

Optimasi desalinator tenaga matahari menggunakan bahan beton campuran pasir besi

Abdullah Nur Aziz*, Hartono, Sugito

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jln. Dr. Soeparno 61, Grendeng, Purwokerto, Indonesia, 53122

*email: abd.nur.aziz@unsoed.ac.id

Abstrak – Potensi energi matahari berupa kalor yang melimpah dapat digunakan untuk proses destilasi air laut. Pemanfaatan energi matahari untuk kebutuhan tersebut membutuhkan media yang optimal menyerap kalor. Optimalisasi media penyerap kalor perlu dilakukan guna meningkatkan kemampuannya. Salah satu variabel yang berpengaruh pada kemampuan penyerapan kalor adalah nilai kalor jenis (c) dan konduktivitas termal (k). Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan membuat 5 kelompok sampel. Kelompok sampel dibedakan oleh komposisi campuran pasir sungai dan pasir besi yang digunakan sebagai bahan utama. Variasi campuran dibuat dengan perbandingan massa antara pasir sungai dengan pasir besi sebagai berikut: 100:0; 90:10; 80:20; 70:30 dan 50:50. Pengikat campuran menggunakan semen dengan massa semen yang sama untuk semua sampel. Pengujian kalor jenis dilakukan dengan memberikan kalor pada salah satu permukaan sampel dan mengukur perbedaan temperatur di antara kedua permukaannya. Sumber kalor yang digunakan berupa pelat pemanas elektrik 40 watt. Pengujian kalor jenis dilakukan menggunakan kalorimeter bom. Sampel yang diuji dibuat dengan ukuran $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$. Hasil pengujian konduktivitas termal diperoleh nilai terendah sebesar $7,533 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ pada sampel tanpa pasir besi dan tertinggi sebesar $13,889 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ pada sampel dengan perbandingan 50:50. Hasil pengujian kalor jenis diperoleh nilai terendah sebesar $1698,169 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ pada sampel dengan perbandingan campuran pasir sungai dan pasir besi 50:50. Sementara nilai kalor jenis tertinggi pada sampel tanpa pasir besi (100:0) dengan nilai $3506,278 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$. Berdasarkan hasil pengujian, nilai optimal sampel sebagai penyerap kalor adalah sampel dengan campuran pasir sungai dan pasir besi adalah pada komposisi 50:50.

Kata Kunci: proses destilasi, kalor jenis, konduktivitas termal, pasir besi

Abstract – The distillation process of seawater can use the heat from sunlight. Solar energy utilization needs a heat-absorbing medium. Optimization of key factors like specific heat (c) and heat conductivity (k) can increase its quality. We conducted experimental research by creating five sample groups. What makes the group different is the river sand and iron sand composition. Their composition varies with the mass ratio: 100:0; 90:10; 80:20; 70:30; and 50:50. Cement acts as a binder for all mixtures and attempts to be equal for all samples. By applying heat to one surface of the sample and measuring the difference between the two surface temperatures, we can measure its specific heat. As a heating element, we use a 40-watt electric heater. A bomb calorimeter is used to determine the specific heat. We made a test sample with a size of $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$. Thermal conductivity measurements showed the lowest value at $7.533 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ for the sample without iron sand and the highest value at $13.889 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ in the 50:50 sample. Specific heat measurements showed the lowest at $1698.169 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ for the 50:50 sample and the highest was $3506.278 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ for the sample without iron sand. Hence, we find the highest heat absorption capacity is the ratio of 50:50.

Key words: distillation process, specific heat, heat conductivity, sea sand

PENDAHULUAN

Matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat melimpah. Pancaran gelombang elektromagnetik dari matahari sebesar $75,3$ juta W/m^2 dan diterima pada bagian terluar atmosfer mencapai 1360 W/m^2 . Rapat daya sebesar ini tidak seluruhnya mencapai permukaan bumi, karena adanya hambatan dan penyerapan sehingga hanya 50% yang sampai pada permukaan bumi [1].

