

Pengaruh Variasi Tegangan Listrik terhadap Besarnya Energi yang dilepaskan dan Kesetaraan Kalor Listrik dalam Kalorimeter

Adiba Hanif Khoirunnisa*, Khoirina Siti Nurdila, Irfan Annaafi Putra, dan Riki Perdana

Departemen Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu dan Pengetahuan Alam, Universitas Negeri

Yogyakarta Jalan Colombo No.1, Yogyakarta 55281, Indonesia

**Email: adibahanif.2024@student.uny.ac.id.*

Abstrak

Konversi energi listrik menjadi energi panas merupakan salah satu aplikasi penting dalam kehidupan sehari-hari yang bekerja berdasarkan prinsip hukum Joule dan asas Black. Dalam sistem kalorimeter, energi listrik yang dialirkan melalui elemen pemanas akan berubah menjadi energi panas dan diserap oleh air serta dinding kalorimeter. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan variasi tegangan listrik (5 V dan 7 V) untuk melihat pengaruhnya terhadap jumlah energi yang dilepaskan dan kesetaraan kalor listrik. Data diperoleh melalui pengukuran tegangan, arus, waktu pemanasan, dan perubahan suhu air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana variasi tegangan memengaruhi efisiensi konversi energi listrik menjadi panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin besar energi listrik yang dilepaskan dan kalor yang diserap oleh sistem. Nilai kesetaraan kalor listrik (γ) diperoleh melalui perbandingan antara energi listrik dan energi kalor, dengan nilai rata-rata sebesar 909,72 J/W. Meskipun belum ideal, hasil ini menunjukkan efisiensi konversi yang cukup baik dan mendukung prinsip kekekalan energi.

Kata-kata kunci: Kalor listrik, kalorimeter, asas Black, hukum Joule.

Abstract

The conversion of electrical energy into thermal energy is a key application in daily life, governed by Joule's law and the Black principle. In a calorimeter system, electric energy delivered through a heating element is converted into heat and absorbed by the water and calorimeter walls. This experimental study used varying voltage levels (5 V and 7 V) to observe their effect on the amount of energy released and the electrical-heat equivalence. Measurements included voltage, current, heating time, and temperature change of the water. The study aims to investigate how voltage variation influences the efficiency of energy conversion from electricity to heat. Results indicate that higher voltage increases both the electrical energy released and the heat absorbed. The electrical-heat equivalence (γ), obtained from the ratio of delivered electrical energy to absorbed heat energy, averaged at 909,72 J/W. Although not ideal, the findings demonstrate reasonably efficient energy conversion and reinforce the energy conservation principle.

Keywords : electric heat, calorimeter, Black principle, Joule's law

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi utama yang banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam sektor industri maupun rumah tangga. Salah satu aplikasinya adalah konversi energi yang dapat berubah dari satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya, namun harus tetap mematuhi Hukum Konservasi Energi, artinya tidak ada penciptaan atau pemusnahan energi. Sebagai contoh adalah perubahan energi listrik menjadi energi panas dalam perangkat seperti pada pemanas air dan kompor listrik. Proses ini bekerja berdasarkan hukum Joule, yang menjelaskan bahwa energi listrik yang mengalir melalui suatu penghantar akan berubah menjadi panas sesuai dengan kesetaraan energi listrik dengan kalor. [1,2]

Dalam prinsip kekekalan energi, jumlah energi listrik yang diberikan ke suatu sistem akan sama dengan jumlah energi panas yang dihasilkan. Namun, efisiensi dalam konversi energi ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah variasi tegangan listrik. Ketika tegangan listrik yang diberikan pada suatu sistem meningkat, jumlah energi listrik yang dilepaskan juga akan

bertambah. Energi listrik yang dilepaskan dinyatakan dengan persamaan (1) sebagai berikut.

$$W = VIt \quad (1)$$

Dimana W adalah energi listrik (joule), V adalah tegangan listrik (volt), I adalah arus listrik (ampere), dan t adalah waktu aliran listrik (sekon). Dari persamaan ini, terlihat bahwa energi listrik yang dilepaskan sebanding dengan tegangan yang diberikan. Peningkatan tegangan akan meningkatkan energi listrik yang dilepaskan, yang kemudian dikonversi menjadi energi panas dalam kalorimeter.

