

PENGARUH CACAH KACA PENUTUP TERHADAP KENAIKAN SUHU MAKSIMUM AIR TANDON PADA KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR

Raden Oktova

Program Magister Pendidikan Fisika, Program Pascasarjana
Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta
Kampus II, Jl. Pramuka 42 Lt. 3, Telp. (0274) 563515 ext 2302, Yogyakarta 55161
E-mail: R.Oktova@uad.ac.id

Singgih Santoso

SMA Negeri 1 Purwantoro Wonogiri, Jalan Raya Tegalrejo, Purwantoro, Wonogiri, Jawa Tengah

INTISARI

Sebuah alat peraga kolektor surya plat datar sejajar model serpentin telah dibuat dengan memanfaatkan bahan yang mudah didapat. Dalam uji coba alat peraga dikaji apakah penambahan cacah kaca penutup kolektor berpengaruh terhadap kenaikan maksimum suhu air tandon. Untuk setiap seting alat dilakukan pengamatan suhu air tandon sebagai fungsi waktu pada siang hari selama dua hari cerah dan hasil pengamatan suhu dirata-rata tersebut pada waktu (jam) yang sama. Dalam uji kontrol terhadap kestabilan suhu air tandon di bawah sinar surya tanpa kolektor surya, kenaikan maksimum suhu air tandon ($4,5 \pm 0,5$) $^{\circ}\text{C}$. Jika tandon air dihubungkan ke kolektor tanpa kaca penutup, kenaikan maksimum suhu air tandon mencapai ($16,0 \pm 0,7$) $^{\circ}\text{C}$, untuk satu kaca penutup kenaikan maksimum suhu air tandon mencapai ($20,0 \pm 0,7$) $^{\circ}\text{C}$, dan untuk dua kaca penutup kenaikan maksimum suhu air tandon mencapai ($23,0 \pm 1,6$) $^{\circ}\text{C}$. Dapat disimpulkan bahwa penambahan cacah kaca penutup kolektor surya hingga dua kaca penutup dapat meningkatkan kenaikan maksimum suhu air tandon.

Kata-kata kunci: kolektor surya plat datar, cacah kaca penutup, model serpentin

I. PENDAHULUAN

Sinar matahari dapat digunakan untuk memanaskan air dengan menggunakan suatu kolektor surya (*solar collector*), yang sering disebut juga sistem pemanas air bertenaga surya (*solar water heating*, SWH) atau sistem air panas bertenaga surya (*solar hot water*, SHW). Air panas hasil penyinaran oleh matahari digunakan dengan berbagai cara, paling digunakan untuk keperluan rumah tangga; selain itu air panas yang dihasilkan juga digunakan dalam industri, misalnya untuk membangkitkan tenaga listrik (Marken, 2009). Kolektor surya dapat digolongkan menjadi jenis konsentrator dan jenis plat datar (*flat plate*) non-konsentrator (Lior, 1990). Dalam makalah ini untuk selanjutnya hanya dibicarakan jenis kolektor surya plat datar, dan kolektor surya jenis ini dapat digolongkan lagi ke dalam beberapa jenis. Jika ditinjau berdasarkan jalur aliran airnya, kolektor surya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu (i) **sistem aliran langsung** atau *loop* terbuka di mana air tandon dialirkan ke seluruh kolektor tanpa suatu penukar kalor, dan (ii) **sistem aliran tak langsung** atau *loop* tertutup yang memerlukan suatu penukar kalor untuk memisahkan air tandon dengan fluida penukar kalor (*heat transfer fluid*, HTF). Jenis aliran langsung memerlukan biaya rendah namun mempunyai beberapa kelemahan, antara lain mudah mengalami *overheat*, resiko pembekuan pada musim dingin dan penimbunan kerak jika digunakan dengan air sadah (*hard water*). Sebaliknya jenis aliran tak langsung memerlukan biaya lebih besar namun mempunyai memberikan perlindungan terhadap *overheat* dan resiko pembekuan pada musim dingin.

Jika ditinjau berdasarkan sumber aliran airnya, kolektor surya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu (i) **sistem pasif** di mana air mengalir secara alami dengan konvensi (efek termosifon), (ii) **sistem aktif** di mana air mengalir dengan kekuatan pompa. Sistem pasif tidak memerlukan banyak perawatan dan berbiaya lebih rendah, namun efisiensi lebih rendah daripada sistem aktif, serta mudah mengalami *overheat* dan resiko pembekuan pada musim dingin. Berbagai upaya telah dikaji untuk mengurangi *overheat*, di antaranya Kearney, Davidson, dan Mantell (2005) mengkaji efektivitas ventilasi (*venting*) pada penggunaan bahan penyerap dari bahan polimer. Salah satu perkembangan terkini dalam pengembangan lapisan selektif untuk kolektor surya adalah pelapisan karbon amorf hidrogenasi (a-C:H) pada substrat aluminium untuk meningkatkan transmisi di daerah inframerah (Tincev, dkk., 2008). Bentuk pipa penyerap pada kolektor surya plat datar bermacam-macam, yaitu (i) bentuk seperti alat musik harpa, digunakan pada sistem yang menggunakan pompa dan

termosifon tekanan rendah, (ii) bentuk ular (*serpentine*) kontinu seperti huruf S sehingga dapat memperbesar suhu namun tidak memperbesar hasil tenaga total dalam sistem aliran variabel, digunakan dalam rumah tangga, (iii) penyerap sepenuhnya diisi air dan penyerap terdiri atas dua lembar logam yang direkatkan untuk menghasilkan daerah sirkulasi, (iv) beberapa lapisan penyerap yang terdiri atas lembaran transparan dan opak sehingga penyerapan akan terjadi pada bidang batas dan konversi tenaga menjadi lebih efisien.

