

STUDI EKSPERIMENTAL INKUBATOR TENAGA SURYA TIPE PANEL PELAT DATAR DENGAN EFEK TERMOSIPON

Experimental Study of Flat Panel Type Solar Powered Incubator with Thermosyphon Effect

Dimas Firmanda Al Riza^{1*}, Retno Dmayanti¹, Ni'matul Izza¹

¹Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran - Malang 65145

*Penulis Korespondensi: email: dimasfirmanda@ub.ac.id

ABSTRAK

Inkubator telah banyak dimanfaatkan untuk berbagai macam proses seperti penetasan telur dan proses lain yang memerlukan ruang dengan suhu terkendali umumnya pada sekitar 40 °C. Penggunaan inkubator yang relatif lama memerlukan jumlah energi yang cukup besar. Penggunaan energi surya sebagai sumber energi alternatif untuk inkubator akan memberikan hasil berupa penggunaan energi yang lebih murah dan lebih bersih. Pada penelitian ini telah dilakukan studi mengenai potensi pemanfaatan tenaga surya dengan tipe panel pelat datar untuk inkubator. Prinsip aliran fluida alami dengan efek termosipon digunakan untuk meminimalisir penggunaan energi tambahan seperti pompa. Panel surya dapat bekerja dengan baik pada kondisi cuaca normal dengan temperatur maksimum mencapai lebih dari 60 °C. Efek termosipon dapat terjadi dengan perbedaan temperatur minimum sekitar 10 °C. Perbedaan temperatur maksimum yang diamati dari performansi kerja panel surya yakni 22.7 °C. Rekomendasi untuk sistem kontrol dan manajemen energi diberikan berdasarkan fenomena yang diamati dari hasil eksperimen.

Kata kunci : Energi Surya, Inkubator, Sirkulasi Pasif, Termosipon

ABSTRACT

Incubator has been used for various kind of processes such as poultry hatching and other processes that require chamber with controlled temperature usually about 40 °C. Relatively long time use of incubator leads to huge amount of energy consumption. Utilization of solar energy as an alternative energy for incubator offers potential benefits, such as it is abundant at no cost and environmentally friendly. In this research, a study regarding the potential of solar energy utilization with flat type panel for incubator has been carried out. Natural fluid current based on thermosyphon effect was used to minimize additional energy usage such as pump. Solar panel performed well on normal weather condition with maximum temperature of more than 60 °C. Thermosyphon effect occurred with minimum temperature difference of about 10 °C. The observed temperature difference of the panel performance is about 22.7 °C. Recommendation for the control system and energy management were given based on the observed phenomenons from the experiment.

Keywords: Incubator, Passive Circulation, Solar Energy, Thermosiphon

PENDAHULUAN

Inkubator merupakan salah satu peralatan yang digunakan untuk berbagai macam proses dalam bidang teknologi pertanian. Penerapan inkubator antara lain pada penetasan telur, proses fermentasi seperti pada pengolahan yogurt, pengkondisian kultur mikrobiologi, dan proses lainnya

yang memerlukan ruang dengan suhu terkendali (Kuye *et al.*, 2008; Al Riza *et al.*, 2014; Thavaraj *et al.*, 2015). Inkubator biasanya digunakan dengan waktu yang relatif lama sesuai dengan proses yang diperlukan misalnya untuk pengeraman telur yang bisa memerlukan waktu sampai puluhan hari (Manik *et al.*, 2011). Hal ini menyebabkan besarnya penggunaan energi pada ope-

rasional inkubator. Terlebih lagi, pada umumnya inkubator masih menggunakan energi listrik atau bahan bakar konvensional lainnya. Penggunaan energi konvensional dengan jumlah yang besar akan berdampak pada besarnya biaya energi yang dibutuhkan dan dampak terhadap lingkungan.

Penghematan energi dan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan dapat dilakukan dengan menerapkan energi alternatif seperti energi surya. Teknologi surya dapat dibedakan menjadi teknologi termal dan teknologi fotovoltaik (Markvart dan Castener, 2003). Teknologi fotovoltaik ini telah banyak diimplementasikan untuk inkubator pengeraman telur (Okonkwo dan Chukwuezie, 2012; Abraham *et al.*, 2014). Teknologi fotovoltaik menggunakan sel surya yang meskipun sudah dipasarkan secara komersil masih memiliki efisiensi yang rendah karena tahapan konversi energi yang bertingkat dan akan relatif mahal jika digunakan dalam skala besar. Teknologi surya termal akan lebih kompleks untuk desain dan operasionalnya, akan tetapi mudah untuk dibuat karena tidak memerlukan teknologi tinggi seperti pada pembuatan sel surya. Penelitian pendahuluan penggunaan energi surya termal untuk operasional inkubator antara lain untuk inkubator telur (Kuye *et al.*,