Berdasarkan azas Black bahwa panas/kalor yang dilepas sama dengan panas/kalor yang diterima, maka energi listrik yang dilepas akan diterima oleh air dalam kalorimeter dan kalorimeter (termasuk pengaduk) itu sendiri, sehingga akan terjadi perubahan panas pada air dan kalorimeter. Selanjutnya energi panas yang diterima oleh air dan kalorimeter dapat dihitung menggunakan persamaan azas Black yang dirumuskan pada persamaan (2)

$$Q = (m_k \times c_k + m_a \times c_a) \times \Delta T \quad (2)$$

Di mana Q adalah jumlah kalor (kalori), m_k dan m_a adalah massa kalorimeter dan air (gram), c_k dan c_a adalah kalor jenis kalorimeter dan air ($\text{kal/g}^\circ\text{C}$), serta ΔT adalah perubahan suhu ($^\circ\text{C}$). Dengan meningkatnya energi listrik yang dilepaskan akibat peningkatan tegangan, energi panas yang diterima oleh air dan kalorimeter juga meningkat, menyebabkan kenaikan suhu yang lebih besar.

Pemahaman tentang konversi energi listrik menjadi energi panas sangat bergantung pada prinsip kekekalan energi dan Asas Black. Proses ini melibatkan pelepasan energi listrik oleh sistem pemanas, yang kemudian diserap oleh air dan kalorimeter, menghasilkan perubahan suhu pada keduanya. Oleh karena itu, variasi tegangan listrik memiliki dampak langsung terhadap efisiensi konversi energi dalam sistem pemanasan, seperti pada kalorimeter.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tegangan listrik terhadap besarnya energi yang dilepaskan serta kesetaraan kalor listrik dalam kalorimeter. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji bagaimana variasi tegangan dapat mempengaruhi efisiensi sistem pemanasan dalam kalorimeter serta relevansinya dengan prinsip kekekalan energi dan Asas Black.

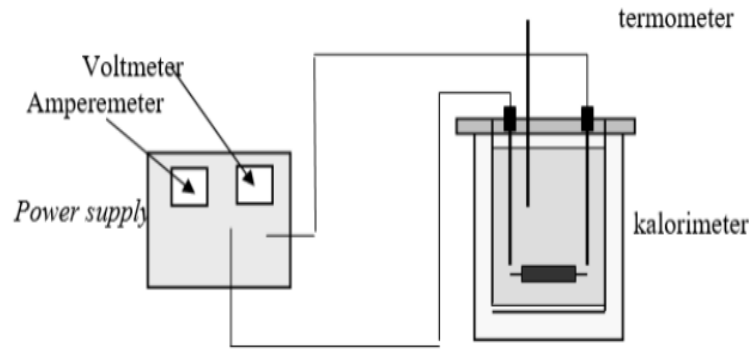
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan kalorimeter untuk mengukur jumlah energi panas yang diterima air akibat energi listrik yang dilepaskan oleh elemen pemanas. Tahapan penelitian ini mencakup persiapan alat dan bahan, desain eksperimen, prosedur pelaksanaan, serta metode pengujian dan pengambilan data.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Kalorimeter berbahan aluminium
2. Sumber daya listrik (power supply DC)
3. Kawat tahanan sebagai elemen pemanas
4. Amperemeter dan voltmeter untuk mengukur arus dan tegangan listrik
5. Stopwatch untuk mencatat waktu pemanasan
6. Termometer digital untuk mengukur perubahan suhu
7. Air dengan massa yang telah ditentukan

Percobaan ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian listrik yang terdiri dari kalorimeter, elemen pemanas, sumber daya listrik, serta alat ukur seperti amperemeter dan voltmeter. Tegangan listrik yang diberikan bervariasi untuk mengamati pengaruhnya terhadap energi yang dilepaskan dan energi panas yang diterima oleh kalorimeter.