Rugi-rugi tenaga pada kolektor surya disebabkan konduksi, konveksi dan radiasi, dan faktor yang dominan adalah adanya gradient suhu antara permukaan kolektor dan suhu lingkungan. Konduksi, konveksi dan radiasi semuanya menjadi lebih cepat jika terdapat gradien suhu yang besar, suatu gejala yang disebut efek Δt (Rohsenow, Harnett, dan Cho, 1998). Salah satu kajian terkini adalah tentang pemanasan berlebihan (*overheat*) pada penggunaan absorber dari bahan polimer dan pencegahannya dengan membuat ventilasi (Kearney, Davidson, dan Mantell, 2005). Pengembangan tabung pipa kalor hampa (*Evacuated Heat Pipe Tubes*, EHPT) untuk kolektor surya dengan suhu kerja yang tinggi dan rugi-rugi radiasi yang amat kecil merupakan terobosan untuk pemanas air, pemanasan ruangan, penyejuk udara, dan pemanas industri.

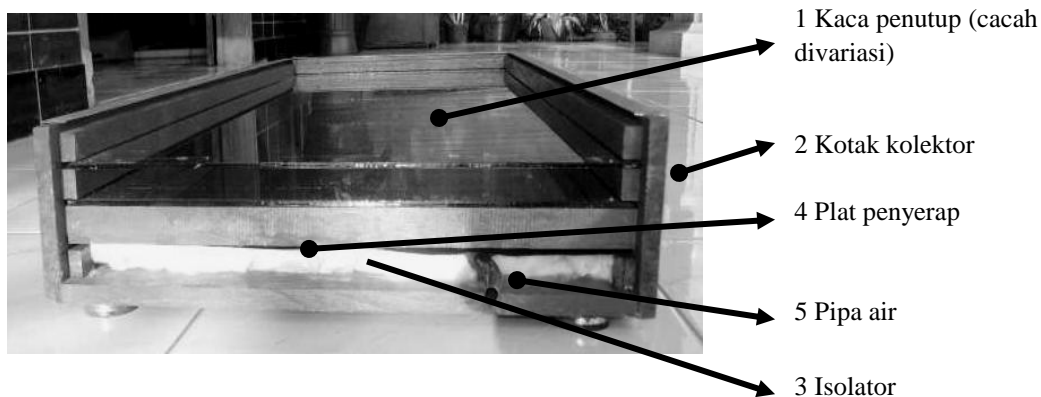
Kolektor surya dengan penyimpanan terpadu (*integrated collector storage*, ICS) atau *batch collectors* mengurangi rugi-rugi kalor dengan menempatkan tanki air dalam kotak yang terisolasi termal (Schmidt dan Goetzberger, 1990, Marken, 2009), yaitu dengan memasukkan tanki air dalam kotak tertutup kaca yang meneruskan sinar matahari untuk mencapai dasar tanki air (Smyth, Eames, dan Norton, 2006, Souliotis, Kalogirou, dan Tripanagnostopoulos, 2009).

Pada mata pelajaran Fisika kelas X semester 2 di SMA terdapat materi suhu dan kalor. Untuk lebih memahami materi suhu dan kalor terutama materi jenis-jenis perpindahan tenaga (radiasi, konduksi dan konveksi), kolektor surya jenis pasif dipandang cocok sebagai alat peraga mengingat di dalam cara kerjanya terkandung konsep radiasi, konduksi dan konveksi, termasuk terjadinya efek rumah kaca dan efek termosifon. Selain itu kolektor surya sudah berkembang menjadi salah satu teknologi canggih yang sekaligus tepat guna dan ramah lingkungan untuk mengatasi kelangkaan sumber energi di Indonesia sehingga cocok untuk diperkenalkan kepada siswa SMA. Kolektor plat datar jenis serpentin dipilih karena rancangannya sederhana dan aliran air tidak terlalu cepat. Kolektor surya yang sudah jadi dan bersifat komersial, dapat dibeli di toko khusus, tetapi dengan harga yang relatif mahal. Kolektor surya tersebut dibuat dengan alat dan bahan yang mahal. Untuk lebih menghemat biaya dalam pembuatan kolektor surya, maka dibuatlah alat peraga kolektor surya dengan memanfaatkan barang-barang yang mudah didapat. Sebagai bahan kajian dalam uji coba alat peraga, dalam penelitian ini diteliti pengaruh cacah kaca penutup pada alat peraga kolektor surya terhadap kenaikan suhu maksimum suhu air tandon. Topik penelitian ini tidak sama sekali baru dan di Indonesia pernah diteliti sebelumnya oleh Tirtoatmodjo dan Handoyo (1999); perbedaannya adalah dalam penelitian Tirtoatmodjo dan Handoyo hanya digunakan satu dan dua kaca penutup, sedangkan dalam penelitian kami diamati juga suhu air pada kondisi kontrol tanpa kolektor.

