

Penentuan Kapasitas Panas Kalorimeter Bejana Dewar Menggunakan Percobaan Konversi Energi Listrik Menjadi Kalor Sesuai Hukum Joule

Sardjito¹, Nani Yuningsih²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : sardjito@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : nani.yuningsih@polban.ac.id

ABSTRAK

Satu dari tujuan instruksional kegiatan Praktik Fisika di Laboratorium adalah membuktikan secara eksperimen keberlakuan teori atau hukum yang mendasari berbagai fenomena fisis. Namun sering kali pembuktian ini tidak tercapai secara memuaskan karena adanya berbagai faktor yang mengakibatkan terjadinya penyimpangan hasil eksperimen dibandingkan dengan yang seharusnya menurut teori. Pada percobaan tara kalor listrik yaitu konversi energi listrik menjadi energi kalor, penyimpangan disebabkan oleh adanya pengabaian keberadaan benda – benda pendukung selain media utama penerima kalor, diantaranya kalorimeter wadah tempat air berada yang juga memiliki kemampuan menyerap kalor. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki proses pembuktian Hukum Konservasi Energi pada konversi energi listrik menjadi kalor secara eksperimen, dengan melakukan penyempurnaan proses eksperimen dari segi perhitungan yang lebih presisi. Dari segi perangkat keras, penyertaan perhitungan kapasitas panas kalorimeter, diharapkan menjadikan proses kuantisasi konversi energi listrik menjadi kalor dapat lebih memuaskan. Kapasitas panas kalorimeter Dewar dihitung menggunakan data percobaan Hukum Joule. Penelitian menyimpulkan bahwa nilai kapasitas kalor kalorimeter Dewar bukan merupakan besaran yang konstan, namun bergantung pada massa air pengisinya. Selain itu kemampuan menyekat yang sangat baik dari kalorimeter Dewar yang digunakan dalam eksperimen konversi listrik menjadi kalor dan dikenal sebagai Hukum Joule, tidak memerlukan perhitungan koreksi suhu lingkungan.

Kata Kunci:

Bejana Dewar, tara kalor listrik, Hukum Joule, kapasitas panas

1. PENDAHULUAN

Konversi energi merupakan topik yang sangat penting, terutama pada masa-masa sumber energi konvensional mulai sukar didapat. Menurut konsep konversi energi, energi dapat berubah dari satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya, tetapi harus mematuhi Hukum Konservasi Energi, artinya tak ada penciptaan atau pemusnahan energi. Sebagai contoh praktis adalah perubahan energi listrik menjadi energi panas (kalor), yang sering dikenal dengan istilah Tara kalor listrik, yaitu kesetaraan energi listrik dengan kalor [1,2]. Kesetaraan ini pada dasarnya menunjukkan bahwa jumlah kalor yang dibangkitkan sama dengan jumlah energi listrik yang diberikan.

Menurut konsep fisika yang disebut Hukum Konservasi Energi, pada saat terjadi konversi energi dari satu bentuk (dalam hal ini, energi listrik) menjadi bentuk lain (dalam hal ini, kalor), besar energi listrik harus sama besar dengan kalor. Dengan kata lain efisiensi perubahannya adalah 100 %.

Untuk memahami konsep konversi energi secara utuh, maka perlu dilakukan pengujian percobaan, baik untuk

menentukan besarnya energi listrik maupun untuk menentukan besarnya kalor. Energi listrik diberikan melalui kumparan kawat pemanas yang bersifat resistif dan dapat dihubungkan pada sumber tegangan atau pasok daya, serta dapat diukur beda potensial antara ujung-ujungnya dan kuat arus yang mengalirinya. Kalor yang dibangkitkan bergantung kepada banyaknya (massa) benda yang menerima kalor, perilaku termal benda-benda tersebut, serta kenaikan suhu benda-benda tersebut. Perilaku termal benda dinyatakan oleh panas jenis benda utama yang menerima kalor yaitu dalam hal ini adalah air, serta kapasitas panas benda-benda disekitarnya, termasuk wadah dimana benda berada, alat ukur suhu (termometer), serta piranti lainnya seperti pengaduk dan kumparan pemanas. Pada saat menentukan besar kalor, perlu dihitung secara pasti, besar perubahan suhu benda. Dari pengamatan suhu, khususnya pada saat pemberian energi listrik sudah dihentikan, dapat ditentukan perlu tidaknya koreksi Newton dilakukan untuk menentukan perubahan suhu benda [3].