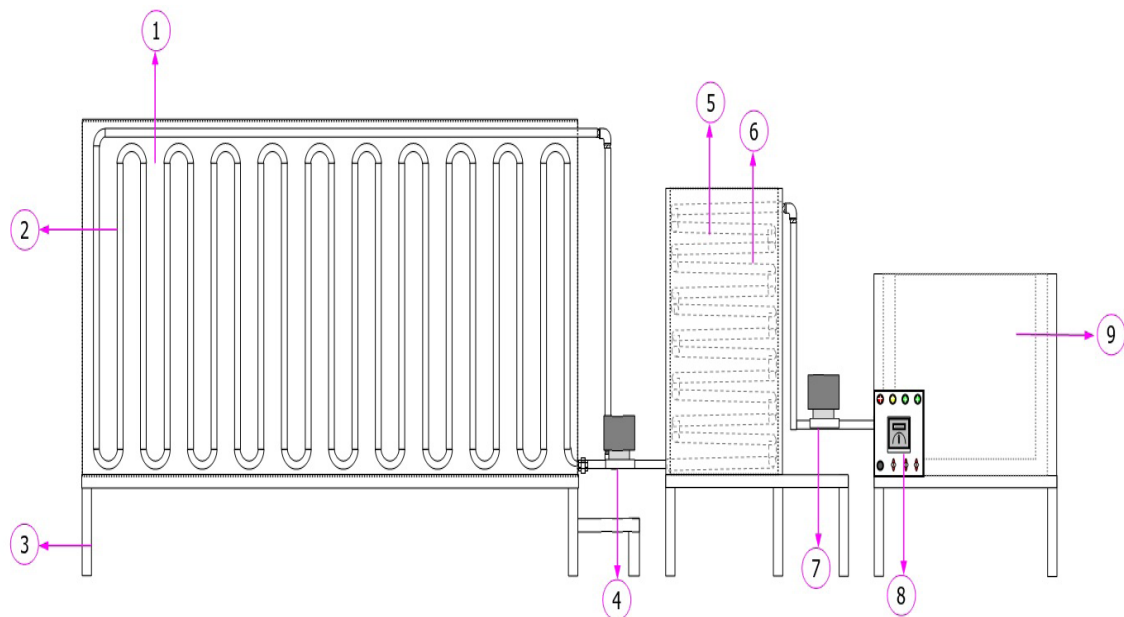
2008), menunjukkan bahwa teknologi ini berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia.

Pengembangan inkubator tenaga surya dengan iklim di Indonesia dilaksanakan melalui studi eksperimental dengan merancang dan membangun prototipe inkubator tenaga surya untuk diuji dan dianalisis karakteristiknya sehingga dapat direkomendasikan strategi manajemen energi untuk sistem ini. Teknologi tenaga surya yang akan dibangun pada penelitian ini adalah teknologi kolektor surya pelat datar yang menggunakan energi termal dari radiasi matahari. Dengan menggunakan teknologi surya termal ini diharapkan efisiensi konversi energi dari peralatan inkubator ini akan lebih baik.

BAHAN DAN METODE

Sistem Inkubator Tenaga Surya

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas kolektor tenaga surya tipe plat datar, tangki penyimpanan energi termal, inkubator, sistem kontrol, dan instrumentasi. Secara umum komponen-komponen dan rangkaian peralatan yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem inkubator tenaga surya. 1:kolektor surya; 2:pipa kolektor; 3:frame; 4 dan 7:solenoid valve; 5:tangki penyimpanan energi termal; 6:pipa penukar kalor; 8:kontroler; 9:inkubator

Kolektor Tenaga Surya Tipe Plat Datar

Kolektor tenaga surya merupakan panel yang berbentuk plat datar beserta perpipaan untuk aliran fluida kerja yang digunakan untuk menangkap energi termal dari matahari. Kolektor tenaga surya yang akan digunakan dalam penelitian ini berukuran $1.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Kolektor tenaga surya plat datar ini akan dibuat dengan meningkatkan absorptansi radiasi termal dengan menggunakan prinsip *blackbody radiation*, dan penggunaan insulasi termal baik berupa efek rumah kaca dan penggunaan insulator.