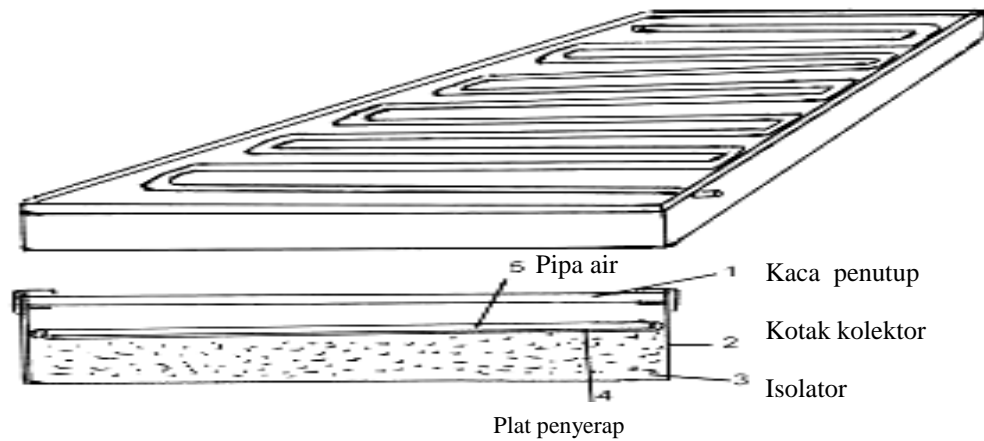
II. KAJIAN PUSTAKA

a. Teori Singkat

Gambar 1 menunjukkan kolektor surya plat datar jenis serpentin yang telah dibuat dalam penelitian ini, dan gambar 2 menunjukkan lebih terinci secara diagramatik bagian-bagiannya jika dilihat dari atas dan dari samping.



Gambar 1. Bagian-bagian kotak kolektor surya yang telah dibuat dalam penelitian ini.



Gambar 2. Bagian-bagian kotak kolektor surya pada gambar 1 diperlihatkan secara diagramatik dari atas dan dari samping.

Jika tidak ada kaca penutup, radiasi matahari yang diserap plat penyerap akan ditentukan oleh sifat plat datar, dan intensitasnya dapat dituliskan

$$S = \alpha I_T, \quad (1)$$

dengan α faktor absorpsi plat, dan I_T intensitas radiasi matahari yang mengenai permukaan plat. Sebagian tenaga matahari yang sampai ke plat akan diserap, sisanya akan dipancarkan kembali melalui konduksi, konveksi dan radiasi ke udara sekitar. Jika terdapat kaca penutup, akan terjadi penyerapan oleh kaca penutup sehingga pers. (1) menjadi

$$S = \tau \alpha I_T, \quad (2)$$

dengan τ faktor transmisi kaca penutup. Akibat efek rumah kaca, adanya kaca penutup akan mengurangi bagian tenaga matahari yang dilepaskan ke udara sekitar melalui konduksi, konveksi dan radiasi, sehingga efisiensi kolektor akan meningkat (Devins, 1982:203). Kalor dari plat penyerap akan diteruskan oleh air yang berada dalam pipa air yang ditempelkan di bawah plat penyerap, sehingga air menjadi panas. Dengan efek termosifon, air panas dari pipa akan mengalir ke atas menuju tandon air dan air dingin dari tandon mengalir ke bawah melalui saluran lain menuju pipa air di bawah plat penyerap.

Dalam sisa subpasal ini disajikan ringkasan kajian teoretis terbaru oleh Duffie dan Beckman (lihat Duffie dan Beckman 2006, dan acuan-acuan di dalamnya). Analisis matematis kinerja kolektor surya plat datar dilakukan pertama kali oleh Whillier (1953, 1977), serta oleh Hottel dan Whillier (1958). Kalor yang hilang dari kolektor ke sekitar melalui konduksi, konveksi dan radiasi dapat disajikan sebagai hasil kali suatu koefisien transfer kalor U_L dengan $(T_f - T_a)$, yaitu selisih antara suhu rata-rata plat dan suhu lingkungan sekitar (*ambient temperature*). Dalam keadaan tunak (*steady state*), keluaran daya berguna kolektor, Q_u , adalah sama dengan daya matahari yang diserap dikurangi daya rugi-rugi,

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_f - T_a)], \quad (3)$$

dengan Q_u kalor yang diterima, A_c luas kolektor surya, U_L koefisien transfer kalor, T_f suhu plat dan T_a suhu lingkungan sekitar. Daya berguna yang diberikan kolektor surya ke air dapat dihitung dari

$$Q_u = \dot{m} c (T_{fo} - T_{fi}), \quad (4)$$

dengan \dot{m} massa air yang mengalir per satuan waktu, c kalor jenis air, T_{fo} suhu air keluar dan T_{fi} suhu air masuk. Efisiensi kolektor, η , dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya berguna kolektor dengan daya radiasi matahari yang datang,

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T}, \quad (5)$$

atau

$$\eta = \frac{\dot{m}.c(T_{fo} - T_{fi})}{A_c I_T}. \quad (6)$$

Kolektor surya merupakan sistem fisis yang sangat kompleks sehingga suhu air keluaran tidak dapat dihitung secara analitik. Perhitungan yang pernah dilakukan menghasilkan kombinasi beberapa persamaan aljabar dan persamaan diferensial yang tidak menyangkut suhu air keluaran, melainkan suhu plat atau suhu kaca penutup. Untuk itu, dapat didefinisikan suatu koefisien rugi-rugi total sebuah kolektor untuk memudahkan perhitungan matematis. Rugi-rugi daya melalui puncak atau bagian atas kolektor (*top*) terjadi akibat konveksi dan radiasi antara plat-plat datar sejajar. Jika diandaikan terdapat dua atau lebih kaca penutup, maka pada keadaan tunak transfer tenaga antara plat bersuhu T_f dan kaca penutup pertama bersuhu T_{fc1} adalah sama dengan transfer tenaga antara sebarang dua kaca penutup yang bersebelahan, dan juga sama dengan tenaga yang hilang ke lingkungan sekitar dari kaca penutup puncak (*top cover*). Dengan demikian rugi-rugi tenaga melalui puncak per satuan luas sama dengan transfer tenaga dari plat penyerap ke kaca penutup pertama. Secara singkat dapat disampaikan bahwa koefisien rugi-rugi puncak (*top loss coefficient*), U_t , secara prinsip dapat dihitung secara numeris. Mula-mula dibuat suatu tebakan awal suhu-suhu kaca penutup yang belum diketahui, dan tebakan awal ini digunakan untuk menghitung koefisien-koefisien transfer kalor konveksi dan radiasi antara kaca-kaca sejajar, kemudian dihitung koefisien rugi-rugi puncak. Rugi-rugi kalor puncak (*top heat loss*) adalah koefisien rugi-rugi puncak dikalikan dengan selisih suhu total, dan mengingat pertukaran tenaga antara plat-plat tentu sama dengan rugi-rugi kalor total, maka dapat dihitung himpunan baru suhu-suhu kaca penutup. Dimulai dari plat penyerap, dihitung suhu baru untuk kaca penutup pertama, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung suhu kaca penutup berikutnya, dst. Untuk dua kaca penutup bersebelahan, suhu baru plat atau kaca penutup j dapat dinyatakan dalam suhu plat atau kaca penutup i sebagai