Untuk menjamin bahwa proses konversi energi ini dapat dihitung secara tepat, haruslah dihindari adanya

perpindahan energi yang masuk dari lingkungan, maupun energi yang keluar ke lingkungan. Media utama penerima kalor adalah air, dan air memerlukan wadah beserta piranti lain seperti alat ukur suhu (termometer) dan pengaduk. Sebagai perangkat pendukung yang berfungsi sebagai wadah, sekaligus tempat pengukur dan juga penyekat adiabatik adalah kalorimeter bejana Dewar [4]. Berbeda dengan kalor yang diserap oleh air, yang mudah dihitung dari massa dan kalor jenisnya, kalor yang diserap oleh kalorimeter beserta perangkat pendukungnya tak dapat hanya dihitung dari massa dan kalor jenis bahan kalorimeter, karena strukturnya yang rumit.

Dengan demikian masalah yang muncul adalah bahwa kapasitas panas kalorimeter Dewar tak dapat ditentukan dengan perhitungan massa dikalikan dengan panas jenisnya. Sehingga harus dicari cara menentukan kapasitas panas kalorimeter Dewar secara eksperimen.

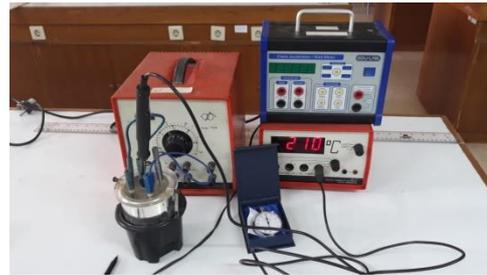
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kapasitas panas kalorimeter Dewar beserta perangkat pendukungnya, dengan menggunakan data pengukuran percobaan Hukum Joule.

2. METODA PENELITIAN

Metoda penelitian diawali dengan analisis aplikatif proses konversi energi listrik menjadi kalor yang didasarkan pada hukum Joule secara teoritis. Dengan mengacu pada analisis teoritis tersebut, penelitian dilanjutkan dengan eksperimen Tara Kalor Listrik menggunakan kalorimeter Dewar.

Perangkat utama eksperimen menggunakan peralatan di Laboratorium Fisika Terapan, Politeknik Negeri Bandung, yaitu kalorimeter Dewar (LH 366 48) beserta kumparan pemanas (LH 384 20), Pasok Daya Tegangan Rendah (LH 521 35), yang merupakan produksi dari Leybold-Heraeus GmBh, Jerman). Piranti pendukungnya adalah joulemeter, voltmeter, amperemeter, termometer digital, dan stopwatch. Perangkat peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.

Selanjutnya data eksperimen diolah menggunakan metoda regresi linear yang dilakukan di Laboratorium Fisika, Politeknik Negeri Bandung. Data diolah menggunakan metoda regresi linear, khususnya metoda kuadrat terkecil (*Least Square Method*) untuk mendapatkan tetapan regresi yang berkaitan dengan besaran kapasitas panas kalorimeter.



Gambar 1. Perangkat Alat Tara Kalor Listrik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kalorimeter Bejana Dewar

Kalorimeter Bejana Dewar (*Dewar Vessel*) terdiri atas bejana Dewar dengan tutupnya, yang dilengkapi pengaduk, termometer dalam, serta kumparan pemanas yang dapat dihubungkan dengan sumber tegangan atau pasok daya. Bejana dibatasi oleh dua dinding gelas, ruang diantara kedua dinding dihampa udarakan, bagian dalamnya dilapisi perak, dan bagian luarnya berada pada wadah plastik. Ruang antara kedua dinding akan meminimalisasi perpindahan panas secara konduksi maupun konveksi, sedang lapisan perak akan mencegah radiasi panas keluar.

