia (SNI) oleh Dewan Standarisasi Nasional (DSN).

Pada saat ini telah banyak inkubator bayi yang digunakan di rumah sakit, klinik, rumah bersalin, bahkan puskesmas. Akan tetapi, karena mahalnnya harga inkubator dan biaya perawatannya, hanya rumah sakit, klinik, rumah bersalin dan puskesmas tertentu saja yang memiliki fasilitas inkubator bayi memadai dan memenuhi standar. Rumah sakit, klinik, rumah bersalin, dan puskesmas yang memiliki anggaran keuangannya terbatas hanya memiliki inkubator yang sangat sederhana yang kurang memenuhi standar perancangan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI).

Dengan harga yang cukup tinggi untuk sebuah inkubator bayi produksi dalam negeri yang telah mendapat sertifikasi dari SNI, akan sulit bagi rumah sakit, klinik, rumah bersalin dan puskesmas untuk menjangkaunya. Terlebih lagi disaat krisis ekonomi seperti ini, hanya rumah sakit, klinik dan rumah bersalin tertentu saja yang mampu memenuhi fasilitas tersebut dan melakukan pemeliharaan dengan baik.

Dari kondisi-kondisi yang telah diuraikan di atas, kiranya perlu dirancang dan dibuat sebuah inkubator bayi yang murah biaya pembuatannya, mudah penggunaannya, komponennya mudah diperoleh, dapat berfungsi secara optimal dan memenuhi dasar standar perancangan, dalam hal ini standar yang menjadi acuan adalah SNI.

Standar SNI ini disusun oleh Tim Penyusun Standar Alat Kesehatan, yang ditetapkan berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jendral Pengawasan Obat dan Makanan Departemen Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK. 00.06.4.01825 tanggal 11 Juli 1997.

2. Prinsip Kerja Inkubator Bayi

Secara umum, sebuah inkubator bayi mengontrol suhu, kelembaban udara dan membuat suatu sirkulasi udara di dalam

inkubator sedemikian rupa sehingga panasnya merata. Di dalam ruang *heater* terdapat pemanas yang bertujuan untuk memanaskan udara inkubator bayi. Suhu ruang inkubator dikontrol oleh sebuah termostat, sehingga diperoleh suhu ruang inkubator yang diinginkan. Di dalam ruang inkubator terdapat *humidity reservoir* yang berfungsi menjaga kelembaban udara agar udara di ruang inkubator tidak terlalu kering dan membahayakan bayi. Sirkulasi udara di dalam inkubator dibantu oleh fan agar panasnya merata.

Bayi yang lahir dengan kondisi prematur belum memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan lingkungannya, sehingga bayi tersebut tidak mampu untuk mempertahankan suhu tubuhnya dan bisa berakhir dengan kematian. Untuk mempertahankan suhu tubuhnya, bayi prematur dibantu oleh inkubator bayi.

Untuk mencegah terjadinya kehilangan kalor dari tubuh bayi tersebut maka dibuatlah inkubator bayi sebagai alat pengontrol lingkungan bayi yang memiliki suhu 32°C - 36°C (menurut SNI). Pada rentang suhu ini bayi prematur dapat bertahan hingga ia mampu untuk beradaptasi dengan suhu lingkungannya.

Kalor yang diberikan kepada bayi prematur disesuaikan dengan berat badannya. Bayi dengan berat badan yang lebih ringan mendapatkan kalor yang lebih banyak daripada yang lebih berat, sehingga suhu inkubator bayi pada bayi yang ringan beratnya lebih panas daripada bayi yang berat.

Kadar air di dalam udara atau biasa disebut kelembaban sangat berpengaruh kepada bayi. Dalam melakukan perancangan inkubator bayi pengetahuan tentang kelembaban menjadi penting karena kelembaban berfungsi untuk menjaga pernafasan bayi dan memperkirakan persyaratan suhu udara yang dibutuhkan.

Peningkatan suhu di dalam ruang inkubator mengakibatkan berkurangnya kadar air di dalam udara. Hal ini menyebabkan udara di dalam inkubator menjadi kering dan membahayakan bayi. Pada kondisi ini dapat terjadi iritasi pada

kulit dan saluran pernafasan bayi. Oleh karena itu di dalam ruang inkubator diletakkan sebuah *humidity reservoir* yang bertujuan untuk menjaga agar kelembaban udara relatif stabil, yaitu sekitar 50% hingga 60%. Supaya lebih merata, penguapan biasanya dibantu dengan cara meletakkan spon pada bagian atas air di *humidity reservoir*.

Kecepatan aliran udara di dalam selungkup inkubator mempengaruhi kecepatan penguapan air pada bayi sehingga apabila kecepatan udara terlalu tinggi akan meningkatkan penguapan air dari tubuh bayi.

