

Pengembangan Alat Praktikum Konduktivitas Termal Zat Cair pada Geometri Silinder Berbasis Sensor Suhu

Sabana Asmi^{1*}, Sukirman², Supriyadi³, Sulhadi⁴

Prodi Pendidikan Fisika, Program Pascasarjana Universitas Negeri Semarang
Gedung A Kampus Pascasarjana Jl. Kelut Utara III, Semarang 50237, Indonesia
*sabana354@students.unnes.ac.id

ABSTRAK

Praktikum untuk menentukan nilai konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder masih jarang dilakukan. Tujuan penelitian ini yaitu merancang alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder berbasis sensor suhu. Alat praktikum yang dirancang terdiri dari (1) tabung isolator berbentuk silinder, (2) elemen pemanas berbentuk silinder, (3) sumber tegangan AC, (4) sensor suhu digital, dan (5) material cair yang akan diukur nilai konduktivitas termalnya. Data profil distribusi temperatur yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas termal zat cair. Adapun nilai konduktivitas termal air pada suhu ruang 31°C diukur menggunakan alat praktikum yang dikembangkan yaitu 0.60 Wm⁻¹K⁻¹. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder yang dikembangkan tidak dapat secara langsung mengukur nilai konduktivitas termal zat cair. Namun, alat praktikum yang dikembangkan dapat mengukur secara langsung profil distribusi temperatur zat cair pada geometri silinder.

Kata kunci : geometri silinder, konduktivitas termal, praktikum, sensor suhu, zat cair

ABSTRACT

Practicum to determine the value of thermal conductivity of liquid in cylinder geometry is still rarely done. The purpose of this research is to design a liquid thermal conductivity practicum instrument on a temperature sensor-based cylinder geometry. The practicum instrument that is designed consists of (1) a cylindrical insulator tube, (2) a cylindrical heating element, (3) an AC voltage source, (4) a digital temperature sensor, and (5) a liquid material for which the thermal conductivity value will be measured. The temperature distribution profile data obtained are then used to calculate the value of the thermal conductivity of the liquid. The value of the thermal conductivity of water at room temperature of 31°C was measured using the developed practicum instrument is 0.60 Wm⁻¹K⁻¹. Based on the research results, it can be concluded that the liquid thermal conductivity practicum instrument in the cylinder geometry that was developed cannot directly measure the value of the thermal conductivity of the liquid. However, the developed practicum instrument can directly measure the temperature distribution profile of the liquid in the cylinder geometry.

Kata kunci : cylinder geometry, liquid, practicum, temperature sensor, thermal conductivity

PENDAHULUAN

Dalam Fisika dan Termodinamika, kalor dikenal sebagai suatu proses transfer energi panas (Wang *et al.*, 2010). Dua benda yang mempunyai suhu yang berbeda ketika disinggungkan maka akan terjadi transfer energi panas dari benda yang bersuhu lebih

tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah sehingga terjadi kesetimbangan termal. Perpindahan energi panas tidak dapat diukur secara langsung. Berdasarkan prinsip termodinamika, peningkatan jumlah energi panas internal (dU) dapat disebabkan karena adanya peningkatan suhu (dT) dalam sistem tersebut (Zohuri & Mcdaniel, 2015).

$$dU = mcdT$$

dU adalah perubahan energi panas internal (J), m adalah massa zat (kg), c adalah kalor jenis zat ($Jkg^{-1}K^{-1}$), dan dT adalah perubahan suhu (K). Laju perubahan jumlah energi panas internal yang terkandung dalam suatu sistem kemudian sebanding dengan laju perubahan suhunya dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{dU}{dt} = mc \frac{dT}{dt}$$