Kalorimeter Bejana Dewar beserta perangkat yang ada padanya (tutup bejana, termometer, pengaduk, kumparan pemanas) mempunyai kapasitas panas tertentu C_D yang nilainya bervariasi, dan sering disebut sebagai Harga Air (*water equivalence*) dari kalorimeter . Menurut Hill, nilai kapasitas panas kalorimeter bergantung pada volume cairan yang mengisinya [1,4]. Dengan kata lain kapasitas panas kalorimeter berbanding lurus dengan massa cairan pengisinya sesuai Persamaan (1):

$$C_D = K m \quad (1)$$

dengan m adalah massa air dalam kalorimeter, dan K merupakan konstanta kesebandingan.

Kapasitas Panas Bejana Dewar dapat diukur dengan teknik penambahan air panas [4] atau dengan cara menempatkannya dalam oven adiabatik, kemudian memberinya energi melalui pemanas listrik selama tengat waktu tertentu dan mengukur kenaikan suhunya [4]. Namun dalam penelitian ini, nilai kapasitas panas kalorimeter ditentukan dengan menggunakan Percobaan Tara Kalor Listrik, atau yang lebih dikenal sebagai Hukum Joule.

3.2 Percobaan Hukum Joule

Hukum Pertama Joule, yang juga dikenal sebagai Hukum Joule – Lenz, menyatakan daya panas yang dibangkitkan oleh penghantar listrik sebanding dengan hasil perkalian resistansi listrik penghantar dengan pangkat dua kuat arus listrik yang melalui penghantar

tersebut. Resistansi listrik penghantar sama dengan perbedaan potensial listrik ujung-ujung penghantar dibagi kuat arus yang mengalirinya [1,2].

Percobaan Hukum Joule yang dilaksanakan sebagai bagian dari praktik mata kuliah Fisika bertujuan untuk menunjukkan adanya konversi energi dari energi listrik menjadi kalor, membuktikan Hukum Konservasi Energi, serta menentukan angka tara kalor listrik, yakni seberapa besar energi listrik (dalam satuan joule) yang sesuai dengan satu kalori energi kalor. Dengan demikian tara kalor listrik bersatuan joule/kalori, yang menurut berbagai literatur nilainya adalah 4,186 joule/kalori [1].

Secara mendasar, percobaannya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik melalui kumparan resistif (yang terbuat dari bahan penghantar listrik yang baik) yang dimasukkan ke dalam air dalam suatu wadah yang disebut kalorimeter.

Besaran-besaran yang diukur selama pengaliran arus listrik adalah kuat arus listrik (i), beda potensial ujung-ujung kumparan (V), massa air, waktu pemanasan serta suhu air. Pengukuran energi listrik dapat juga dilakukan sekaligus dengan pemberian tegangan melalui piranti *Joulemeter*, yang langsung menunjukkan pengukuran energi. Pengukuran suhu dilakukan dalam tengat-tengat waktu tertentu, sejak arus dialirkan hingga tengat waktu tertentu sesudah arus dihentikan. Besar energi listrik (W) yang diberikan pada penghantar adalah

$$W = V i t \quad (2)$$

Sesuai dengan pernyataan Hukum Joule, energi listrik tersebut diubah menjadi kalor (Q), sehingga :

$$Q = W \quad (3)$$

Persamaan (3) inilah yang harus dibuktikan melalui percobaan Hukum Joule.

Kalor yang dibangkitkan melalui penghantar digunakan untuk menaikkan suhu sistem tempat penghantar berada, yakni air dan kalorimeter, sehingga suhunya akan naik, dengan hubungan:

$$Q = (C_D + m c)(\Delta T) \quad (4)$$

atau

$$Q = (K + c) m (\Delta T) \quad (5)$$

Dengan c menyatakan kalor jenis air.

Secara eksperimen, besar kenaikan suhu adalah sama dengan selisih antara suhu akhir kalorimeter setelah arus listrik dihentikan (T_A) dengan suhu awal kalorimeter pada saat arus listrik mulai dialirkan pada penghantar (T_0).