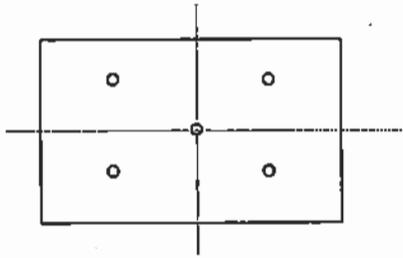
3. Standar Perancangan Inkubator Bayi [8]

Untuk menjaga dan melindungi keselamatan masyarakat, pemerintah dalam hal ini Departemen Kesehatan bekerja sama dengan Dewan Standarisasi Nasional (DSN) menyusun suatu Rancangan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Inkubator Transportasi. Bagian yang menjadi perhatian pada penelitian ini adalah bagian yang berkaitan dengan temperatur ruang inkubator dan kelembaban udaranya, sedangkan bagian yang lain diperhatikan sebagai pengetahuan tambahan dalam melakukan perancangan. Acuan DSN dalam membuat standar ini adalah IEC (*International Electrotechnical Commission*) 601-1 *Medical electrical equipment. Part 1: General requirement for safety*. Karena kondisi di Indonesia tidak sama dengan kondisi di negara-negara maju, maka dilakukan beberapa penyesuaian terhadap pasal-pasal nya.

Kontrol terhadap suhu dan ketelitian data pengukuran pada inkubator bayi sangatlah vital karena apabila terjadi kesalahan dapat menyebabkan kurang terkontrolnya suhu dan membahayakan keselamatan bayi. Suhu udara yang dihirup oleh bayi tidak boleh lebih dari 40°C karena udara pada suhu tersebut, apabila melalui trakheal dapat meningkatkan kerja pernafasan dan insiden kejang laring. Suhu udara yang lebih panas lagi dapat mengakibatkan iritasi pada kulit bayi dan pada saluran pernafasannya. Penempatan

sensor yang kurang tepat dapat menyebabkan pembacaan suhu tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Hal ini perlu diperhatikan terutama bagi perancangan inkubator dengan sistem bayi-terkontrol karena kurang terkontrolnya suhu kulit bayi akan menyebabkan hipertermia atau hipotermia pada bayi.

SNI mengatur tentang ketelitian data pengoperasian pada inkubator bayi. Beberapa aturan tersebut diantaranya adalah sebagai berikut: *Selama kondisi suhu mantap, suhu inkubator transportasi harus tidak berbeda lebih dari 1°C dari suhu inkubator transportasi rata-rata. Kebenaran dicek dengan pengukuran pada suhu kontrol 32°C dan 36°C paling sedikit 1 jam. Jika inkubator transportasi berfungsi sebagai inkubator transportasi udara-terkontrol dan suhu kontrol ditetapkan julatnya, suhu rata-rata pada setiap titik A, B, C, D, dan E seperti disebutkan di dalam instruksi uji harus tidak lebih dari 1,5°C dari suhu inkubator transportasi rata-rata pada penggunaan normal. Pada setiap posisi kemiringan kasur suhu harus tidak berbeda lebih dari 2°C. Kebenarannya dicek dengan pemeriksaan sebagai berikut: Sensor suhu terkalibrasi harus diletakkan di lima titik pada sebuah bidang paralel dan 10 cm di atas pusat kasur. Titik A harus berada pada titik 10 cm di atas pusat kasur (lihat gambar). Titik lain harus berada pada pusat empat area yang dibentuk oleh garis membagi lebar dan panjang di dalam dua bagian yang sama (lihat gambar). Suhu rata-rata pada setiap lima titik ini harus diukur pada suhu kontrol 32°C dan 36°C. Perbedaan lima nilai pengukuran dan hasil suhu inkubator transportasi rata-rata harus dibandingkan seperti yang telah ditetapkan. Pengujian harus dilakukan dengan posisi kasur inkubator horizontal dan pada dua kemiringan sudut yang sangat berbeda. Posisi titik-titik di matras bayi dapat dilihat pada Gambar 1.*



Gambar 1
Posisi titik pengujian

4. Perpindahan Kalor Konveksi Bebas dan Kalor Penerangan

Perpindahan kalor dapat terjadi secara konduksi, konveksi, radiasi atau gabungan di antara ketiganya. Pada inkubator bayi, perpindahan kalor terjadi dari dalam ruang inkubator menuju udara luar inkubator (*ambient*) sehingga suhu permukaan dinding luar lebih panas daripada udara sekitar. Ketika suhu permukaan dinding luar inkubator lebih panas daripada suhu udara sekitarnya, maka yang terjadi adalah peristiwa konveksi bebas. Kalor pada dinding luar inkubator berpindah ke udara sekitar. Proses perpindahan kalor terjadi karena adanya pemanasan oleh dinding luar inkubator terhadap udara sekitar sehingga densitas (kerapatan) udara berkurang dan udara bergerak naik. Gaya yang menyebabkan gerakan tersebut disebut gaya apung (*buoyancy force*) [7].