Gambar 1. Skema rangkaian percobaan

Langkah-langkah percobaan dilakukan dengan terlebih dahulu menimbang kalorimeter dalam keadaan kosong dan mencatat massanya. Setelah itu, kalorimeter diisi dengan air hingga mencapai massa yang telah ditentukan, kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh massa air secara akurat. Selanjutnya, sistem listrik dirangkai sesuai dengan skema yang telah disediakan. Tegangan pada power supply diatur sesuai dengan variasi yang telah ditentukan, lalu power supply dihidupkan dan waktu mulai percobaan dicatat menggunakan stopwatch. Air dalam kalorimeter diaduk secara perlahan agar distribusi panas merata. Perubahan suhu dicatat pada interval waktu tertentu menggunakan termometer digital. Setelah suhu air meningkat secara signifikan, power supply dimatikan dan suhu akhir dicatat. Percobaan diulang dengan variasi tegangan yang berbeda untuk memperoleh data yang lebih akurat.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini mencakup:

Data yang digunakan untuk menghitung energi listrik yang dilepaskan menggunakan persamaan:

$$W = VIt$$

Keterangan:

- V = tegangan listrik (volt)
- I = kuat arus listrik (ampere)
- t = waktu pemanasan (sekon)

Suhu awal dan suhu akhir air dalam kalorimeter (T_0 dan T_1)

Massa air dan kalorimeter (m)

Selain itu, energi panas yang diterima kalorimeter dan air dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = (m_k \times c_k + m_a \times c_a) \times \Delta T \text{ dengan:}$$

Keterangan:

- m_k = massa kalorimeter (gram)
- c_k = kalor jenis kalorimeter (kal/g°C)
- m_a = massa air (gram)
- c_a = kalor jenis air (kal/g°C)
- ΔT = perubahan suhu (°C)

Kesetaraan kalor listrik dalam kalorimeter dihitung menggunakan:

$$\gamma = \frac{W}{Q}$$

Hasil dari percobaan ini dianalisis untuk melihat hubungan antara variasi tegangan listrik terhadap jumlah energi yang dilepaskan serta kesetaraan kalor listrik dalam kalorimeter. .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen mengenai kesetaraan kalor listrik ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dilepaskan ke dalam kalorimeter, menghitung jumlah energi panas yang diserap oleh sistem (air dan kalorimeter), serta menentukan nilai perbandingan antara energi listrik yang diberikan dengan kalor yang dihasilkan (kesetaraan kalor-listrik). Dalam kegiatan ini, terdapat tiga jenis variabel yang digunakan, yaitu tegangan dan arus listrik sebagai variabel bebas, nilai kesetaraan kalor-listrik sebagai variabel terikat, dan air serta kalorimeter berperan sebagai variabel kontrol. Ketika arus listrik mengalir melalui elemen pemanas, energi listrik yang diberikan akan dialihkan menjadi energi panas yang kemudian diserap oleh air dan dinding kalorimeter. Data hasil percobaan yang mendukung tujuan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Percobaan

No	m_k (gram)	m_a (gram)	V (volt)	I (A)	t (menit)	T (°C)
1	148	291,5	5	0,37	2	26,5
2	148	291,5	5	0,37	4	27,0
3	148	291,5	5	0,37	6	27,0
4	148	291,5	5	0,37	8	27,0
5	148	291,5	7	0,62	2	28,0
6	148	291,5	7	0,62	4	29,0
7	148	291,5	7	0,62	6	29,0
8	148	291,5	7	0,62	8	30,0

Tabel 2. Besar Energi Listrik

Data Ke-	Menit Ke-	$(w \pm \Delta w)$ Joule
0,37	2	$(0,222 \pm 0,006)$
0,37	4	$(0,444 \pm 0,011)$
0,37	6	$(0,666 \pm 0,017)$
0,37	8	$(0,888 \pm 0,023)$
0,62	2	$(0,446 \pm 0,008)$
0,62	4	$(0,892 \pm 0,017)$
0,62	6	$(1,339 \pm 0,025)$
0,62	8	$(1,785 \pm 0,034)$