$$\Delta T = T_A - T_0 \quad (6)$$

3.3 Penentuan Kapasitas Panas Kalorimeter Dewar

Dari persamaan (3) dan (5), diperoleh

$$W = (K + c) m (\Delta T) \quad (7)$$

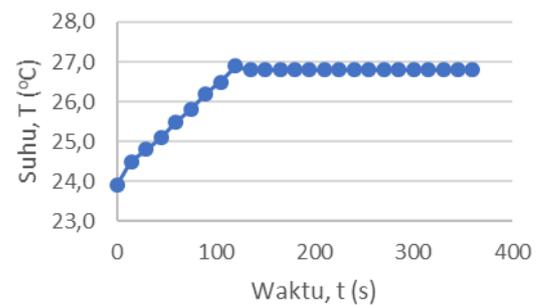
Hubungan antara W dengan ΔT merupakan persamaan linear, sehingga bila dibuat grafik antara W (ordinat, sumbu y) terhadap ΔT (absis, sumbu x) akan diperoleh garis lurus dengan kemiringan sebesar $m(K + c)$.

Dengan menggunakan Metoda Regresi Linear atau yang dikenal juga sebagai Metoda Kuadrat Terkecil (*Least Square Method*), maka nilai kemiringan grafik dapat dihitung secara lebih tepat, sehingga nilai Kapasitas Panas atau Harga Air kalorimeter (C_D) dapat ditentukan. Bila dianalogikan dengan persamaan linier $y = a + bx$, nilai koefisien b , dalam hal ini sama dengan $(K + c)m$, dapat ditentukan sebagai:

$$b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (8)$$

Setelah mengukur massa air dalam kalorimeter, percobaan Hukum Joule disini dilakukan melalui dua cara. Pertama, dengan mengukur beda potensial (V), kuat arus listrik (i), tengat waktu (t) serta suhu dalam kalorimeter (T) pada tengat-tengat waktu yang sudah ditentukan; termasuk pengukuran suhu setelah arus dimatikan. Kedua, sebagai ganti pengukuran V , i , dan t ; dilakukan pengukuran energi listrik (W) secara langsung menggunakan Joulemeter.

Dari percobaan cara pertama (Percobaan 1), dengan massa air sebesar 0,1485 kg, diperoleh data seperti terlihat pada Gambar 2.



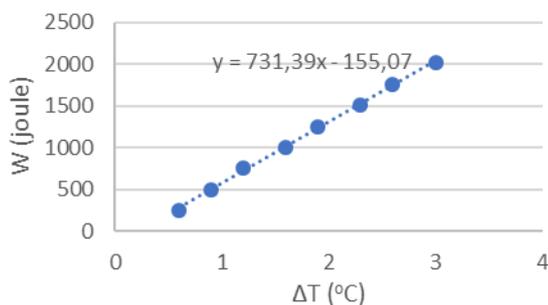
Gambar 2. Pengamatan suhu terhadap waktu pada percobaan 1

Dari hasil pengukuran suhu kalorimeter setelah arus listrik dihentikan, terlihat bahwa suhunya hampir konstan. Ada penurunan suhu yang sangat kecil dan terjadi dalam tengat waktu yang cukup besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kemampuan kalorimeter Dewar untuk menyekat kalor sangat baik, sehingga tidak diperlukan perhitungan koreksi Newton untuk menentukan perubahan suhu yang sesungguhnya [3,5,6].

Dari data yang dituangkan pada Gambar 2, kemudian dihitung energi listrik masing-masing, sehingga diperoleh data seperti pada Tabel 1, kemudian diolah dengan aplikasi Regresi Linear sehingga diperoleh seperti terlihat pada Gambar 3, dengan hasil kapasitas panas kalorimeter sebesar 109,8 J/°C. Bila diperhitungkan terhadap kapasitas panas total berdasarkan penyerapan seluruh kalor, maka kalorimeter berkontribusi sebesar 15,0 %.

Tabel 1. Data Pengamatan energi listrik terhadap perubahan suhu

Perubahan Suhu, ΔT (°C)	Energi Listrik, W (joule)
0.3	260
0.6	567
0.8	851
1.1	1145
1.5	1442
1.8	1741
2.1	2042
2.4	2344