Pada perpindahan kalor konveksi terdapat tiga jenis bilangan yang mempengaruhi besarnya koefisien perpindahan panas, bilangan-bilangan tersebut adalah Grashof, Prandtl dan Nusselt. Bilangan Grashof berguna dalam menentukan koefisien konveksi bebas, bilangan ini merupakan gugus tidak berdimensi yang menggambarkan perbandingan antara gaya apung dengan gaya viskos di dalam sistem aliran konveksi-bebas. Persamaan untuk menghitung bilangan Grashof adalah sebagai berikut :

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_1 - T_2)L^3}{\nu^2} \quad (1)$$

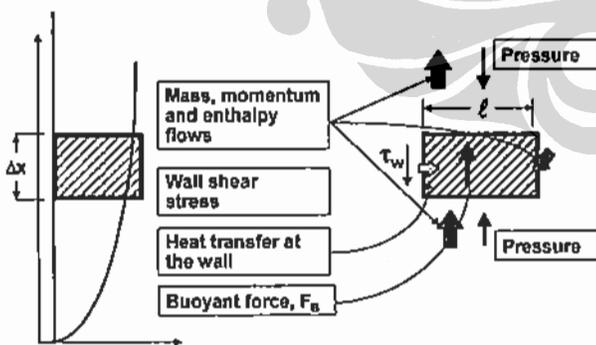
di mana Gr_L adalah bilangan Grashof, g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), β adalah koefisien ekspansi volume (K^{-1}) besarnya sama dengan $1/T$ (khusus gas ideal, T adalah suhu mutlak, selain gas ideal, T adalah suhu film), T_1 dan T_2 adalah temperatur masing-masing material ($^{\circ}C$), L adalah dimensi karakteristik yang ditempuh partikel dalam lapisan batas (m) dan ν adalah besarnya viskositas kinematik (m^2/s). Bilangan Prandtl merupakan parameter yang menghubungkan antara medan kecepatan dan medan suhu. Besarnya bilangan Prandtl dihitung dengan persamaan,

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2)$$

dimana Pr adalah bilangan Prandtl, ν adalah viskositas kinematik (m^2/s) dan α adalah difusivitas termal (m^2/s). Produk perkalian antara bilangan Prandtl dengan bilangan Grashof disebut bilangan Rayleigh (Ra). Bilangan berikutnya adalah bilangan Nusselt, bilangan ini secara fisik ditafsirkan sebagai kebalikan (*inverse*) terhadap tebal lapisan batas kalor. Bilangan Nusselt dihitung dengan persamaan,

$$Nu = \frac{h.L}{k} \quad (3)$$

dimana Nu adalah bilangan Nusselt, h adalah besar koefisien perpindahan kalor



© 2001, F. A. Kulacki

Heat Transfer and Fluid Dynamics, A First Course

1322-1411-6

Gambar 2
Gaya Apung

konveksi (W/m^2C), L adalah panjang karakteristik yang ditempuh partikel di dalam lapisan batas (m) dan k adalah koefisien perpindahan kalor konduksi pada fluida (W/m^0C).

5. Konveksi Bebas pada Plat Vertikal

Sebuah plat vertikal yang dipanaskan ditempatkan pada tempat yang memiliki udara dengan temperatur ruang. Pada dinding plat akan terbentuk sebuah lapisan batas konveksi bebas. Profil lapisan batas tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Apabila kita mengamati profil kecepatannya, pada dinding plat kecepatannya adalah nol, kemudian bertambah hingga mencapai kecepatan maksimum. Setelah melewati titik maksimum, kecepatan berkurang hingga akhirnya sama dengan nol pada tepi lapisan batas. Lapisan batas ketika mulai berkembang adalah laminar kemudian setelah melalui suatu jarak, terbentuklah pusaran-pusaran dari daerah transisi hingga ke lapisan batas turbulen.

Besarnya bilangan Nusselt rata-rata untuk kondisi temperatur dinding seragam (McAdam, 1954) dinyatakan dalam persamaan,

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} = C(Gr_L \cdot Pr)^{1/4} \quad (4)$$

dimana konstanta C dan n dapat dilihat pada Tabel 1.