Wilayah negara Indonesia sebagian besar mendapatkan paparan matahari dengan jumlah yang sangat melimpah. Potensi energi matahari rata-rata di Indonesia mencapai $4,8 \text{ kWh/m}^2$ [2]. Potensi energi matahari yang berupa kalor dapat digunakan untuk berbagai hal, antara lain sebagai sarana pengeringan, membantu proses penguapan pada desalinasi atau destilasi air laut, dan sebagai pemanas air (*water heater*). Pemanfaatan energi matahari untuk kebutuhan tersebut membutuhkan media yang mempunyai kemampuan menyerap energi semaksimal mungkin.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengoptimalkan penyerapan energi panas matahari. Optimalisasi penyerapan kalor telah dilakukan melalui berbagai riset dengan mengkaji berbagai material. Bahan-bahan yang telah diteliti sebagai media isolator kalor adalah sekam padi. Sekam padi memiliki nilai konduktivitas yang rendah sehingga dapat digunakan sebagai media untuk mempertahankan kalor [3]. Bahan lain yang telah diteliti adalah menggunakan tongkol jagung. Ukuran partikel tongkol jagung mempengaruhi nilai konduktivitas termal [4].

Penggunaan pasir sebagai media penyerap kalor juga sudah dilakukan oleh sebagian masyarakat, yaitu sebagai media penggoreng kerupuk. Sesuai dengan hasil penelitian, ukuran partikel pasir juga mempengaruhi kecepatan perambatan kalor [5].

Pasir besi merupakan pasir alam yang mempunyai kandungan unsur besi yang cukup tinggi. Wilayah pantai Binangun merupakan salah satu tempat yang mempunyai cadangan pasir besi yang sangat besar. Potensi yang besar ini perlu disikapi dengan membuat suatu produk yang mempunyai kemanfaatan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan penelitian untuk dapat mengetahui kemampuannya dalam meningkatkan penyerapan kalor. Pasir besi dari pantai Binangun dapat digunakan sebagai bahan

campuran sampel beton. Sampel beton merupakan sampel media penyerap kalor. Sampel yang mempunyai kemampuan penyerapan yang optimal merupakan target dari penelitian ini.

Berdasarkan pada beberapa hasil penelitian tersebut maka dilakukan penelitian terkait optimasi penyerapan kalor menggunakan media mortar dengan menambahkan pasir besi. Mortar adalah campuran yang terdiri dari semen, pasir dan unsur-unsur lainnya untuk melekatkan batu bata atau yang sejenisnya. Unsur besi merupakan salah satu unsur yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang tinggi akan tetapi nilai kalor jenis yang rendah. Sementara media beton konvensional (campuran pasir, agregat kasar dan semen) mempunyai konduktivitas yang rendah, artinya panas yang sudah tersimpan di dalam beton tidak mudah keluar. Optimasi dilakukan untuk memperoleh komposisi pasir sungai dan pasir besi sebagai bahan utama pembuat mortar. Optimasi dicapai pada kondisi sampel yang mempunyai nilai konduktivitas termal tertinggi dan kalor jenis terendah. Kondisi seperti ini merupakan kemampuan menyerap dan mempertahankan kalor yang terbaik.

LANDASAN TEORI

A. Konduktivitas Termal

Perpindahan kalor dapat terjadi melalui konduksi, konveksi atau radiasi. Kemampuan suatu material untuk menghantarkan kalor secara konduksi ditentukan oleh nilai konduktivitas termalnya. Material yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang besar akan lebih mudah menghantarkan kalor. Laju aliran kalor secara konduksi pada suatu material dapat ditentukan secara teoretis menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = k \frac{A \Delta T}{d}, \quad (1)$$

dengan dQ/dt merupakan laju aliran kalor, k konduktivitas termal bahan, A luas penampang permukaan bahan yang terpapar kalor, d ketebalan bahan dan ΔT menyatakan perbedaan temperatur kedua permukaan bahan. Berdasarkan pada persamaan 1, nilai konduktivitas termal material dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$k = \frac{dQ}{dt} \frac{d}{A \Delta T} \quad (2)$$