$$T_j = T_i + \frac{U_t(T_f - T_a)}{h_{c,i-j} + h_{r,i-j}}, \quad (7)$$

dengan $h_{c,i-j} + h_{r,i-j}$ adalah jumlah koefisien-koefisien transfer kalor konveksi dan radiasi antara kaca-kaca sejajar i dan j . Suatu persamaan empiris untuk menghitung koefisien rugi-rugi puncak U_t yang berguna untuk perhitungan numeris secara manual maupun dengan bantuan komputer dikembangkan oleh Klein (1979) dalam bentuk

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{C}{T_{fm}} \left[\frac{T_{fm} - T_a}{N + f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_{fm} + T_a)(T_{fm}^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0,0059 N h_w} + \frac{2N + f - 1 + 0,133\varepsilon_p - N}{\varepsilon_g}}, \quad (8)$$

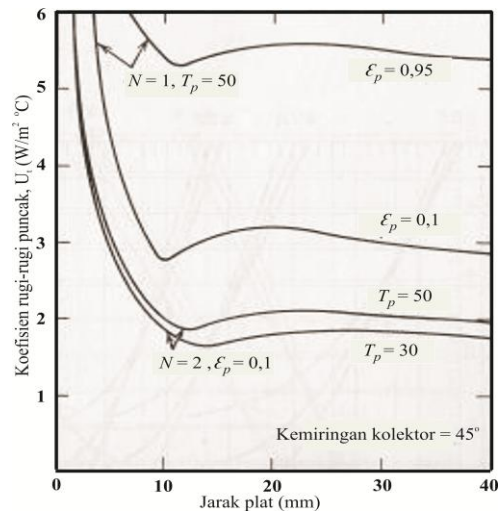
dengan N cacah kaca penutup, ε_p emitansi plat, ε_g emitansi kaca penutup, dan h_w koefisien transfer kalor akibat adanya angin. Suhu lingkungan sekitar T_a dan suhu rata-rata plat T_{fm} dinyatakan dalam satuan kelvin. Adapun f , e dan C berturut-turut adalah konstanta-konstanta yang dapat dihitung dengan persamaan

$$f = (1 + 0,089h_w - 0,1166h_w\varepsilon_p)(1 + 0,07866N), \quad (9)$$

$$e = 0,430 \left(1 - \frac{100}{T_{fm}} \right), \quad (10)$$

$$C = 520(1 - 0,00005\beta^2) \text{ untuk } 0^\circ < \beta < 70^\circ, \quad (11)$$

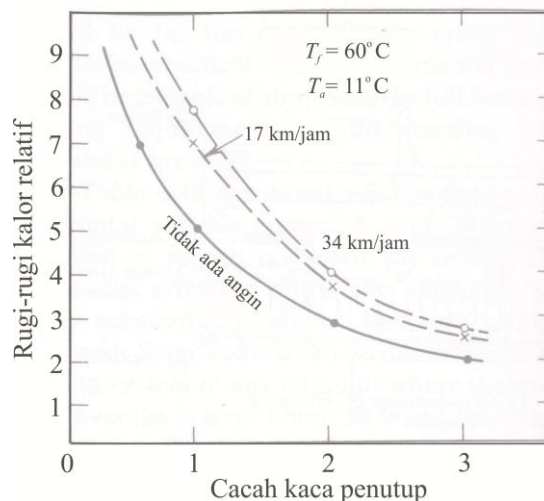
dengan β adalah sudut kemiringan kolektor (*tilt*), dan untuk sudut kemiringan $70^\circ < \beta < 90^\circ$ digunakan nilai $\beta = 70^\circ$. Persamaan (9) dapat mewakili grafik-grafik U_t untuk suhu rata-rata plat mulai dari suhu lingkungan sekitar hingga 200°C dengan ketelitian $\pm 0,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.



Gambar 3. Contoh hasil perhitungan teoretis koefisien rugi-rugi puncak, U_t , sebagai fungsi jarak plat (diambil dari Duffie, dan Beckman, 2006).