6. Konveksi Bebas pada Plat Horizontal

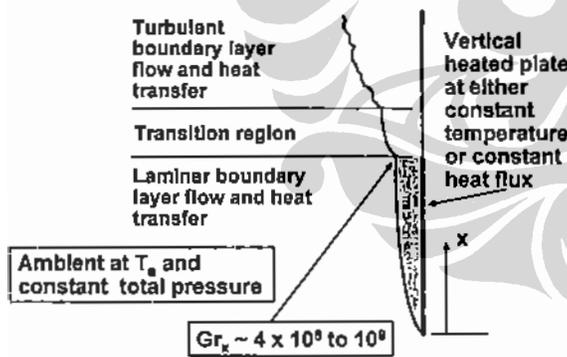
Persamaan bilangan Nusselt rata-rata untuk konveksi bebas pada plat horizontal dengan temperatur seragam (McAdam, 1954 [1]) adalah sebagai berikut,

$$Nu = C(Gr_L \cdot Pr)^n \quad (5)$$

nilai konstanta C dan n dapat dilihat pada Tabel 2.

Kalor yang dibutuhkan untuk pemanasan ruang bayi dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus perpindahan kalor di atas. Dari perhitungan diperoleh bahwa kalor yang hilang oleh konveksi pada dinding luar bayi adalah 77,3 Watt.

Regions of the free convection boundary layer



© 2001, F. A. Kulacki Heat Transfer and Fluid Dynamics: A First Course 1122-1411-5

Tabel 1.
Konstanta C dan n untuk aliran laminar

Jenis Aliran	Bil Rayleigh	C	n
Laminar	$10^4 - 10^9$	0,59	0,5
	$10^9 - 10^{13}$	0,1	0,33

Tabel 2.
Konstanta C dan n berdasarkan orientasi plat

Orientasi Plat	$Gr_L \cdot Pr$	C	n	Aliran
Permukaan plat atas panas, bawah dingin	$10^5 - 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4	Laminar
	$2 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^{10}$	0,14	1/3	Turbulen
Permukaan plat bawah panas, atas dingin	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^{10}$	0,27	1/4	Laminar

7. Kalor Penerangan

Jumlah perolehan kalor dari dalam suatu ruang yang disebabkan oleh penerangan tergantung pada daya (Watt) dari lampu-lampu dan cara pemasangannya. Pemancaran kalor dari penerangan merupakan bentuk energi radiasi. Energi radiasi dari lampu pertama-tama diserap oleh dinding-dinding ruangan dan peralatan yang ada di dalam ruangan tersebut hingga

suhunya naik dengan laju tertentu. Karena suhu dinding dan permukaan peralatan yang ada di dalam ruangan naik hingga suhunya di atas suhu udara, maka dari permukaan dinding dan peralatan tersebut kalor berpindah secara konveksi sehingga memanaskan udara di dalam ruangan. Berikut ini adalah persamaan untuk memperkirakan besarnya kalor yang diperoleh dari lampu-lampu :

$$q = (\text{daya lampu, Watt})(F_u)(F_b)(CLF) \quad (6)$$

dimana F_u adalah faktor penggunaan atau fraksi penggunaan lampu yang terpasang, F_b adalah faktor ballast untuk lampu-lampu flurescent, jika menggunakan lampu pelepasan elektron (lampu neon) dan CLF adalah faktor beban pendinginan yang dalam konteks perancangan inkubator bayi ini menjadi faktor pemanasan (Stoecker, 1994 [6]).

Sumber daya panas yang digunakan untuk mempertahankan suhu inkubator 32°C - 36°C adalah bola lampu pijar, jumlahnya 4 lampu, terdiri dari 1 lampu 25 Watt dan 3 lampu 40 Watt, sehingga total daya lampu adalah 145 Watt. Diasumsikan lampu menyala 16 jam sehari, lama-jam setelah lampu dinyalakan adalah 2 jam dan posisi pemasangan lampu diberi lubang angin. Besarnya kalor dari 4 lampu tersebut adalah :

$$q = (145 \text{ Watt})(0,79) = 114,5 \text{ Watt}$$

Jadi kebutuhan daya panas inkubator dipenuhi oleh 4 buah lampu pijar yang mampu menghasilkan kalor sebesar 114,5 Watt.

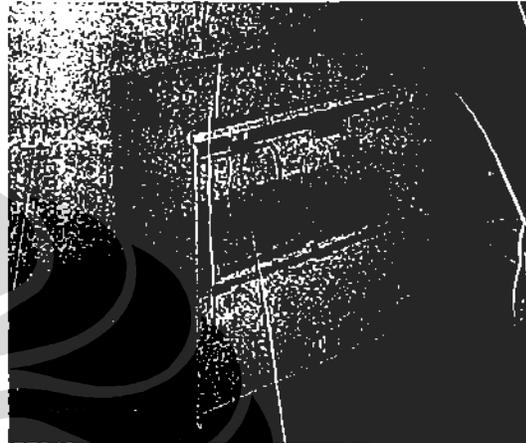
8. Metode Pengujian

Pengujian Inkubator Bayi dilakukan dengan merujuk kepada ketentuan pengujian standar (SNI). Ketentuan tersebut telah di ulas sebelumnya, Standar perancangan inkubator bayi tentang ketelitian data pengoperasian. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Inkubator Bayi.