Berubahnya jumlah energi panas internal yang terkandung dalam suatu sistem dapat terjadi karena dua hal. Pertama, adanya pertukaran energi panas antara sistem dengan lingkungan sekitar. Kedua, munculnya energi panas atau produksi energi panas di dalam sistem itu sendiri. Pada kasus pertama, Hukum II Termodinamika menyatakan bahwa aliran energi panas disebabkan oleh perbedaan suhu setempat. Energi panas mengalir dari lokasi bersuhu tinggi ke lokasi yang bersuhu lebih rendah dengan berbagai mekanisme. Secara umum, dikenal tiga mekanisme perpindahan energi panas yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan energi panas secara konduksi terjadi ketika energi panas mengalir dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah dalam satu medium atau antar medium yang berbeda ketika besinggungan oleh mekanisme interaksi antar molekul (Kaban, 2009 & Alwashdeh, 2018). Interaksi antar molekul yang dimaksud yaitu tumbukan antar molekul yang berdekatan dimana energi kinetik vibrasi dari satu molekul ditransfer ke molekul tetangga terdekat tanpa adanya perpindahan lokasi molekul tersebut. Pada awal tahun 1822, seorang ahli Matematika dan Fisika Perancis yaitu J.B.J. Fourier, mengusulkan hukum Fourier tentang konduksi panas yaitu laju perpindahan energi panas per satu satuan luas berbanding lurus dengan negatif gradien suhunya dengan persamaan sebagai berikut.

$$q'' = -k\Delta T$$

q'' adalah fluks atau kerapatan aliran panas (Wm^{-2}), k adalah konstanta kesebandingan yang disebut dengan konduktivitas termal ($Wm^{-1}K^{-1}$), dan T adalah temperatur lokal (K). Besar nilai konduktivitas termal (k) perlu ditentukan secara eksperimental. Adapun total energi panas yang ditransfer per satu satuan waktu melalui permukaan seluas A tegak lurus dengan arah aliran panas yaitu:

$$q = Aq'' = -kA\Delta T$$

Suatu sistem dikatakan dalam kondisi tunak (*steady state*) ketika semua besaran

yang ada di dalam sistem tidak bergantung pada waktu (Kayansayan, 2013). Perpindahan panas dalam kondisi tunak satu dimensi (*steady state-one dimensional*) maksudnya yaitu perpindahan panas konduksi yang terjadi pada suatu benda atau material, dimana distribusi temperatur bukan sebagai fungsi waktu dan aliran energi panas dominan terjadi pada satu arah dengan mengabaikan arah aliran panas lainnya atau dengan kata lain arah aliran energi panas lainnya diisolasi (Pane, 2015). Dalam kondisi tunak satu dimensi (*steady state-one dimensional*) persamaan konduksi panas dapat dituliskan sebagai berikut.

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

$\frac{dT}{dx}$ menyatakan laju perubahan suhu terhadap jarak (Km^{-1}).

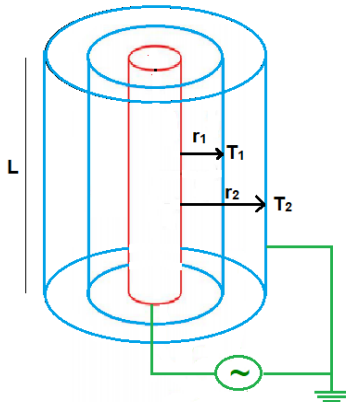
Selain dari perpindahan atau transfer energi panas, peningkatan jumlah energi panas yang terkandung dalam suatu sistem dapat terjadi karena produksi energi panas dalam sistem itu sendiri. Berdasarkan hukum I Termodinamika, energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan namun bentuk energi dapat diubah. Pada penelitian ini untuk menghasilkan energi panas digunakan elemen pemanas dimana energi listrik diubah menjadi energi panas. Jumlah energi listrik yang diubah menjadi energi panas per satu satuan waktu sama dengan daya pada elemen pemanas.

$$P = VI$$

P adalah daya listrik (W), V adalah tegangan listrik (V) dan I adalah arus listrik (A).

Ketika elemen pemanas digunakan sebagai produksi energi panas di dalam sebuah sistem, maka profil distribusi temperatur dalam kondisi tunak dapat dihasilkan. Untuk mendapatkan profil distribusi temperatur dalam sistem tersebut, perlu ditentukan jenis koordinat yang digunakan. Adapun macam-macam koordinat yang dapat digunakan yaitu planar atau kartesian, silinder, dan bola. Pada penelitian ini digunakan koordinat silinder dengan alasan elemen pemanas yang digunakan berbentuk silinder. Perpindahan energi panas secara konduksi dalam geometri silinder ditemui dalam beberapa kasus seperti ketika menganalisis hilangnya panas melalui dinding pipa, perpindahan panas dalam pipa ganda atau tabung penukar panas (*heat exchanger*), dan perpindahan panas dari batang bahan bakar

nuklir (Subramanian, 2014). Adapun sketsa batang elemen pemanas sebagai produksi energi panas di dalam geometri silinder beserta profil distribusi temperatur disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa elemen pemanas dan profil distribusi temperatur pada geometri silinder.