Nilai konduktivitas termal suatu material dapat diubah dengan cara menambahkan material lain. Penambahan unsur logam pada suatu bahan dapat meningkatkan nilai konduktivitas termalnya [6]. Oleh karena itu, pembuatan material penyerap kalor dari bahan beton dengan penambahan pasir besi dilakukan untuk meningkatkan nilai konduktivitas termal.

B. Kalor Jenis

Kalor jenis material menunjukkan kemampuan suatu material untuk mengubah temperaturnya setiap mengalami perubahan kalor. Kemampuannya untuk menaikkan temperatur ketika mendapatkan tambahan kalor mempunyai peran yang sangat penting dalam konservasi energi. Secara teoritik, sejumlah kalor yang diterima oleh suatu material akan digunakan untuk melakukan perubahan temperatur sesuai dengan persamaan berikut:

$$Q = mc\Delta T, \quad (3)$$

dengan Q merupakan kalor yang diterima material (joule), m merupakan massa dari material (kg), c menyatakan kalor jenis dari material ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$) dan ΔT merupakan perubahan temperatur yang terjadi ($^\circ\text{C}$).

Berdasarkan pada persamaan (3), menunjukkan bahwa material dikatakan mempunyai kalor jenis yang besar apabila perubahan temperaturnya sangat kecil untuk jumlah kalor yang diterima. Sebaliknya, material yang mempunyai kalor jenis kecil akan menghasilkan perubahan temperatur yang besar untuk sejumlah kalor yang sama. Hal ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan material atau bahan yang akan digunakan sebagai media penyerap kalor. Berdasarkan pada persamaan (2) dan (3), maka perancangan media penyerap kalor sebaiknya memilih material yang mempunyai kalor jenis kecil tetapi konduktivitas termal yang besar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium. Pelaksanaan penelitian meliputi tiga tahapan, yaitu tahap pemisahan bahan pasir besi, pembuatan sampel dan pengujian sampel. Seluruh tahapan penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika Instrumentasi Geofisika dan Laboratorium Fisika Dasar, Jurusan Fisika FMIPA Unsoed.

Bahan yang digunakan adalah pasir besi yang diambil dari pesisir pantai Binangun, kabupaten Cilacap Jawa Tengah.

Tahap pertama adalah membersihkan dan memisahkan kandungan logam dari pasir yang diambil dari pesisir pantai Binangun. Pembersihan pasir dilakukan dengan menggunakan air beberapa kali sampai kondisi air cucian terlihat bersih. Tujuan pencucian pasir untuk membersihkan lumpur yang tercampur pada pasir, sehingga akan memudahkan dalam proses pemisahan kandungan logamnya. Pasir pantai yang sudah dicuci bersih selanjutnya dikeringkan secara alami dengan cara dijemur di bawah terik matahari.

Pasir pantai yang banyak mengandung unsur besi harus dipisahkan antara unsur besi dengan unsur batuan. Pemisahan dilakukan menggunakan magnet permanen. Alat pemisah dibuat dengan menggunakan magnet permanen yang ditanamkan di dalam pipa silinder. Pipa silinder dihubungkan menggunakan bantalan berjalan sebagai tempat melewati pasir. Unsur besi akan tertahan pada silinder magnetik dan non logam akan terjatuh dan terpisah. Pasir yang mengandung unsur besi dipisahkan ulang menggunakan alat yang sama untuk memastikan bahwa yang tertinggal benar-benar unsur besi atau logamnya.