Tangki Penyimpanan Energi Termal

Tangki penyimpanan energi termal digunakan untuk menyimpan energi termal dalam fluida kerja sehingga energi termal dapat digunakan ketika malam hari maupun ketika intensitas radiasi matahari rendah. Tangki yang digunakan berupa *heat exchanger* dengan insulator. Pertukaran energi termal akan diatur untuk terjadi antara *chamber* dengan inkubator.

Inkubator

Inkubator pada eksperimen ini masih merupakan prototipe uji sehingga hanya berupa ruangan dengan pipa penukar kalor. Ruang inkubator ini terbuat dari *styrofoam*.

Sistem Instrumentasi

Sistem pengukuran diperlukan un-

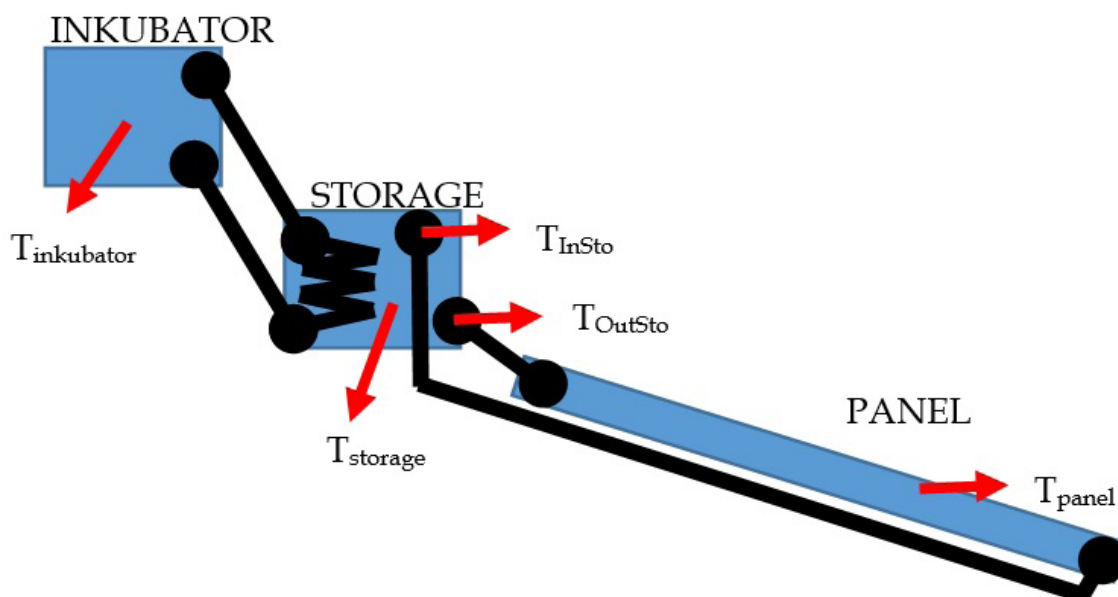
tuk uji performansi sistem dengan merekam profil temperatur di beberapa titik dan intensitas radiasi matahari yang diterima oleh kolektor tenaga surya. Sistem instrumentasi terdiri dari komponen-komponen antara lain *Data Logger Graphtec L220*, satu buah *Pyranometer Kipp and Zonnen SPLite* yang diletakkan untuk menerima radiasi tegak lurus dengan muka kolektor surya, dan sensor temperatur termokopel sebanyak 6 buah.

Parameter-parameter yang diukur meliputi intensitas radiasi matahari, temperatur *input* dan *output* kolektor, temperatur tangki penyimpanan energi, temperatur *input* dan *output* tangki penyimpanan, dan temperatur inkubator. Sistem instrumentasi ini akan diatur untuk melakukan pengukuran setiap 15 menit selama alat bekerja. Sehingga dapat diketahui profil dinamika perubahan masing-masing parameter. Gambar 2 menunjukkan posisi peletakan sensor termokopel pada sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancang Bangun Sistem Inkubator Tenaga Surya

Hasil rancang bangun sistem inkubator tenaga surya ditunjukkan pada Gambar 3. Kolektor surya yang digunakan merupakan tipe kolektor surya plat datar dengan ukuran $1.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Kolektor surya terbuat