Berdasarkan Gambar 1, elemen pemanas berbentuk silinder ditaruh di dalam tabung silinder dengan panjang L dan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik. Dengan menganggap bahwa temperatur bervariasi hanya pada arah radial, maka pada posisi jari-jari dalam (r_1) mempunyai temperatur dalam (T_1) dan pada posisi jari-jari luar (r_2) mempunyai temperatur luar (T_2). Distribusi panas yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas termal.

Konduktivitas termal adalah sifat yang mencirikan kemampuan suatu material untuk memindahkan energi panas. Konduktivitas termal didefinisikan sebagai laju perpindahan energi panas per satu satuan luas dan per satuan gradien suhu yang dikenakan secara normal pada tiap satuan luas (Eishah, 2001). Untuk menentukan konduktivitas termal, profil distribusi suhu harus dihubungkan dengan perpindahan energi panas konduksi sesuai dengan hukum Fourier pada geometri silinder.

Pada koordinat silinder, perpindahan energi panas melintasi sebuah permukaan tertutup berbentuk silinder dengan jari-jari r dan panjang silinder L , maka luas permukaan silinder adalah $A = 2\pi rL$. Dalam kondisi tunak (*steady state*), silinder dianggap mempunyai panjang tidak hingga dan variasi panas hanya terjadi pada arah radial, dengan demikian persamaan Fourier dapat dituliskan sebagai berikut.

$$q = Aq'' = -kA\Delta T = -k(2\pi rL)\frac{dT}{dr}$$

Karena $2\pi Lk$ adalah konstan, maka persamaan diferensial untuk menentukan distribusi suhu dalam sebuah silinder dapat dituliskan sebagai berikut.

$$r\frac{dT}{dr} = C_1$$

C_1 adalah konstanta yang perlu ditentukan. Dengan mengatur ulang persamaan tersebut, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$dT = C_1\frac{dr}{r}$$

Dengan mengintegrasikan kedua sisi, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$T = C_1 \ln r + C_2$$

C_2 adalah konstanta yang juga perlu ditentukan. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh bahwa distribusi temperatur pada geometri silinder untuk nilai konduktivitas termal konstan bersifat logaritmis.

Untuk menentukan dua konstanta sebagai solusi, perlu digunakan syarat batas pada distribusi temperturnya. Temperatur dikhususkan pada dinding bagian dalam dan dinding bagian luar. Dengan demikian, dapat dituliskan syarat batas sebagai berikut.

$$T = T_1, r = r_1$$

$$T = T_2, r = r_2$$

Dengan melakukan substitusi kedua syarat batas tersebut ke dalam solusi distribusi suhu, maka diperoleh dua persamaan sebagai berikut.

$$T_1 = C_1 \ln r_1 + C_2$$

$$T_2 = C_1 \ln r_2 + C_2$$

Dengan demikian konstantan C_1 dan C_2 dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_1 = \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

$$C_2 = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \ln r_1$$

Dengan melakukan substitusi dua konstanta yang diperoleh, maka distribusi temperatur pada geometri silinder dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{T - T_1}{T_1 - T_2} = \frac{\ln\left(\frac{r}{r_1}\right)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

Untuk menentukan laju perpindahan energi panas secara konduksi, maka

persamaan dapat ditulis ulang sebagai berikut.

$$q = \left(-k \frac{dT}{dr} \right) 2\pi r L$$

$$\frac{dT}{dr} = \frac{C_1}{r}$$

Dengan mengingat bahwa $\frac{dT}{dr} = \frac{C_1}{r}$, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$q = 2\pi L k \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

Karena laju perpindahan energi panas konduksi sama dengan daya pada elemen pemanas, maka persamaan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P = 2\pi L k \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

Persamaan tersebut menghubungkan antara konduktivitas termal (k) dengan daya total yang hilang pada elemen pemanas (P).