Gambar 3 menyajikan contoh hasil perhitungan teoretis koefisien rugi-rugi puncak, U_t , sebagai fungsi jarak plat (diambil dari Duffie, dan Beckman, 2006) untuk kolektor surya nonselektif dengan satu dan dua kaca penutup ($N = 1$ dan $N = 2$). Untuk jarak plat sangat kecil konveksi sangat sedikit dan mekanisme transfer kalor melalui celah terjadi terutama melalui konduksi dan radiasi. Dalam jangkauan data tersebut, jika jarak plat diperbesar maka koefisien rugi-rugi puncak turun dengan cepat hingga suatu nilai minimum pada jarak plat 10-15 mm. Ketika aliran air mulai memberikan kontribusi pada proses transfer kalor, koefisien rugi-rugi puncak naik hingga mencapai nilai maksimum pada jarak plat sekitar 20 mm. Penambahan lebih lanjut jarak plat menyebabkan pengurangan kecil koefisien rugi-rugi puncak. Perilaku kolektor surya seperti ini berlaku umum pada berbagai kondisi dan berbagai disain kolektor. Jelaslah bahwa efisiensi kolektor surya dengan dua kaca penutup lebih tinggi daripada kolektor surya dengan satu kaca penutup.

Gambar 4 menyajikan grafik rugi-rugi kalor relatif sebagai fungsi cacah kaca penutup dan kelajuan angin (McDaniel, 1979). Terlihat bahwa rugi-rugi dipengaruhi kelajuan angin, dan ini menunjukkan bahwa konveksi menjadi mekanisme rugi-rugi kalor yang dominan, namun demikian pengaruh angin dapat dikurangi dengan menambahkan semakin banyak kaca penutup. Bahkan rugi-rugi kalor dapat dikurangi lebih jauh lagi jika ruang antara plat dan kaca penutup atau ruang antara kaca-kaca penutup dibuat hampa.



Gambar 4. Rugi-rugi kalor relatif sebagai fungsi cacah kaca penutup dan kelajuan angin (McDaniel, 1979).

b. Percobaan Terdahulu

Terkait dengan pendidikan, sudah sering dibuat alat peraga kolektor surya untuk siswa sekolah menengah dan mahasiswa, misalnya baru-baru ini Gallitto dan Fiordilino (2011) membuat alat peraga (simulasi) kolektor surya sederhana untuk siswa sekolah menengah. Percobaan dilakukan dalam ruangan dengan menggunakan lampu listrik sebagai tiruan matahari. Suhu plat diukur pada berbagai waktu waktu dengan menggunakan sensor suhu, dan model matematis yang dibuat ternyata cukup sesuai dengan data percobaan yang diperoleh.

Di Indonesia telah dilakukan beberapa penelitian tentang kolektor surya. Hasil penelitian Kristanto dan Sam misalnya (2001) menunjukkan bahwa semakin tebal plat penyerap dan semakin kecil jarak antara pipa-pipa kolektor, efisiensi sirip dari kolektor semakin tinggi.

Dalam penelitian Handoyo (Handoyo, 2001), kaca penutup kolektor surya dibuat dari kaca bening yang tebalnya 3 mm, 5 mm dan kaca es 3 mm, 5 mm. plat penyerap dibuat dari bahan tembaga. Jarak kaca ke plat penyerap divariasikan, yaitu 15 cm, 20 cm, 25 cm dan 30 cm. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa kaca yang paling efisien adalah kaca bening dan tebal kaca 3 mm, dan jarak kaca ke plat penyerap 20 cm.

Dalam penelitian Tirtoatmodjo dan Handoyo (1999), kolektor surya dibuat dengan menggunakan bahan tembaga untuk plat penyerap dan pipa air. Untuk kaca penutup digunakan kaca es dengan ketebalan 5 mm. Cacah kaca penutup divariasikan yaitu satu kaca dan dua kaca. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 12 sampai dengan 18 Juni 1999 untuk satu kaca penutup dan tanggal 19 sampai dengan 25 Juni 1999 untuk dua kaca penutup. Dengan mengamati perbedaan suhu air yang masuk dan keluar dari kolektor, maka diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan dua kaca penutup lebih baik daripada satu kaca penutup.