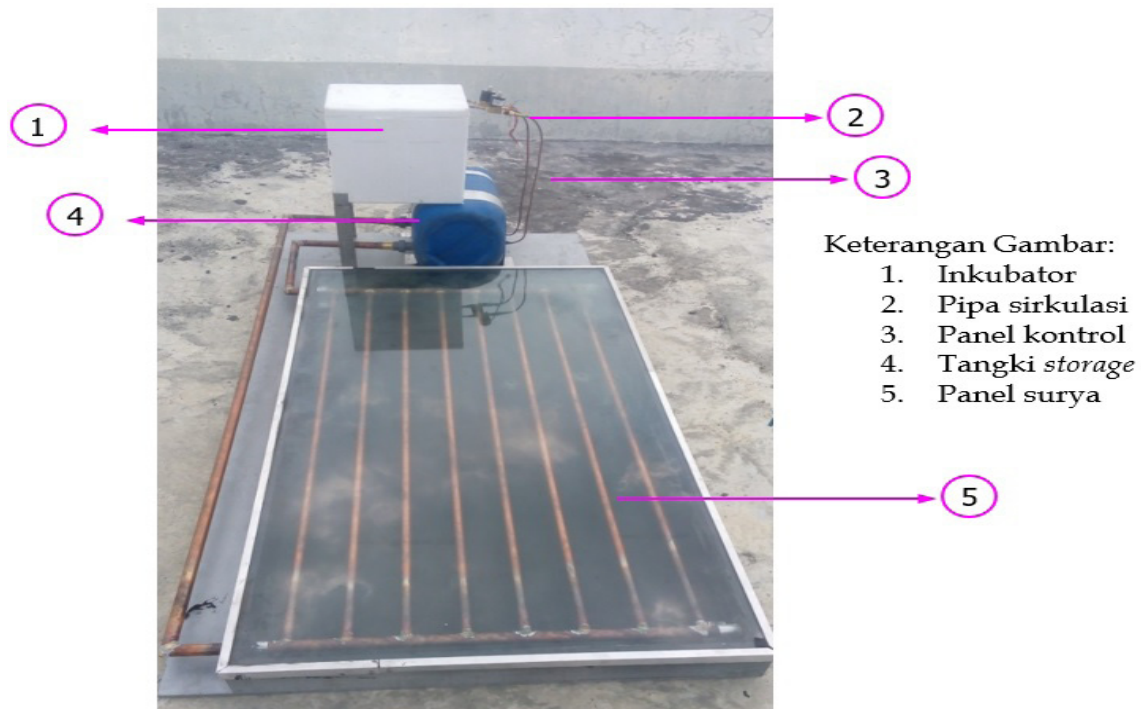
Gambar 2. Penempatan sensor termokopel

dari bahan tripleks yang dicat hitam sebagai landasan, aluminium sebagai kerangka dan kaca dengan ketebalan 5 mm. Kolektor surya terdiri dari perpipaan dari bahan tembaga berukuran 3/4 inchi yang berfungsi menangkap energi termal dari matahari. Pipa-pipa tersebut berjumlah 8 buah dengan ukuran panjang masing-masing 1.5 m dan diletakkan dalam sebuah kotak terisolasi dan ditutup oleh kaca. Air yang mengalir dalam sistem perpipaan kolektor adalah sekitar 4 liter. Kemiringan kolektor surya dibuat 15 derajat dari permukaan tanah dan menghadap ke arah utara. Posisi ini disesuaikan dengan lokasi eksperimen yang berada di lintang selatan sehingga matahari akan lebih sering berada di sebelah utara. Sudut kemiringan sebenarnya dibuat sedikit lebih besar dari kondisi ideal untuk posisi lintang tempat eksperimen (Malang, Jawa Timur), hal ini bermaksud untuk memicu efek termosipon yang lebih kuat sehingga sirkulasi fluida kerja lebih lancar.

Kapasitas tangki penyimpanan energi termal dan inkubator dihitung berdasarkan metode yang digunakan oleh Kuye *et al.* (2008) akan tetapi pada penelitian ini pompa tidak digunakan, sirkulasi air diharapkan berjalan secara alami dengan menggunakan

prinsip termosipon berdasarkan perubahan berat jenis air ketika mengalami perubahan temperatur. Prinsip termosipon ini diterapkan dengan mengatur ketinggian tangki penyimpanan yang harus lebih tinggi sedikit daripada panel, dan inkubator yang harus lebih tinggi sedikit dari tangki penyimpanan. Sistem sirkulasi alami ini diharapkan akan lebih menghemat energi karena tidak memerlukan pompa (Tse dan Chow, 2015).