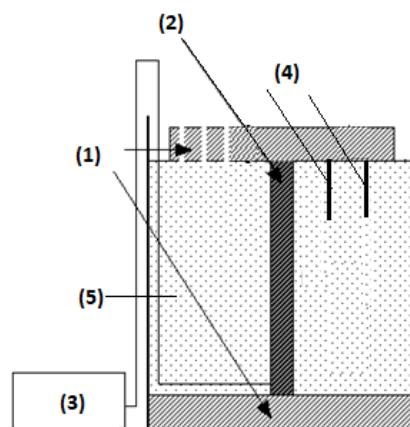
Sesuai dengan kurikulum 2013 revisi untuk jenjang SMA, konduktivitas termal sebuah bahan dipelajari pada materi pokok Suhu dan Kalor yaitu di kelas XI semester 1. Adapun bunyi KD. 3.5 untuk aspek kognitif yaitu menganalisis pengaruh kalor dan perpindahan kalor yang meliputi karakteristik termal suatu bahan, kapasitas dan konduktivitas kalor pada kehidupan sehari-hari. Sedangkan bunyi KD 4.5 untuk aspek psikomotorik yaitu merancang dan melakukan percobaan tentang karakteristik termal suatu bahan, terutama terkait dengan kapasitas dan konduktivitas kalor, beserta presentasi hasil percobaan dan pemanfaatannya. Berdasarkan KD tersebut, maka peserta didik diharapkan mampu menganalisis dan melakukan percobaan untuk menentukan karakteristik termal suatu bahan yang mana salah satu karakteristik termal yang dimiliki oleh suatu bahan yaitu nilai konduktivitas termalnya.

Praktikum merupakan kegiatan pembelajaran yang bertujuan agar siswa mendapat kesempatan untuk menguji dan mengaplikasikan teori yang diperoleh dengan menggunakan fasilitas laboratorium maupun di luar laboratorium sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna (Suryaningsih, 2017). Melalui kegiatan praktikum, pemahaman siswa terhadap materi yang sedang dipelajari menjadi lebih baik serta dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Sampai saat ini sudah banyak percobaan terkait suhu dan kalor, namun percobaan penentuan nilai konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder masih jarang dilakukan. Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan penelitian ini yaitu mengembangkan alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder berbasis sensor suhu.

METODE

Pada penelitian ini dikembangkan alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder berbasis sensor suhu. Langkah pengembangan alat praktikum yaitu (1) studi pendahuluan, (2) perancangan alat praktikum, dan (3) uji coba alat praktikum. Pada tahap studi pendahuluan, dilakukan analisis konten topik Suhu dan Kalor dan analisis kompetensi yang dicapai. Pada tahap perancangan, dirancang alat praktikum konduktivitas termal zat cair dengan konstruksi ditunjukkan pada Gambar 2.



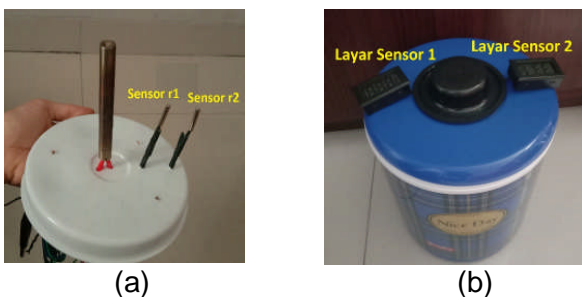
Gambar 2. Konstruksi alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder.

Keterangan :

- (1) tabung isolator berbentuk silinder lengkap dengan tutup
- (2) elemen pemanas berbentuk silinder
- (3) sumber tegangan AC
- (4) sensor suhu digital
- (5) material zat cair

Berdasarkan Gambar 2, tabung isolator berbentuk silinder yang digunakan terbuat dari bahan *polyurethane insulated* dengan alasan bahan tersebut mampu menghambat laju perpindahan panas dari sistem ke lingkungan

luar. Elemen pemanas berbentuk silinder yang digunakan terbuat dari material *stainless steel*, diameter 12 mm dan panjang 100 mm dengan spesifikasi 220V 150W. Elemen pemanas dipasang di bagian dalam tutup tabung silinder. Sumber tegangan yang diterapkan untuk memberikan suplai arus bagi elemen pemanas yaitu sumber tegangan bolak-balik atau AC (*alternating current*). Sensor suhu digital yang digunakan dilengkapi dengan layar LCD yang berfungsi untuk merekam distribusi suhu pada beberapa titik di sekitar elemen pemanas. Sensor suhu yang digunakan berjumlah dua. Sensor suhu 1 diletakkan pada jari-jari dalam (r_1) sedangkan sensor suhu 2 diletakkan pada jari-jari luar (r_2). Material zat cair yang diuji nilai konduktivitas termalnya yaitu air. Adapun gambar alat praktikum yang dikembangkan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Elemen pemanas silinder dan dua sensor suhu diletakkan pada bagian dalam tutup (b) Tabung isolator silinder dari bahan *polyurethane insulated* dengan layar LCD sensor suhu di atasnya.