Pasir besi hasil pemisahan digunakan sebagai bahan pencampur dalam pembuatan sampel media penyerap kalor. Media penyerap kalor dibuat dari empat komponen utama yaitu pasir sungai, pasir besi, semen dan air. Komposisi antara pasir sungai dan pasir besi dibuat sesuai dengan **Tabel 1**. Penentuan komposisi ini merujuk pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya [7].

Setiap komposisi sampel dibuat sebanyak 5 buah sampel. Sampel mortar yang sudah dituangkan dalam cetakan dikeringkan secara alami dengan cara meletakkan pada udara terbuka selama 14 hari. Sampel yang sudah mengering dapat dilepaskan dari cetakan untuk selanjutnya dilakukan pengujian terhadap kemampuannya dalam menyerap kalor. Variabel yang diuji terhadap sampel yaitu nilai konduktivitas termal (k) dan nilai kalor jenis (c).

Pada penelitian tersebut menyatakan bahwa penambahan pasir besi dapat menurunkan kalor jenis mortar, namun demikian pada komposisi tertentu terjadi anomali. Semakin banyak kandungan pasir besi justru meningkatkan kembali nilai kalor jenisnya.

Tabel 1. Perbandingan komposisi pasir sungai dan pasir besi pada sampel media penyerap kalor

No sampel	Perbandingan PS:PB (% massa)
1	100:0
2	90:10
3	80:20
4	70:30
5	50:50

Keterangan

PS : Pasir Sungai

PB : Pasir Besi

Sampel dibuat dalam cetakan yang sudah disiapkan sebelumnya. Penambahan semen sebagai perekat pada setiap sampel dibuat sama, yaitu sebanyak 800 gram. Pengenceran menggunakan air tanah dengan volume menyesuaikan kepekatan dari setiap adonan sampel.

Hasil cetakan sampel dikeringkan secara alami. Pengeringan secara alami ini dilakukan agar sampel tidak pecah ketika mengalami susut. Sampel yang sudah mengering selanjutnya diuji nilai konduktivitas termal dan kalor jenisnya.

Pengujian dilakukan satu per satu pada setiap komposisi sampel. Semua sampel yang akan diuji potong sesuai dengan ukuran penampang pemanas dan dihaluskan pada kedua permukaannya. Penghalusan dan penyeragaman ukuran dilakukan untuk memastikan perlakuan yang sama pada semua sampel. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sampel satu demi satu di atas pelat pemanas listrik yang terdapat pada bok isolasi. Bok isolasi sudah dilengkapi dengan termometer digital pada kedua permukaan sampel dan wattmeter sebagai alat pengukur energi yang dibutuhkan untuk memanaskan sampel.

Pengujian konduktivitas termal menggunakan pemanas listrik dengan daya 40 watt. Termometer digital pertama dipasang pada bagian sampel yang bersentuhan dengan pelat pemanas dan termometer digital kedua dipasang pada bidang permukaan sebaliknya dari sampel. Kedua termometer digunakan untuk memonitor suhu pada kedua permukaan sampel. Pengujian dilakukan pada setiap sampel sampai dicapai kondisi saturasi. Kondisi ini ditunjukkan dengan perbedaan suhu antara kedua termometer yang sudah mulai stabil.

Sementara pengujian kalor jenis sampel menggunakan kalorimeter bom. Pada pengujian kalor jenis, sampel dipotong dengan ukuran $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$, menyesuaikan ukuran celah dari

kalorimeter bom. Kalorimeter bom merupakan sebuah alat yang fungsinya untuk memanaskan bahan yang akan diuji nilai kalor jenisnya. Kalorimeter bom terdiri dari sebuah tabung yang dilengkapi pemanas listrik dan bagian bawahnya dapat dibuka untuk menjatuhkan sampel uji.