Prinsip termosipon dimulai dari air yang berada pada panel surya mengalami pemanasan dan akan bergerak ke sisi atas dan masuk ke dalam tangki. Pada saat yang bersamaan, air di dalam tangki yang bersuhu rendah terdorong turun ke dalam panel kolektor. Pergerakan perputaran air ini bergerak secara berkesinambungan sehingga terjadi sirkulasi air secara mekanis yang mengakumulasi peningkatan suhu air di dalam tangki. Pergerakan perpindahan antara air bersuhu tinggi digantikan dengan air bersuhu rendah dapat bergerak secara mekanis tanpa bantuan pompa tambahan. Air bersuhu tinggi disimpan di dalam tangki, kemudian dialirkan melalui pipa-pipa penghubung dan disalurkan sesuai kebutuhan. Eksperimen pada penelitian ini, inkubator belum digu-



Gambar 3. Prototipe inkubator tenaga surya

nakan, karena dalam penggunaannya memerlukan rekomendasi untuk logika sistem kontrol dan manajemen energi. Hasil dari penelitian ini berupa rekomendasi tersebut untuk sistem inkubator surya yang lebih baik.

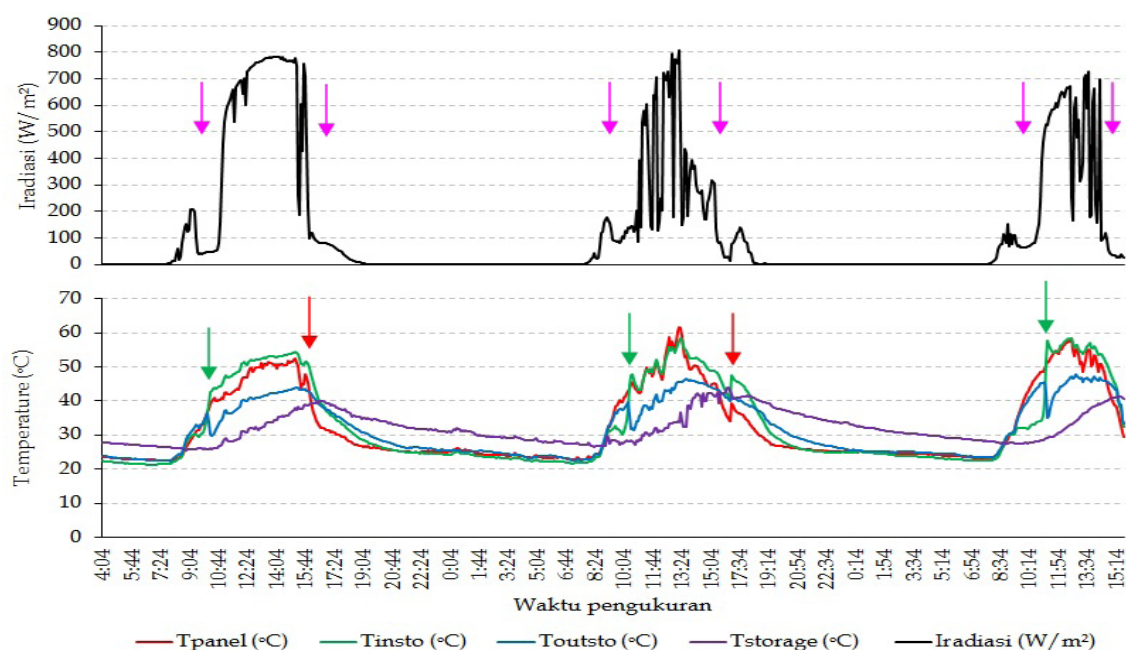
Performansi Panel Surya Termal

Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran performansi panel surya yang ditunjukkan dengan nilai iradiasi yang diterima panel, temperatur keluar *storage* (T_{outsto}) yang merupakan temperatur fluida keluar dari *storage* (masuk ke panel surya) dan temperatur masuk *storage* (T_{insto}) yakni temperatur fluida yang keluar dari panel surya. Iradiasi matahari yang terukur merupakan iradiasi tegak lurus dari bidang panel surya. Pada hari pertama, pengukuran cuaca relatif cerah, dan hari selanjutnya berawan. Karakteristik cuaca yang berawan pada pagi dan sore hari menghasilkan nilai radiasi yang rendah. Di samping itu pula faktor tembok atau bangunan yang ada di sisi timur dan barat dari panel surya mengakibatkan efek bayangan yang dapat dilihat dari pengukuran radiasi yang lebih rendah dari seharusnya pada pagi dan sore hari (ditunjukkan oleh panah ungu).