Kontrol Temperatur Digital pada inkubator bayi di atur pada suhu-suhu

32°C , 34°C dan 36°C . Saklar utama dinyalakan, kemudian saklar Kontrol Temperatur Digital dan yang terakhir saklar lampu, sehingga Kontrol Temperatur Digital, lampu dan blower dalam kondisi hidup (*on*). Berikut ini adalah gambar-gambar inkubator bayi prototype yang dibuat.



Gambar 4
Inkubator Bayi

2. Digital Temperature Recorder

Digital Temperature Recorder digunakan untuk mengetahui hasil pengukuran dari termokopel.

3. Termokopel

Termokopel yang digunakan dalam pengujian ini adalah termokopel tipe-K yang terdiri dari logam Chromel (paduan Chromium-Nikel) dan Alumel (paduan Alumunium-Nikel) [2]. Termokopel yang dipakai untuk mengukur berjumlah 7 buah yang masing-masingnya adalah untuk mengukur 5 titik di dalam ruang inkubator, satu titik untuk mengukur suhu *wet bulb* (untuk mencari nilai kelembaban relatif), dan satu titik untuk suhu lingkungan (*ambient*). Sebelum pengujian inkubator dilakukan, ketujuh termokopel ini diuji karakteristiknya selama 24 jam. *Data Acquisition Module*

Dalam pengujian, alat ini hanya digunakan dalam uji karakteristik termokopel saja.

**PERPUSTAKAAN PUSAT
UNIVERSITAS INDONESIA**

Pengujian inkubator bayi ini diawali dengan melakukan uji karakteristik termokopel untuk melihat konsistensi pengukuran yang dilakukan oleh ketujuh termokopel. Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan ketujuh termokopel pada titik-titik yang akan diukur, inkubator dalam kondisi mati (*off*), selama 24 jam dan data diambil setiap 3 menit. Setelah selesai, dilanjutkan dengan pengujian inkubator bayi minimal 1 jam setiap variasi suhu kontrol dan data diambil setiap 5 menit.

5. Hasil Pengujian

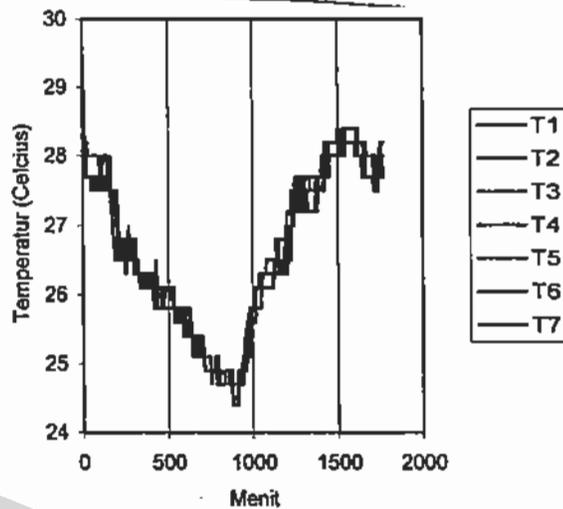
Pengujian ini bertujuan melihat karakteristik dari masing-masing termokopel relatif terhadap suatu termokopel yang dijadikan acuan. Dalam hal ini, termokopel yang dijadikan acuan adalah yang berada tepat di tengah ranjang bayi.

Karakteristik termokopel dapat dilihat pada Gambar 5.

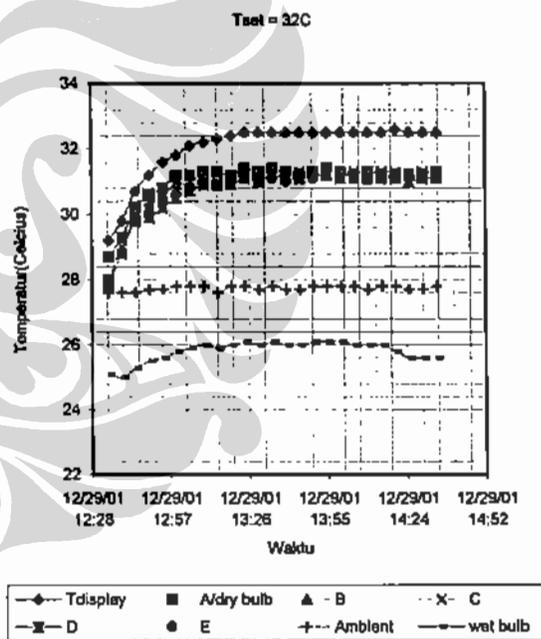
Dimana T1 adalah titik A, T2 adalah titik *Ambient*, T3 adalah *Wet Bulb*, T4 adalah titik B, T5 adalah titik C, T6 adalah titik D dan T7 adalah titik E.