Pada tahap pengujian, dilakukan pengujian alat praktikum yang dikembangkan untuk menentukan nilai konduktivitas termal zat cair. Adapun zat cair yang ditentukan nilai konduktivitas termalnya yaitu air.

Cara penggunaan alat praktikum yang dikembangkan yaitu (1) memasukkan material zat cair yang akan diuji nilai konduktivitas termalnya ke dalam tabung silinder dan ditutup rapat, (2) elemen pemanas dihubungkan dengan sumber tegangan AC, (3) mencatat suhu yang terekam pada layar LCD sensor suhu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder berbasis sensor suhu yang dikembangkan terdiri dari (1) tabung isolator berbentuk silinder, (2) elemen pemanas

berbentuk silinder, (3) sumber tegangan AC, (4) sensor suhu digital, dan (5) material cair yang akan diuji nilai konduktivitas termalnya. Tabung isolator berfungsi sebagai wadah zat cair yang akan ditentukan nilai konduktivitas termalnya. Pada penelitian ini, tabung isolator yang digunakan terbuat dari bahan *polyurethane insulated* dengan alasan bahan tersebut mampu menghambat laju perpindahan panas dari sistem ke lingkungan luar. Sebagaimana diungkapkan oleh Mahmoud, *et al.* (2017), bahan *polyurethane* mempunyai banyak aplikasi karena mempunyai karakteristik insulasi yang baik yaitu nilai konduktivitas termal yang rendah dan kekuatan mekanik yang sangat baik sehingga mampu menyimpan energi secara optimal. Elemen pemanas berbentuk silinder terbuat dari bahan *stainless steel*, diameter 12 mm dan panjang 100 mm dengan spesifikasi 220V 150W yang berfungsi sebagai produksi panas di dalam sistem. Berdasarkan hukum I Termodinamika, energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan namun bentuk energi dapat diubah. Pada penelitian ini arus mengalir pada elemen resistif pemanas untuk menghasilkan panas dan energi panas yang dihasilkan mengubah temperatur air disekitar elemen pemanas (Hohne *et al.*, 2019). Jumlah energi listrik yang diubah menjadi energi panas per satu satuan waktu sama dengan daya pada elemen pemanas. Hao *et al.* (2014) menyatakan bahwa distribusi temperatur dari suatu pemanas meningkat secara signifikan seiring dengan meningkatnya produksi panas dan jari-jari elemen pemanas. Lebih lanjut kinerja elemen pemanas listrik dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti densitas, kapasitas panas, konduktivitas termal dan lain sebagainya. Material *stainless steel* mempunyai densitas 7.7 g/cm^3 , kapasitas panas $0.5 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, konduktivitas termal $30.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, resistivitas $40 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$, dan titik lebur 1430°C . Selanjutnya dua sensor suhu yang digunakan berfungsi untuk merekam profil distribusi temperatur di dalam sistem. Pada penelitian ini sensor suhu yang digunakan diletakkan pada jari-jari dalam (r_1) merekam temperatur dalam (T_1) sedangkan sensor yang diletakkan pada jari-jari luar (r_2) merekam temperatur luar (T_2). Pada penelitian ini material cair yang diuji nilai konduktivitas termalnya yaitu air dengan alasan telah banyak dilakukan pengukuran nilai konduktivitas termal air. Dengan demikian, nilai konduktivitas termal air yang diperoleh dalam penelitian dapat dibandingkan dengan nilai konduktivitas termal air dari pengukuran sebelumnya. Sedangkan

pengukuran nilai konduktivitas termal zat cair lainnya masih jarang dilakukan sehingga data pembandingan sulit diperoleh.