Performansi panel surya pada siang hari dalam mengumpulkan energi termal dapat dilihat dari perbedaan temperatur (ΔT) antara T_{insto} dan T_{outsto} . Perbedaan tem-

peratur maksimum yang terukur adalah 22.7°C . Pagi hari panel surya mengumpulkan energi termal dari radiasi matahari, efek termosipon pada awalnya belum terjadi sehingga belum ada aliran fluida antara *storage* dan panel. Hal ini dapat diamati dengan meningkatnya T_{panel} dan T_{outsto} secara bersamaan, sedangkan T_{insto} tidak mengalami kenaikan temperatur signifikan pada awalnya. Ketika temperatur fluida pada panel naik sampai temperatur yang relatif tinggi dan ΔT dengan fluida di dalam *storage* mencapai nilai yang cukup signifikan, maka efek termosipon terjadi karena perbedaan massa jenis air dengan temperatur tinggi (panel) dan rendah (*storage*). Ketika efek termosipon ini terjadi (panah hijau) maka air panas pada panel akan mengalir ke *storage* hal ini diamati dengan kenaikan T_{insto} yang sangat signifikan dan penurunan drastis temperatur yang diamati pada T_{outsto} disebabkan karena air dingin di dalam *storage* mengalir ke panel.

Pada sore dan malam hari ketika tidak ada suplai energi termal dari radiasi matahari temperatur akan mulai menurun dan ketika mencapai titik tertentu, efek termosipon akan berhenti (panah merah) ditunjukkan dengan naiknya T_{panel} dan T_{insto} secara mendadak, hal ini dikarenakan sirkulasi termosipon berhenti dan terjadi aliran balik dari tangki penyimpanan (fluida panas). Setelah



Gambar 4. Performansi panel surya

efek termosipon berhenti, penurunan temperatur akan terus terjadi dengan adanya efek termosipon balik, hal ini terjadi karena pendinginan pada panel surya yang disebabkan oleh faktor langit malam (Tang dan Yang, 2014). Pendinginan ini terjadi relatif cepat dan kemudian berhenti sehingga ketika telah berhenti, temperatur tangki penyimpanan akan relatif lebih tinggi dari temperatur panel. Akan tetapi, karena kondisi lingkungan dan kehilangan energi karena efisiensi insulasi tangki penyimpanan, maka temperatur akan terus turun sampai pagi hari.

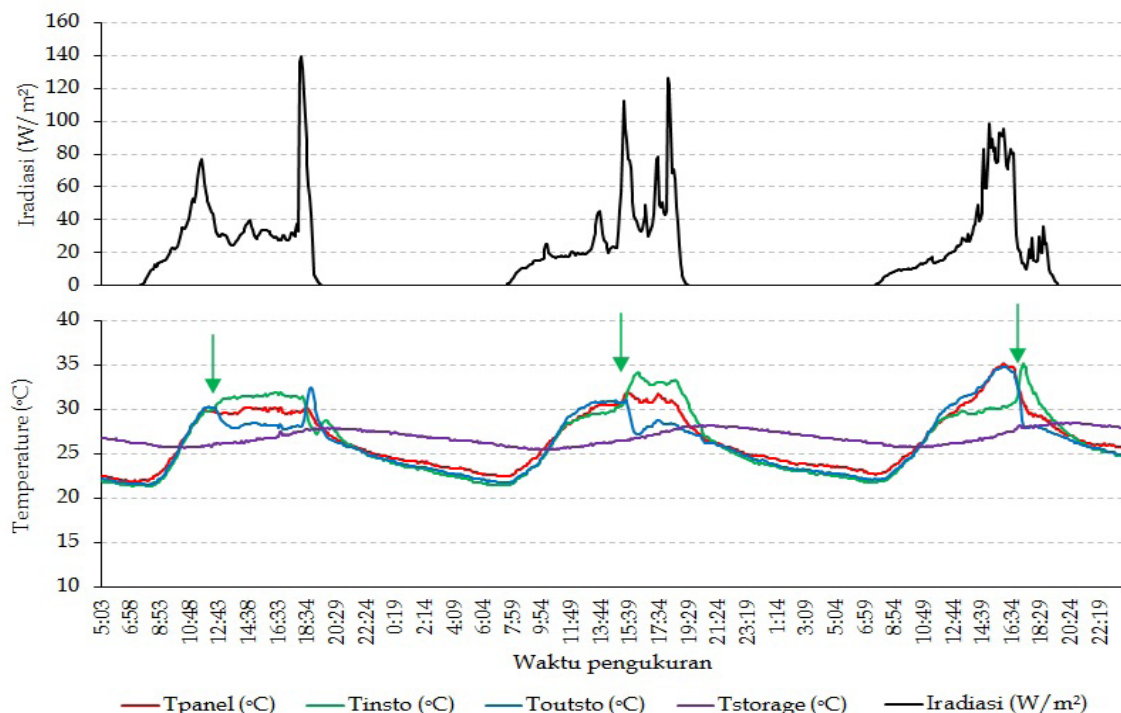
Performansi Sistem Saat Kondisi Cuaca Hujan

Performansi panel surya pada saat kondisi cuaca hujan dapat dilihat pada Gambar 5. Ketika cuaca hujan atau mendung total, radiasi langsung matahari sangat minimal dan panel hanya akan dipanaskan dengan radiasi difus matahari. Dapat diamati dari Gambar 5, bahwa efek termosipon pada kondisi cuaca tersebut akan terjadi jika ΔT antara fluida pada panel surya dan fluida pada tangki penyimpanan sekitar 10°C atau lebih. Kondisi ini dapat dikatakan merupakan ΔT minimum yang diperlukan untuk inisiasi efek termosipon.