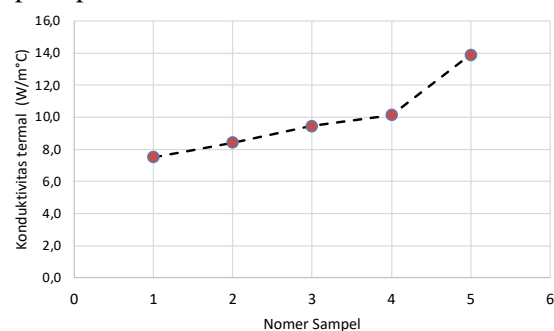
Optimasi sampel sebagai media penyerap kalor dilakukan dengan menganalisis terhadap nilai konduktivitas termal dan kalor jenis sampel dalam grafik pada gambar 2 dan 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil cetakan seluruh sampel diperlihatkan pada **Gambar 1**.

**Gambar 1.** Sampel mortar sebagai media penyerap kalor

Data pengujian menghasilkan nilai perbedaan suhu antara kedua permukaan sampel. Nilai konduktivitas termal dari semua sampel dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada **Gambar 2**.

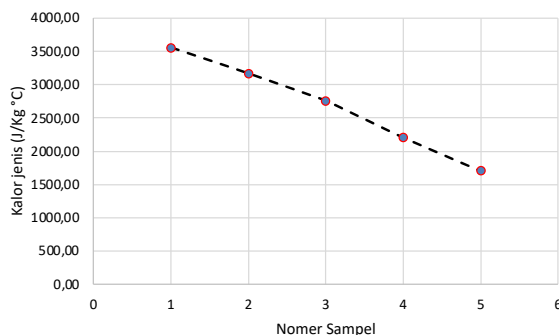
**Gambar 2.** Nilai konduktivitas termal sampel

Pengujian nilai kalor jenis sampel mortar diawali dengan memotong setiap sampel dengan dimensi $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$. Sampel diuji satu demi satu dengan cara memasukkan sampel dan memanaskan sampai suhu tertentu. Sampel yang sudah dipanaskan selanjutnya dimasukkan dalam tabung isolator yang sudah diisi air dengan suhu tertentu. Proses ini ditunggu sampai mencapai suhu kesetimbangan. Suhu kesetimbangan dicapai manakala suhu dalam

tabung isolator sudah stabil. Kestabilan suhu terjadi berarti sudah tidak terjadi perpindahan kalor antara sampel dengan air dalam tabung isolator. Nilai konduktivitas termal dan kalor jenis hasil pengujian dari semua sampel seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**. Nilai kalor jenis dari semua sampel dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada **Gambar 3**.

Tabel 2. Nilai konduktivitas termal dan kalor jenis sampel mortar sebagai media penyerap kalor

No sampel	k (W/m°C)	c (J/kg°C)
1	7,533	3506,278
2	8,439	3194,571
3	9,456	2730,524
4	10,132	2198,587
5	13,889	1698,169

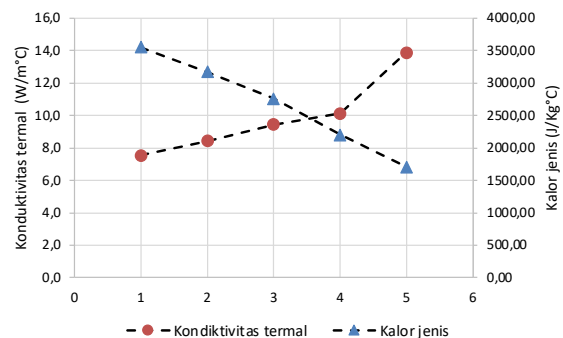


Gambar 3. Nilai kalor jenis sampel

Nilai konduktivitas termal meningkat seiring dengan penambahan pasir besi. Hal ini sesuai dengan sifat logam yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang besar. Sebaliknya, nilai kalor jenis menurun seiring dengan penambahan pasir besi pada sampel mortar. Hal ini juga sesuai dengan kajian teori, nilai kalor jenis besi yang jauh lebih kecil daripada kalor jenis beton.