III. METODE PENELITIAN

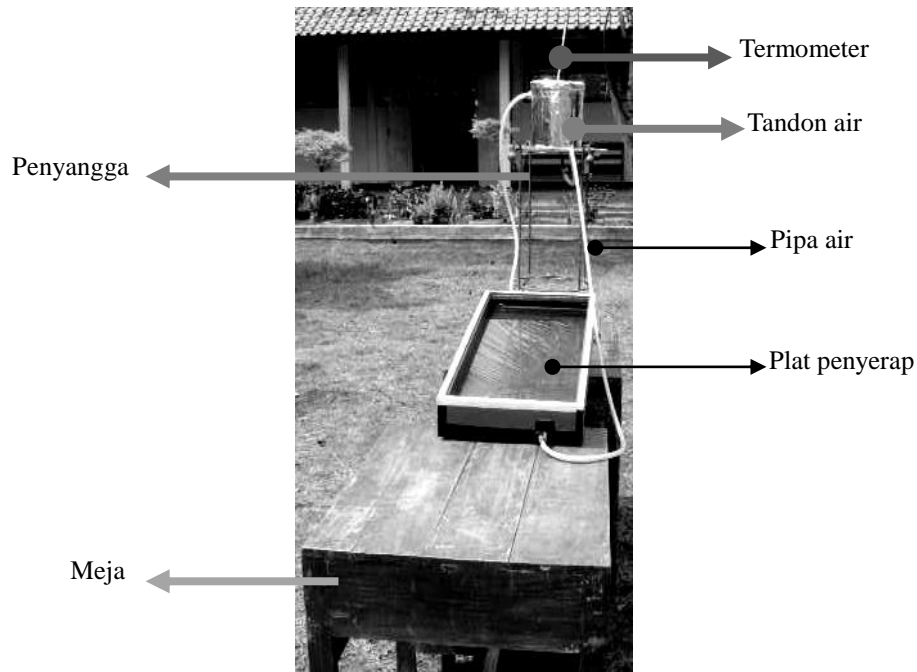
a. Pembuatan Alat

Dalam pembuatan alat peraga kolektor surya dimanfaatkan beberapa bahan yang mudah didapat. Yang pertama adalah plat seng sebagai plat penyerap kalor. Plat seng tebal 0,5 mm dicat hitam kusam bagian permukaan atasnya dengan cat piloc A84 Black Dof. Kedua adalah pipa tembaga yang dibeli di pasar Triwindu Surakarta sebagai pipa air. Pipa tembaga ini berdiameter luar 10 mm dan diameter dalam 8 mm. Tembaga merupakan bahan konduktor yang konduktivitasnya paling tinggi di antara bahan logam lainnya seperti aluminium, kuningan dan besi (Fredayani, 2007:38). Pipa air dibentuk menjadi model serpentin (seperti ular) kemudian dilekatkan di bawah plat penyerap dengan cara dipatri dengan timah. Ketiga adalah kotak kolektor menggunakan kayu jati tebal 10 mm dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi berturut-turut 72 cm, 34 cm dan 9,5 cm. Kotak kayu ini dibuat rapat sekali, dengan cara dilem dengan lem kayu dicampur semen putih pada bagian permukaan bawah dan sampingnya, sehingga diharapkan tidak ada kebocoran radiasi matahari pada saat alat dioperasikan. Keempat adalah kaca penutup menggunakan kaca bening dengan tebal 3 mm. Kelima adalah tandon air digunakan kaleng biskuit Khong Guan bekas jenis silinder. Kaleng ini lalu dimasukkan ke dalam kaleng cat plastik bekas, yang diberi bahan isolator pada bagian dalamnya. Bagian permukaan luar kaleng cat ini dilapisi kertas perak untuk memantulkan radiasi matahari yang mengenai tandon ini. Untuk pemindah kalor dari pipa air ke tandon air digunakan pipa radiator yang tahan panas. Pemasangan alat peraga kolektor surya dapat dilihat pada gambar 5.

b. Prosedur Percobaan

Setelah alat peraga kolektor surya disiapkan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5, tandon air diisi air dingin dengan volume 2,5 liter. Alat peraga kolektor surya dipasang di atas kursi duduk dengan sudut kemiringan kira-kira 60° terhadap arah mendatar. Tandon air diletakkan lebih tinggi daripada panel kolektor surya agar efek termosifon dapat terjadi setelah terjadi pemanasan air. Mula-mula suhu air dalam tandon dicatat dengan termometer air raksa yang terpasang di dalam tandon air. Pembacaan suhu dilaksanakan mulai pukul 09.30 WIB sampai dengan pukul 15.30 WIB. Percobaan mula-mula dilaksanakan untuk memanaskan tandon air tanpa kolektor surya, sebagai kontrol terhadap kestabilan suhu air tandon di bawah pengaruh radiasi matahari. Percobaan dilaksanakan dengan mengukur suhu air dalam tandon setiap selang waktu 1 jam. Percobaan di atas diulang lagi dengan cara yang sama untuk kolektor surya tanpa kaca, satu kaca dan dua kaca penutup. Masing-masing percobaan dilakukan dua kali, sehingga diperoleh data 1 dan data 2.

Dalam penelitian ini hanya dibuat sebuah alat peraga sehingga percobaan dilakukan pada hari yang berbeda-beda, pada kurun waktu tanggal 28 Oktober 2008 sampai dengan 11 November 2008 di Wonogiri, Jawa Tengah. Percobaan dilakukan secara bergantian yaitu tanpa kolektor, kolektor tanpa kaca penutup, kolektor dengan satu kaca penutup dan kolektor dengan dua kaca penutup, masing-masing dalam satu hari. Pengambilan data suhu dilaksanakan mulai pukul 09.30 WIB sampai dengan pukul 15.30 WIB. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja kolektor surya dibuat sama, yaitu kemiringan, waktu pengamatan, tinggi tandon air dan volume air dalam tandon..



Gambar 5. Pemasangan kolektor surya dalam percobaan yang dilakukan.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Mengingat percobaan dilaksanakan pada musim hujan, pengambilan data menemui sedikit hambatan berupa cuaca yang tidak menentu. Mengingat penelitian ini ditekankan pada berfungsinya alat peraga kolektor surya dan cuaca tidak menentu, percobaan hanya dilakukan sebanyak 2 kali. Hasil pembacaan suhu air dalam tandon dapat dilihat pada tabel I.

Tabel I. Pembacaan suhu air tandon pada percobaan kolektor surya.

No	Waktu (WIB)	Suhu air tandon (°C)							
		Tanpa kolektor		Kolektor tanpa kaca		Kolektor dengan satu kaca		Kolektor dengan dua kaca	
		Data 1	Data 2	Data 1	Data 2	Data 1	Data 2	Data 1	Data 2
1	09.30	27	28	28	27	27	28	29	28
2	10.30	29	29	43	41	44	44	48	45
3	11.30	30	30	44	41	46	46	51	47
4	12.30	31	30	43	42	47	48	53	50
5	13.30	32	31	44	43	47	48	52	49
6	14.30	32	32	44	43	45	45	48	45
7	15.30	32	32	41	42	43	42	46	44