Pengujian inkubator bayi dilakukan dengan tiga variasi pengaturan suhu pada Kontrol Temperatur Digital, yaitu 32°C, 34°C dan 36°C. Grafik Distribusi suhu digambarkan seperti pada Gambar 6 - 8.

Data kelembaban udara relatif diketahui dengan bantuan *software* CATH (*Computer Aided Thermodynamics*) Ver.2.1, buatan *Catholic University of Leuven*. Kelembaban relatif dapat diketahui dengan cara memasukkan data suhu *dry bulb* dan *wet bulb*. Grafik kelembaban dalam pengujian inkubator ini terlihat pada Gambar 9 - 11.

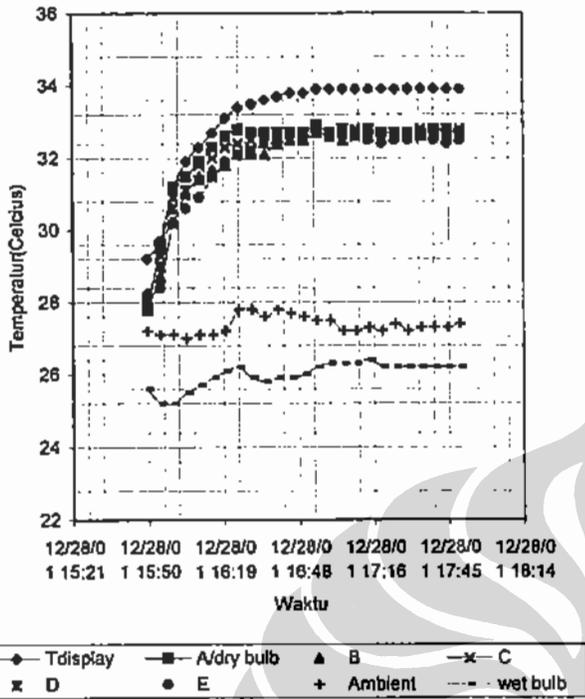


Gambar 5.
Grafik uji karakteristik termokopel



Gambar 6
Grafik distribusi suhu pada suhu kontrol 32°C

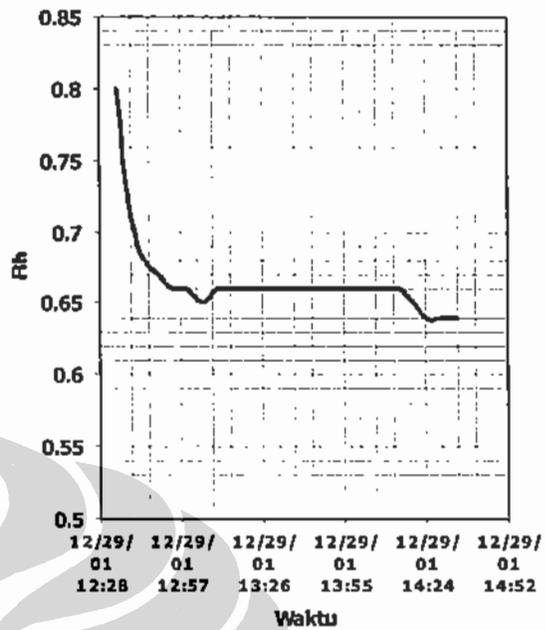
Tset = 34C



Gambar 7.

Grafik distribusi suhu pada suhu kontrol 34°C

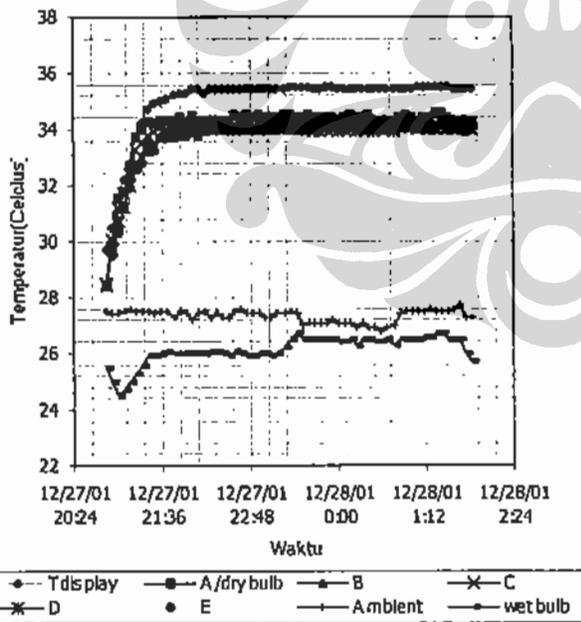
Kelembaban Relatif



Gambar 9.