Optimalisasi media penyerap kalor dilakukan dengan menentukan hubungan kedua variabel yaitu konduktivitas termal dan kalor jenisnya. Media penyerap kalor yang optimal secara teoritik mempunyai konduktivitas termal tinggi agar mampu dengan cepat meneruskan kalor yang diterima. Selain konduktivitas termal, media penyerap kalor harus mempunyai nilai kalor jenis yang rendah. Semakin kecil nilai kalor jenis suatu media penyerap kalor maka akan semakin cepat kenaikan suhu media tersebut. Kedua variabel tersebut jika digabungkan akan menghasilkan satu titik yang menghubungkan kedua variabel tersebut. Titik

ini akan menunjukkan nilai konduktivitas termal dan kalor jenis yang optimal dari sampel mortar. Hasil penggabungan kedua variabel tersebut seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Titik perpotongan dari konduktivitas termal dan kalor jenis merupakan titik optimal dari sampel. Berdasarkan pada Gambar 4, sampel yang optimal dalam menyerap kalor adalah sampel No. 3 dan No.4. Sampel No.3 merupakan sampel dengan komposisi perbandingan massa pasir sungai : pasir besi adalah 80:20. Sampel No.4 merupakan sampel dengan komposisi perbandingan massa pasir sungai : pasir besi adalah 70:30.



Gambar 4. Nilai optimum sebagai penyerap kalor dari sampel.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada hasil dan pembahasan, maka dapat kami simpulkan, bahwa media beton dari campuran pasir sungai dan pasir besi sebagai media penyerap kalor telah berhasil dibuat. Nilai konduktivitas termal meningkat seiring penambahan pasir besi, sementara nilai kalor jenis menurun seiring dengan penambahan pasir besi.

Berdasarkan analisis grafik, titik optimal dapat dicapai pada komposisi campuran pasir sungai dan pasir besi sebesar 50:50.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UNSOED atas pembiayaan penelitian ini melalui Skim Riset Dasar UNSOED kontrak no. T/576/UN23.18/PT.01.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Handayani, T. F. Nugroho, and S. P. Fitri, "Analisa Kinerja Termal Solar Apparatus Panel pada Alat Destilasi Air Payau dengan Sistem Evaporasi Uap Tenaga Matahari Menggunakan CFD," *JTITS* 3(2) (2014) G184–G189, doi: 10.12962/j23373539.v3i2.7862.
- [2] S. Hamdi, "Mengenal lama penyinaran matahari sebagai salah satu parameter klimatologi", *Berita Dirgantar* 15 (1) (2014) 7–16.
- [3] H. Wibowo, K. Muhajir, T. Rusianto, and E. Arbintarso, "Konduktivitas termal papan partikel sekam padi," *Jurnal Teknologi Technoscientia*, (2008) 29–34, doi: 10.34151/technoscientia.v1i1.375.
- [4] N. Pratama, D. Djamas, and Y. Darvina, "Pengaruh variasi ukuran partikel terhadap nilai konduktivitas termal papan partikel tongkol jagung", *Pillar of Physics* 7(1) (2016) 25–32.
- [5] L. Nirwana, M. Rais, and J. P. Jamaluddin P, "Konduktivitas termal pasir kali sebagai media penghantar panas pada proses penyangraian kerupuk", *JPTP* 3 (2018). S182–S196
doi: 10.26858/jptp.v3i0.5718.
- [6] D. Ariwibowo and S. Sutrisno, "Pengembangan adsorbent bed untuk peningkatan konduktivitas termal melalui penambahan partikel metal aluminium," *Gema Teknologi* 7(4) (2014) 152–156, doi: 10.14710/gt.v17i4.8933.
- [7] H. Hartono, S. Sugito, and F. Abdullatif, "Perubahan kalor jenis campuran bahan mortar dengan penambahan pasir besi," *Jurnal Teras Fisika: Teori, Modeling, dan Aplikasi Fisika* 3(2) (2020), doi: 10.20884/1.jtf.2020.3.2.3318.