Pada penelitian ini alat praktikum konduktivitas termal didasarkan pada prinsip perpindahan energi panas secara konduksi yaitu perpindahan panas dari tempat bersuhu tinggi ke tempat yang bersuhu lebih rendah tanpa disertai perpindahan material zat tersebut. Perpindahan panas terjadi pada kondisi tunak satu dimensi (*steady state-one dimensional*) yaitu perpindahan panas dimana distribusi temperatur bukan sebagai fungsi waktu dan aliran energi panas dominan terjadi pada arah radial saja. Distribusi suhu yang

terekam pada layar sensor suhu kemudian dicatat dan digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas material zat cair.

Konduktivitas termal didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan energi panas. Nilai angka konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat energi panas mengalir dalam suatu bahan atau material tertentu. Karena laju perpindahan energi panas secara konduksi sama dengan daya yang hilang pada elemen pemanas, maka persamaan untuk menghitung nilai konduktivitas termal zat cair adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Thermal Conductivity [$Wm^{-1}k^{-1}$] of various material at $0^{\circ}C$ (Kayansayan, 2013)

Metal		Non-metalic solids		Liquids		Gases	
Copper (pure)	385	Marble	2.2	Mercury	8.21	Hydrogen	0.175
Aluminum (pure)	202	Glass, window	0.78	Water	0.556	Helium	0.141
Iron (pure)	73	Oak	0.17	Ammonia	0.054	Air	0.024
Carbon steel	43	Sawdust	0.059	Lubricating oil SAE50	0.147	Water vapour (sat.)	0.0206
Chrom-nicel steel (18%Cr0,%8Ni)	16.3	Glass wool	0.038	R134a	0.073	Carbon dioxide	0.0146

Berdasarkan Tabel 1, konduktivitas termal air yaitu $0,56 Wm^{-1}K^{-1}$ sedangkan nilai konduktivitas termal air diukur menggunakan alat praktikum yang dikembangkan yaitu $0,60 Wm^{-1}K^{-1}$. Dengan demikian terdapat selisih nilai konduktivitas termal air berdasarkan Tabel 1 dibandingkan nilai konduktivitas termal air diukur menggunakan alat praktikum yang dikembangkan sebesar 0,04. Ketidakcocokan nilai yang diperoleh dari hasil percobaan dan data pada Tabel 1 disebabkan karena adanya perbedaan suhu ruang ketika dilakukan pengukuran nilai konduktivitas termal air. Berdasarkan Tabel 1, nilai konduktivitas termal air diukur pada suhu ruang $0^{\circ}C$ sedangkan pada percobaan nilai konduktivitas termal air diukur pada suhu ruang $31^{\circ}C$. Hal tersebut sejalan dengan Zohuri & Mcdaniel (2015) yang menyatakan bahwa nilai konduktivitas termal suatu material bervariasi bergantung pada jenis material dan temperatur ruang dimana percobaan dilakukan.

Lebih lanjut, beberapa faktor yang mempengaruhi nilai konduktivitas termal air diukur menggunakan alat praktikum yang dikembangkan masih kurang akurat yaitu panjang elemen pemanas yang tidak

proporsional dengan kedalaman wadah yang digunakan. Pada penelitian ini panjang elemen pemanas yaitu 10 cm sedangkan kedalaman tabung silinder yaitu 13 cm. Selain itu terdapat masalah dalam pengontrolan proses pemanasan dari elemen pemanas. Hal ini sejalan dengan yang diungkapkan oleh Ukhobotov & Izmet'sev (2018) bahwa memang terdapat masalah dalam mengontrol proses pemanasan elemen pemanas seperti perambatan panas pada batang elemen pemanas dan nilai pasti dari kerapatan panas yang tidak dapat ditentukan secara pasti sehingga nilai yang diperoleh perlu menggunakan syarat batas. Lebih lanjut, Bassily & Colver (2004) menyatakan bahwa terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja elemen pemanas seperti panjang elemen, diameter elemen, emisivitas elemen, tegangan yang digunakan, dan laju aliran udara. Selain itu sensor suhu yang digunakan kurang sensitif. Hasil rekam distribusi temperatur juga belum dapat tersimpan untuk dianalisis lebih lanjut.