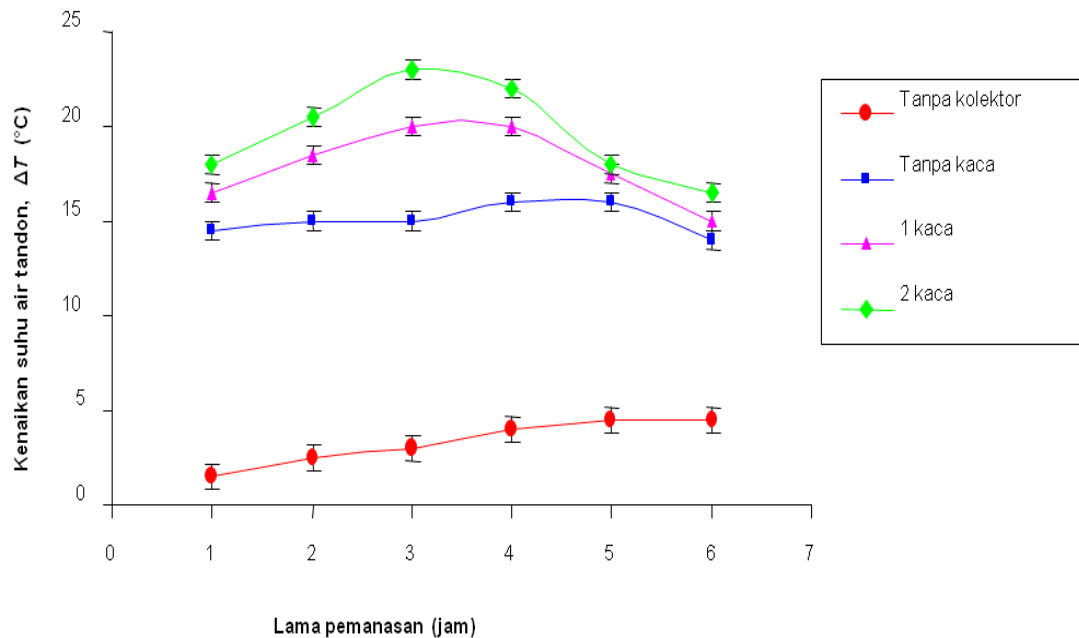
Dari tabel I, terlihat bahwa suhu awal pada masing-masing percobaan ternyata tidak sama, ada yang 27°C, 28°C dan 29°C. Idealnya, percobaan dilakukan pada waktu dan kondisi cuaca yang sama. Untuk mengatasi masalah ini, data akhir yang disajikan adalah kenaikan maksimum suhu air tandon terhadap suhu awal (suhu air pada pukul 09.30 WIB), sebagaimana dapat dilihat pada Tabel II, dan dibuat grafik antara kenaikan suhu air tandon terhadap waktu pemanasan yang dapat dilihat pada gambar 6.

Dari gambar 6, terlihat bahwa grafik untuk keempat percobaan, yaitu tanpa kolektor, kolektor tanpa kaca penutup, kolektor dengan satu kaca penutup dan dua kaca penutup, menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada percobaan pertama tanpa kolektor surya, kenaikan maksimum suhu air tandon hanya mencapai $(4,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, dan ditunjukkan oleh garis merah dengan lambang titik data bentuk lingkaran. Dibandingkan

dengan tiga jenis percobaan yang lain, kenaikan maksimum suhu air tandon tanpa kolektor paling kecil, dikarenakan air tandon hanya dipanaskan langsung oleh sinar matahari. Bagian luar tandon air dilapisi kertas perak agar radiasi matahari dipantulkan, namun lapisan pemantul dari kertas perak pada bagian luar tandon air yang dibuat tidak cukup efektif dan masih ada radiasi matahari yang menembus masuk tandon air, walaupun kenaikan suhu air tandon hanya sedikit.

Tabel II. Rata-rata dan deviasi rata-rata kenaikan suhu air tandon.

No	Waktu (WIB)	Kenaikan suhu air tandon, ΔT ($^{\circ}\text{C}$)			
		Tanpa kolektor	Kolektor tanpa kaca	Kolektor dengan satu kaca	Kolektor dengan dua kaca
1	09.30	$1,5 \pm 0,5$	$14,5 \pm 1,1$	$16,5 \pm 0,5$	$18,0 \pm 1,6$
2	10.30	$2,5 \pm 0,5$	$15,0 \pm 1,6$	$18,5 \pm 0,5$	$20,5 \pm 2,1$
3	11.30	$3,0 \pm 0,7$	$15,0 \pm 0,7$	$20,0 \pm 0,7$	$23,0 \pm 1,6$
4	12.30	$4,0 \pm 0,7$	$16,0 \pm 0,7$	$20,0 \pm 0,7$	$22,0 \pm 1,6$
5	13.30	$4,5 \pm 0,5$	$16,0 \pm 0,7$	$17,5 \pm 0,5$	$18,0 \pm 1,6$
6	14.30	$4,5 \pm 0,5$	$14,0 \pm 0,7$	$15,0 \pm 0,7$	$16,5 \pm 1,1$



Gambar 6. Grafik kenaikan suhu air tandon terhadap lama pemanasan.

Pada percobaan dengan kolektor surya tanpa kaca penutup, kenaikan maksimum suhu air tandon mencapai $(16,0 \pm 0,7)^{\circ}\text{C}$, dan pada gambar 6 ditunjukkan oleh garis biru dengan lambang titik data berbentuk kotak. plat penyerap yang dicat hitam kusam dapat menyerap lebih banyak radiasi matahari daripada jika tidak ada kolektor surya, hanya saja dalam peristiwa ini tidak terjadi efek rumah kaca.