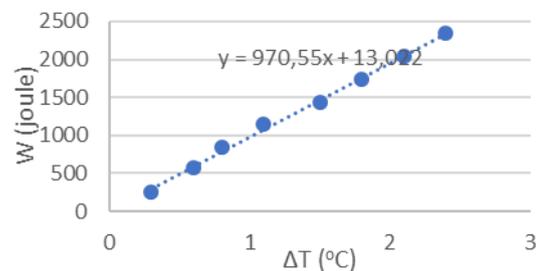


Gambar 3. Grafik energi listrik terhadap perubahan suhu, percobaan 1

Dari percobaan cara kedua (Percobaan 2), dengan massa air sebesar 0,1725 kg, diperoleh data seperti terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 4, dan diperoleh energi listrik terukur, tanpa mengukur beda potensial dan kuat arus, yang kemudian diolah dengan aplikasi Regresi Linear sehingga diperoleh kapasitas panas kalorimeter sebesar 248,4 J/°C. Bila diperhitungkan terhadap kapasitas panas total berdasarkan penyerapan seluruh kalor, maka kalorimeter berkontribusi sebesar 25,6 %.

Tabel 2 . Data pengamatan energi listrik terhadap perubahan suhu, percobaan 2

Perubahan Suhu, ΔT (°C)	Energi Listrik, W (joule)
0,3	260
0,6	567
0,8	851
1,1	1145
1,5	1442
1,8	1741
2,1	2042
2,4	2344



Gambar 4. Grafik energi listrik terhadap perubahan suhu, percobaan 2

Dari kedua hasil perhitungan kapasitas panas kalorimeter Dewar yang digunakan di Laboratorium Fisika Politeknik Negeri Bandung, terlihat bahwa nilai kapasitas panas kalorimeter Dewar bukan merupakan konstanta, namun bergantung pada massa air yang mengisi kalorimeter. Semakin besar massa air, semakin besar pula kapasitas panas kalorimeter. Hal ini hampir sejalan dengan penelitian Kenneth & Cole [4], yang menyatakan bahwa hingga batas tertentu dari volume kalorimeter yang terisi, kapasitas panasnya sebanding dengan ketinggian air di dalamnya. Namun masih harus diteliti lebih lanjut bentuk kebergantungan matematis nilai kapasitas panas kalorimeter terhadap massa air tersebut.

4. KESIMPULAN

Dalam percobaan-percobaan kalorimetri, perlu diketahui parameter-parameter termal media penerima kalor, dan parameter wadah beserta perangkat pendukungnya. Kapasitas panas kalorimeter tidak dapat diabaikan dalam perhitungan kalor yang dibangkitkan dalam setiap konversi energi. Kapasitas panas kalorimeter dapat ditentukan melalui percobaan Hukum Joule, dan nilainya tidak konstan namun bervariasi bergantung jumlah media utama penyerap kalor. Kalorimeter Dewar sangat efektif digunakan dalam

percobaan-percobaan kalorimetri karena kemampuan menyekat yang sangat baik.

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa kapasitas panas kalorimeter Dewar bergantung pada jumlah air di dalamnya, namun bentuk kebergantungannya masih harus ditentukan. Sebagai kelanjutan dari penelitian ini, disarankan penelitian berikutnya untuk menentukan hubungan matematis antara kapasitas panas kalorimeter dengan jumlah media utama penyerap kalor. Dalam hal ini media utama penyerap kalornya adalah air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. L. Horst and M. Weber, "Joule's experiment modified by Newton's Law of Cooling," *Am. J. Phys.*, 1984, doi: 10.1119/1.13937.
- [2] N. Yuningsih, "Optimasi Besaran Fisis yang mempengaruhi Proses Konversi Energi (Studi Kasus Percobaan Tara Kalor Mekanik dan Hukum Joule)," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 2018, vol. 7, pp. SNF2018-PA.
- [3] Sardjito and N. Yuningsih, "Determination of object temperature influenced by ambient temperature as a solution of the law of cooling or heating rates," in *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2331, no. 1, p. 30022, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0041799>.
- [4] S. Kenneth and R. H. Cole, "Heat Loss from Dewar Flasks," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 3, no. 11, pp. 684–686, 1932.
- [5] M. Gockenbach and K. Schmidtke, "Newton's law of heating and the heat equation," *Involv. a J. Math.*, 2009, doi: 10.2140/involve.2009.2.419.
- [6] S. S. Sazhin, V. A. Gol'dshtein, and M. R. Heikal, "A transient formulation of Newton's cooling law for spherical bodies," *J. Heat Transfer*, 2001, doi: 10.1115/1.1337650.