Pada penelitian ini, alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder telah selesai dikembangkan. Walaupun begitu, alat praktikum konduktivitas

termal yang dikembangkan tidak dapat secara langsung mengukur nilai konduktivitas termal zat cair. Namun, alat praktikum yang dikembangkan dapat mengukur secara langsung distribusi temperatur pada geometri silinder.

PENUTUP

Telah dikembangkan seperangkat alat praktikum konduktivitas termal zat cair pada geometri silinder berbasis sensor suhu. Berdasarkan hasil penelitian, alat praktikum yang dikembangkan tidak dapat secara langsung mengukur nilai konduktivitas termal zat cair. Namun, alat praktikum yang dikembangkan dapat merekam profil distribusi temperatur pada geometri silinder secara langsung. Nilai konduktivitas termal air pada suhu ruang 31°C diukur menggunakan alat praktikum yang dikembangkan adalah 0,60 Wm⁻¹K⁻¹. Alat praktikum yang dirancang, masih perlu dikembangkan lebih lanjut. Penggunaan elemen pemanas yang mempunyai ukuran proporsional dengan wadah dan kemampuan untuk mengontrol pemanasan elemen. Penggunaan sensor suhu yang lebih sensitif, canggih dan akurat sehingga dapat merekam profil distribusi suhu bukan hanya pada dua titik saja. Selain itu sensor suhu yang digunakan harus mampu merekam profil distribusi temperatur yang dapat disimpan dalam bentuk file sehingga dapat dianalisis lebih lanjut. Profil distribusi suhu dapat dikombinasikan dengan aplikasi komputer sehingga diperoleh visualisasi yang jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alrwashdeh, S. S. (2018). Modelling of Operating Conditions of Conduction Heat Transfer Mode Using Energy 2D Simulation. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 14(9): 200-207.
- [2] Bassily, A. M., & Colver, G. M. (2004). Modelling and Performance Analysis of An Electric Heater. *International Journal of Energi Research*, 2004(28): 1269-1291.
- [3] Eishah, S. I. (2001). Correlation for Thermal Conductivity of Metals as a Function of Temperature. *International Journal of Thermophysics*, 22(6): 1855-1868.
- [4] Hao, Y., Xiaoqiao, G., Fansheng, X., Jialiang, Z., & Yanju, Li. (2014). Temperature Distribution Simulation and Optimization Design of Electric Heater for In-Situ Oil Shale Heating. *Oil Shale*, 13(2): 105-120.
- [5] Hohne, P. A., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2019). A Review of Water Heating Technologies: An Application to the South African Context. *Energy Reports*, 5(2019): 1-19.
- [6] Kaban, H. (2009). Menentukan Konduktivitas Termal Tandan Kosong Sawit dengan Polistiren (*Polystyrene*) sebagai Heat Flux Meter. *Jurnal Penelitian Sains*, 12(2B): 1-4.
- [7] Kayansayan, N. (2013). *Thermodynamics Principles & Applications*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danismanlık Tic. Ltd. Sti.
- [8] Mahmoud, A. A., Nasr, E. A. A., & Maamoum, A. A. H. (2017). The Influence of Polyurethane Foam on the Insulation Characteristics of Mortar Pastes. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2017(5): 49-61.
- [9] Pane, A. H. (2015). *Modul Perpindahan Panas Konduksi Steady State – One Dimensional*. Medan: Consultant.
- [10] Suryaningsih, Y. (2017). Pembelajaran Berbasis Praktikum sebagai Sarana Siswa untuk Berlatih Menerapkan Keterampilan Proses Sains dalam Materi Biologi. *Jurnal Bio Education*, 2(2): 49-57.
- [11] Subramanian, R. S. 2014. Conduction in the Cylindrical Geometry. (Online). (web2.clarkson.edu).
- [12] Ukhobotov, V. I., & Izmet'ev, I. V. (2018). The Problem of Controlling the Process of Heating the Rod in the Presence of Disturbance and Uncertainty. *IFAC Papers Online*, 51-32(2018): 739-742.
- [13] Wang, M., Cao, B Y., & Guo, Z. Y. (2010). General Heat Conduction Equations Based On the Thermomass Theory. *Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT)*, 1,

013004 (2010). DOI:
10:5098/hmt.v1.1.3004.

- [14] Zohuri, B., & Mcdaniel, P. (2015). *Thermodynamics In Nuclear Power Plant System*. Doi:10.1007/978-3-3-319-13419-2.