Pada percobaan dengan kolektor surya dengan satu kaca penutup, kenaikan maksimum suhu air tandon maksimum mencapai $(20,0 \pm 0,7)^{\circ}\text{C}$, dan pada gambar 6 ditunjukkan oleh garis ungu dengan titik data bentuk segitiga. Hal ini bisa terjadi, karena dalam kotak kolektor surya terjadi efek rumah kaca, di mana sinar infra merah terperangkap dalam kotak kolektor. Karena penyerapan sebagian radiasi matahari oleh kaca penutup, panjang gelombang radiasi matahari yang masuk kolektor menjadi lebih panjang, karena suhunya lebih rendah.

Radiasi matahari yang masuk dan terperangkap dalam kolektor surya adalah sinar infra merah. Plat penyerap yang dicat hitam kusam akan menyerap sinar infra merah. Sebagian sinar infra merah ini dipantulkan oleh kaca ke plat penyerap lagi dan sebagian akan diteruskan keluar meninggalkan kaca penutup. Hal ini berakibat plat penyerap lama kelamaan menjadi panas, karena makin banyak sinar matahari yang masuk kolektor.

Untuk percobaan dengan kolektor surya dengan dua kaca penutup, kenaikan maksimum suhu air tandon mencapai $(23,0 \pm 1,6)^{\circ}\text{C}$, dan pada gambar 6 ditunjukkan oleh garis hijau dengan titik data bentuk belah ketupat. Kenaikan maksimum suhu air tandon pada percobaan dengan dua kaca penutup lebih besar daripada kenaikan maksimum suhu air tandon dengan satu kaca penutup. Hal ini disebabkan mekanisme transfer kalor melalui konveksi menjadi semakin berkurang, dan efek rumah kaca semakin kuat.

Keempat percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu tanpa kolektor, kolektor tanpa kaca penutup, kolektor dengan satu kaca penutup dan dua kaca penutup, menunjukkan hasil yang sesuai dengan teori sebagaimana ditunjukkan oleh pers. (8), gambar 3 dan 4, serta hasil-hasil percobaan terdahulu (misalnya Tirtoatmodjo dan Handoyo, 1999). Dapat disimpulkan bahwa alat peraga kolektor surya yang dibuat dapat berfungsi dengan baik. Untuk langkah selanjutnya, alat peraga kolektor surya yang dibuat dapat diujicoba dalam pembelajaran di kelas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Alat peraga kolektor surya plat datar model serpentin yang dibuat menghasilkan kenaikan maksimum suhu air tandon hingga sebesar $(23,0 \pm 1,6)^{\circ}\text{C}$. Terbukti penambahan cacah kaca penutup berhasil meningkatkan kenaikan maksimum suhu air tandon.

Selanjutnya disarankan agar alat peraga diujicoba dalam pembelajaran di kelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Devins, D. W., 1982, "Energy - Its Physical Impact on the Environment", New York: John Wiley.
- Duffie, J.A., dan Beckman, W.A., 2006, "Solar Engineering of Thermal Processes," 3rd Ed., Hoboken, NJ: John Wiley, hal. 238-253.
- Fredayani, K., 2007, "Pembuatan Media Pembelajaran IPA pada Pokok Bahasan Perambatan Kalor untuk Siswa Sekolah Dasar", Eksperimen Físika, UNS Surakarta, hal. 34-36.
- Gallitto, A.A., dan Fiordilino, E., 2011, "A Didactic Experiment and Model of a Flat-Plate Solar Collector", *Phys. Educ.* **46** (3), 312.
- Handoyo, E.A., 2001, "Pengaruh Jarak Kaca ke Plat terhadap Panas yang Diterima Suatu Kolektor Surya Plat Datar", *Jurnal Teknik Mesin* **3** (2), 52 – 56.
- Kearney M., Davidson, J., dan Mantell, S., 2005, "Polymeric Absorbers for Flat-Plate Collectors : Can Venting Provide Adequate Overheat Protection?," *Journal of Solar Energy Engineering* **127** (3), 421-424.
- Kristanto, P., dan Sam, Y.K., 2001, "Pengaruh Tebal Plat Dan Jarak Antar Pipa terhadap Performansi Kolektor Surya Plat Datar", *Jurnal Teknik Mesin* **3** (2), 52 – 56.
- Lior, N., 1990, "Thermal Theory and Modelling of Solar Collectors", in de Winter, F. (ed.), "Solar Collectors, Energy Storage, and Materials", Cambridge MA: MIT Press, 100-182.
- Marken, C. (2009), "Solar Collectors: Behind the Glass", *HomePower* **133**,70–76.
- McDaniel, D., 1979, "The Sun: Our Future Energy Source", New York: John Wiley and Sons.
- Rohsenow, W.M., Harnett, J.P., dan Cho, Y.I., 1998, "Handbook of Heat Transfer", 3rd Ed., Chicago: McGraw-Hill.
- Schmidt, C. Goetzberger A., 1990, "Single-Tube Integrated Collector Storage Systems with Transparent Insulation and Involute Reflector", *Solar Energy* **45**,93–100.

1 & 2 PENGARUH CACAH KACA PENUTUP TERHADAP KENAIKAN SUHU

Smyth, M., Eames, P.C., Norton, B., 2006, “Integrated Collector Storage Solar Water Heaters”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **10**, 503–38.

Souliotis, M., Kalogirou, S., Tripanagnostopoulos, Y., 2009, . Modelling of an ICS Solar Water Heater using Artificial Neural Networks and TRNSY”, *Renewable Energy* **34**, 1333–1339.

Tinchev, S., Nikolova, P., Balabanov, S., Georgiev, N., 2008, “Amorphous hydrogenated carbon coatings for thermal solar collectors”, *Journal of Physics: Conference Series* **113**, 012026.

Tirtoatmodjo, R., dan Handoyo, E.A., 1999, “Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Plat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup”, *Jurnal Teknik Mesin* **1** (2), 115 – 121.