Rekomendasi Strategi Manajemen Energi

Temperatur maksimum fluida yang dapat dicapai oleh panel surya ketika cuaca cerah atau cerah berawan dapat mencapai lebih dari 60°C . Temperatur fluida kerja yang diharapkan pada panel dan tangki penyimpanan pada kondisi ideal adalah berkisar antara $50\text{--}60^\circ\text{C}$. Dengan kisaran temperatur ini maka tangki penyimpanan dapat menyuplai energi termal yang cukup untuk keperluan *heating load* inkubator. Pada hasil penelitian ini diamati beberapa fenomena penting yang menjadi batasan untuk operasional inkubator tenaga surya. Di antara fenomena yang teramati antara lain adalah kondisi ΔT minimum untuk inisiasi efek termosipon, kisaran temperatur pada saat kondisi cuaca normal dan hujan, terjadinya efek termosipon balik pada malam hari karena pendinginan alami dengan faktor langit malam, posisi perbedaan ketinggian pipa inlet dan outlet ke tangki penyimpanan dan inkubator mempengaruhi terjadinya efek termosipon (Ong *et al.*, 2014).

Gambar 6 menunjukkan skema sistem kontrol yang direkomendasikan untuk inkubator tenaga surya. Sistem kontrol akan dibuat untuk pengaturan atau manajemen energi pada sistem inkubator tenaga surya. Sistem kontrol ini meliputi sensor, aktuator,



Gambar 5. Performansi panel surya pada kondisi hujan

dan kontroler. Dengan memperhatikan berbagai fenomena yang telah disebutkan sebelumnya, maka strategi manajemen energi dan pengaturan aliran fluida dapat direkomendasikan. Sistem kontrol akan mengendalikan aliran energi termal antara tiga komponen yaitu, kolektor, tangki penyimpanan, dan inkubator. Pada siang hari akan terjadi pemanasan fluida kerja pada kolektor surya dan sirkulasi berjalan secara alami dengan prinsip termosipon antara kolektor dan tangki penyimpanan. Jika *set point* temperatur diatur pada 40 °C maka, logika pengendalian yang diterapkan pada siang hari, jika inkubator lebih dari 40 °C maka solenoid valve 1-2 akan dikondisikan dalam keadaan *close* dan jika kurang dari 40 °C maka *open*. Sedangkan untuk solenoid valve 3-4 perlu diatur untuk *open* pada siang hari selama panel menerima energi termal surya dan *close* ketika panel sudah tidak menerima energi termal (malam hari) untuk menghindari efek termosipon balik karena faktor langit malam.

Sebagai catatan bahwa apabila temperatur tangki penyimpanan telah memenuhi syarat yakni berkisar antara 50-60 °C, maka tangki penyimpanan akan berlaku sebagai sumber energi termal bagi inkubator, dan inkubator dapat diatur temperaturnya menggunakan efek termosipon dengan mekanisme seperti yang terjadi pada panel surya dan tangki penyimpanan. Akan tetapi, temperatur maksimum yang dapat dikendalikan pada inkubator haruslah kurang dari sumber energi termal, yakni paling tidak