Grafik kelembaban pada suhu kontrol 32°C

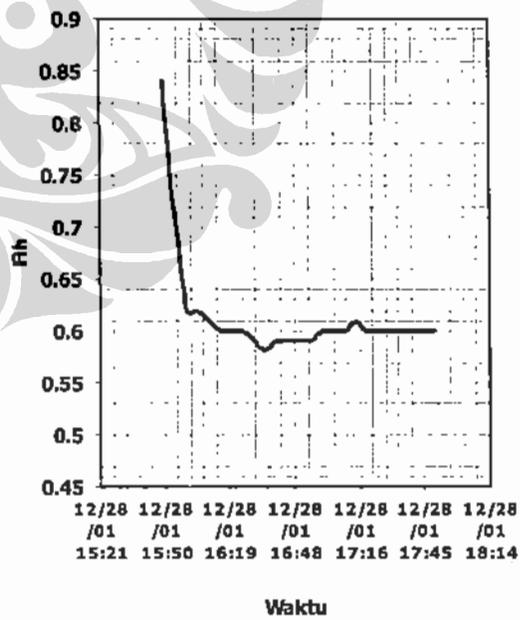
Tset = 36C



Gambar 8

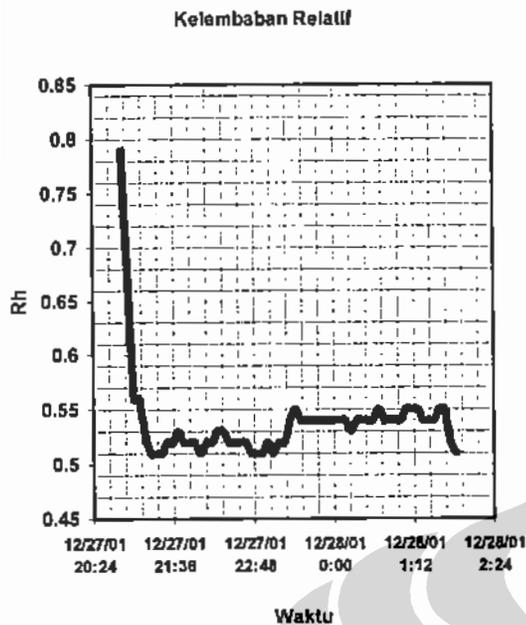
Grafik distribusi suhu pada suhu kontrol 36°C

Kelembaban Relatif



Gambar 10.

Grafik kelembaban pada suhu kontrol 34°C



Gambar 11.

Grafik kelembaban pada suhu kontrol 36°C

10. Analisa Hasil Pengujian

Dari data dan grafik pengujian karakteristik termokopel, terlihat bahwa ketujuh termokopel yang diuji memiliki sifat yang relatif baik, karena ketujuh garis yang ditunjukkan oleh grafik memperlihatkan kecenderungan yang sama (*trendline*). Ketika kecenderungan naik, maka semuanya naik, begitu pula sebaliknya. Antara satu termokopel dengan termokopel yang lain memiliki sifat yang relatif sama hal ini terlihat dari perbedaan suhu antara satu termokopel dengan termokopel lainnya yang tidak lebih dari 0,5°C. Dengan demikian tidak ada masalah dengan hasil pengukuran termokopel dan pengujian inkubator dapat dilanjutkan dengan pembebanan (panas).

Pada pengujian suhu kontrol 32°C, kestabilan suhu dicapai ketika inkubator telah dipanaskan selama 45 menit. Pt-100 Kontrol Temperatur menunjukkan suhu 32,5°C pada kondisi stabilnya sementara kelima termokopel yang lain paling tinggi hanya mengukur 31,4°C dan paling rendah 31,1°C. Distribusi suhu di dalam ruang bayi cukup baik, terlihat dari selisih temperatur

antar termokopel yang kurang dari 0,5°C. Kelembaban relatif ruang bayi kurang baik karena terlalu lembab, di atas 60%.