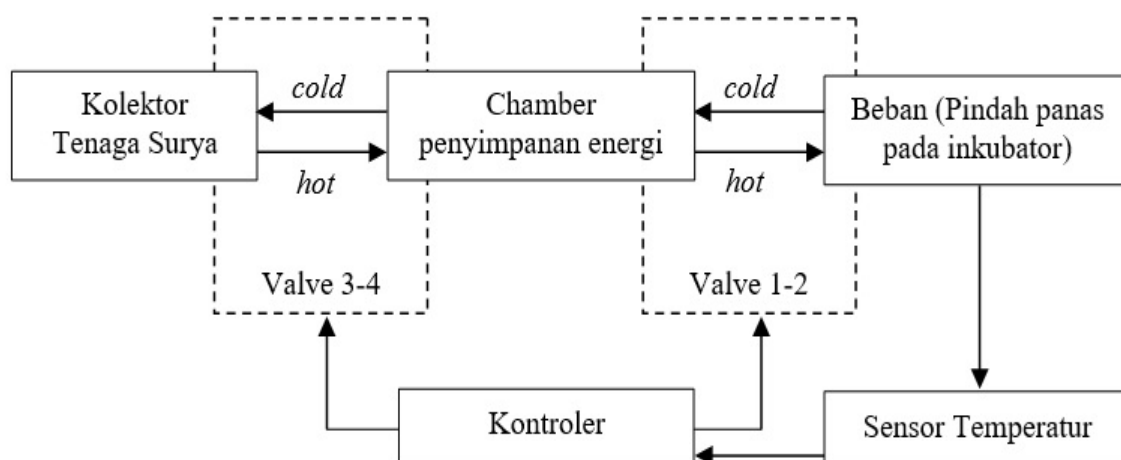
memiliki perbedaan temperatur (ΔT) antara inkubator dan tangki penyimpanan sekitar 10 °C, sehingga efek termosipon bisa terjadi.

SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilaksanakan studi eksperimental inkubator tenaga surya dengan menggunakan panel surya termal plat datar dan memanfaatkan efek termosipon. Panel surya dapat bekerja dengan baik pada kondisi cuaca normal dengan temperatur maksimum mencapai lebih dari 60 °C. Efek termosipon dapat terjadi dengan perbedaan temperatur minimum sekitar 10 °C. Perbedaan temperatur maksimum yang diamati dari performansi kerja panel surya yakni 22.7 °C. Rekomendasi yang diberikan untuk manajemen energi pada sistem inkubator tenaga surya yakni dengan memberikan tambahan solenoid valve yang digunakan untuk mengatur aliran fluida oleh efek termosipon. Logika kontrol dibuat berdasarkan kondisi temperatur inkubator untuk mengatur efek termosipon antara inkubator dan tangkin penyimpanan dan berdasarkan kondisi panel atau waktu yakni saat panel mengalami pemanasan oleh radiasi matahari (siang hari) atau saat panel mengalami pendinginan (faktor langit malam).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan dana BOPTN Fakultas



Gambar 6. Skema logika kontrol secara umum

Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya tahun 2015 dengan skema penelitian dosen muda. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Nova Yogantoro, Kartono Angkat Pribadi, Mochamad Bagus Hermanto, dan Joko Prasetyo yang telah membantu pada proses *setup* sistem instrumentasi dan akuisisi data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, N, T, Mathew, S, L, Kumar, C, A, P. 2014. Design and implementation of solar PV poultry incubator. *Intl. J. Eng Adv. Tech.* 3(3):289-291
- Al Riza, D, F, Damayanti, R, Hendrawan, Y. 2014. Rancang bangun fermentor yogurt dengan sistem kontrol logika fuzzy menggunakan mikrokontroler ATmega32. *J. Agritech.* 34(04):456-462
- Kuye, S, I, Adekunle, N, O, Adetunji, O, R, Olaleye, D, O. 2008. Design and construction of solar incubator. *Proceeding of the Third Conference on Science and National Development, Abeokuta*, pp. 87-96
- Manik, H, Yuwanta, T, Kustono. 2011. Modifikasi penetasan telur burung maleo gunung (*Aepyodius arfakianus*) untuk meningkatkan daya tetas. *Buletin Peternakan.* 35(1):24-29
- Markvart, T, Castener, L. 2003. *Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications*. Elsevier Science, UK
- Okonkwo, W, I, Chukwuezie, O, C. 2012. Characterization of a Photovoltaic Powered Poultry Egg Incubator. *4th International Conference on Agriculture and Animal Science, Singapore*, pp.1-6
- Ong, K, S, Osmond, D, Tong, W, L. 2014. Reverse flow in natural convection heat pipe solar water heater. *Intl. J. Low-Carbon Tech.* 2014(0):1-8
- Tang, R, Yang, Y. 2014. Nocturnal reverse flow in water-in-glass evacuated water tube solar water heaters. *Energy Conversion and Management.* 80:173-177
- Thavaraj, V, Vashishth, B, Sastry, O, S, Kapil, A, Kapoor, N. 2015. Solar Powered Portable Culture Incubator. *Annals Pediatrics and Child Health.* 3(4):1-5
- Tse, K, Chow, T. 2015. Dynamic model and experimental validation of an indirect thermosyphon solar water heater coupled with a parallel circular tube rings type heat exchange coil. *Solar Energy.* 114:114-133