Pada pengujian suhu kontrol 34°C, kestabilan suhu dicapai pada saat inkubator telah dinyalakan selama 50 menit. Kontrol temperatur menunjukkan suhu 33,9°C pada kondisi stabilnya. Sementara kondisi ke lima termokopel yang lain mengukur suhu berkisar antara 32,4 °C hingga 32,9°C. Distribusi suhu di dalam ruang bayi cukup baik karena setelah kondisi stabil dicapai, perbedaan suhu antara satu titik dengan titik yang lain relatif kecil, yaitu tidak lebih dari 0,3°C. Kelembaban relatif pada ruang bayi cukup baik, masih berada dalam rentang 50% hingga 60%, selain itu nilai Rh relatif stabil, ini menunjukkan bahwa laju penguapan yang terjadi di ruang bayi juga stabil.

Pada pengujian suhu kontrol 36°C, kestabilan suhu dicapai pada saat inkubator telah dinyalakan selama 40 menit. Kontrol Temperatur menunjukkan suhu 35,5°C pada kondisi stabil, sementara kelima termokopel yang lain mengukur suhu antara 33,3°C hingga 34,3°C. Distribusi suhu di dalam ruang bayi masih cukup baik, perbedaan antara satu titik dengan titik yang lain tidak lebih dari 1°C dan perbedaan akan semakin mengecil (tidak lebih dari 0,5°C), sementara yang perbedaan suhu yang diperkenankan menurut standar adalah 1,5°C hingga 2°C.

Kelembaban relatif di dalam ruang bayi cukup baik pada pengujian dengan suhu kontrol 32°C dan 34°C, sesuai dengan yang diinginkan yaitu antara 50% dan 60%. Dari grafik kelembaban relatif pada pengujian dengan suhu kontrol 32°C dan 34°C terlihat bahwa perubahan kelembaban pada kondisi ajek tidak terlalu besar, atau dengan kata lain, kelembaban relatif di dalam ruang bayi cukup stabil selama pengujian berlangsung.

Dari ketiga pengujian yang dilakukan, yang paling cepat mencapai kondisi suhu stabil (ajek) dan kelembaban udaranya paling sesuai dengan nilai yang diinginkan adalah pengujian dengan suhu kontrol 36°C.

11. Kesimpulan

Pembuatan inkubator sesuai standar dengan bahan-bahan dasar utama dari produk dalam negeri sudah dapat kita lakukan, dengan demikian harganya menjadi relatif murah. Peralatan impor buatan negara lain yang digunakan hanyalah berupa kontroler yang dapat dibeli di pasar elektronik. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa kontroler yang harganya relatif murah sudah dapat mempertahankan suhu antara 32-36 C, sesuai dengan standar SNI.

Nomenclature

Huruf Latin	Besaran dan Satuan
Gr	Bilangan Grashof
g	Percepatan gravitasi (m/s ²)
T ₁	Suhu plat(°C)
T ₂	Suhu udara (°C)
L	Panjang karakteristik(m)
v	Viskositas kinematik(m ² /s)
β	Koefisien ekspansi volume(K ⁻¹)
Pr	Bilangan Prandtl
α	Diffusivitas termal(m ² /s)
Nu	Bilangan Nuselt
h	Koefisien konveksi(W/m ² °C)
k	Konduktivitas termal(W/m°C)
q	Aliran kalor(Watt)
Fu	Faktor penggunaan
Fb	Faktor ballast
CLF	Faktor beban pendinginan
A	Luas Permukaan(m ²)

Daftar Acuan

1. Holman, J.P. *Perpindahan Kalor*, Terjemahan Erlangga, Jakarta, 1991.
2. Holman, J.P. *Metode Pengukuran Teknik*, Terjemahan Erlangga, Jakarta, 1985
3. Oey Tjie Tjung, *Inkubator Bayi*, Tugas Perancangan Mesin FTUI, 1989
4. *Operator's Quick Guide*, ISOLETTE Infant Incubator Model C500QT, C550QT, Air-Shields, Vicker Medical, USA, 1992
5. *International Standard*, International Electrotechnical Commission (IEC), Medical Electrical Equipment, Swiss, 1987
6. Stoecker, F.W. *Refrigasi dan Pengkondisian Udara Edisi Kedua*, Terjemahan Erlangga, Jakarta, 1994
7. Koestoer, Raldi. A, *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*, Laboratorium Perpindahan Kalor, Jurusan Teknik Mesin-FTUI, 1999
8. *Rancangan Standar Nasional Indonesia, Inkubator Transportasi*, Dewan Standarisasi Nasional-DSN, Jakarta, 1997
9. Muharnif M, *Perancangan dan Pengujian Kestabilan Suhu pada Inkubator Bayi untuk Mengurangi Tingkat Kematian Bayi Prematur*, Skripsi, Jurusan Mesin-FTUI, 2000.