Menurut asas Black, jumlah panas yang dilepaskan akan sama dengan panas yang diterima. Dalam konteks ini, energi listrik yang dihasilkan oleh elemen pemanas akan diserap oleh air di dalam kalorimeter serta oleh dinding kalorimeter dan pengaduknya. Untuk memastikan suhu tersebar secara merata selama proses pemanasan, pengaduk digunakan agar pencampuran zat berjalan merata, khususnya saat terjadi perbedaan suhu akibat pemanasan. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, dapat diamati bahwa suhu air dalam kalorimeter mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu dan energi listrik yang masuk ke sistem. Hal ini memperlihatkan bahwa energi listrik yang masuk ke sistem sebanding dengan energi panas yang diterima, yang sejalan dengan prinsip asas Black. Semakin besar energi listrik yang diberikan, semakin besar pula panas yang diserap oleh sistem, ditandai dengan kenaikan suhu pada air dan kalorimeter.

Eksperimen ini dilakukan dengan delapan kali pengambilan data yang menggunakan dua variasi tegangan, yakni 5 Volt dan 7 Volt, dan dengan waktu pemanasan yang divariasikan setiap dua menit, mulai dari menit ke-2 hingga menit ke-8. Pada tegangan 5 Volt dengan arus sebesar 0,37 Ampere, suhu awal air dicatat sebesar 26,5°C dan meningkat menjadi 27,0°C setelah pemanasan selama 4 menit, lalu cenderung tetap setelah itu. Sebaliknya, saat menggunakan tegangan 7 Volt dan arus 0,62 Ampere, suhu awal berada di 28,0°C dan meningkat secara bertahap hingga mencapai 30,0°C pada menit ke-8. Energi listrik yang masuk ke dalam sistem dihitung menggunakan rumus $W = VIt$, dan hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 2. Sebagai contoh, untuk tegangan 5 Volt selama 2 menit, energi listrik yang dihantarkan adalah sekitar $(0,222 \pm 0,006)$ kJ. Sedangkan pada

kondisi tegangan 7 Volt dengan durasi 8 menit, jumlah energi yang dihantarkan naik menjadi $(1,785 \pm 0,034)$ kJ. Dari data tersebut, terlihat bahwa jika besar tegangan dan arus dijaga tetap, maka energi listrik yang dihantarkan akan sebanding dengan lama waktu pemanasan. Makin lama durasi pemanasan, makin besar pula energi listrik yang dilepaskan ke sistem. Temuan ini memperlihatkan adanya hubungan linier antara waktu dan energi listrik yang dilepaskan, dan sekaligus memperkuat konsep dasar konversi energi dalam hukum Joule dan asas Black.

Tabel 3. Besar Energi Kalor

Data Ke-	Menit Ke-	$(Q \pm \Delta Q)$ Joule
0,37	2	$(322,58 \pm 161,35)$
0,37	4	$(483,87 \pm 161,38)$
0,37	6	$(483,87 \pm 161,38)$
0,37	8	$(483,87 \pm 161,38)$
0,62	2	$(483,87 \pm 161,38)$
0,62	4	$(806,45 \pm 161,44)$
0,62	6	$(1.129,03 \pm 161,50)$
0,62	8	$(1.129,03 \pm 161,50)$

Kalor yang diterima oleh sistem dalam percobaan ini merupakan hasil dari perubahan arus dan tegangan listrik yang diberikan, yang ditunjukkan oleh kenaikan suhu secara bertahap pada setiap durasi pemanasan. Perhitungan kalor dilakukan menggunakan rumus:

$$Q = (m_k \times c_k + m_a \times c_a) \times \Delta T$$

dengan m_k dan m_a sebagai massa kalorimeter dan air, sedangkan c_k dan c_a merupakan kalor jenis masing-masing bahan. Nilai hasil perhitungan besar kalor yang diserap dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil tersebut, pada tegangan 5 Volt selama 2 menit, jumlah kalor yang diserap tercatat sebesar $(322,58 \pm 161,35)$ Joule. Sementara pada waktu 4, 6 dan 8 menit, nilai kalor cenderung tidak berubah banyak, yaitu sekitar $(483,87 \pm 161,38)$ Joule. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun energi listrik tetap dialirkan, suhu tidak mengalami peningkatan setelah titik tertentu.

Sebaliknya, dengan tegangan 7 Volt, perubahan suhu berlangsung lebih stabil dari waktu ke waktu. Pada menit ke-2, sistem menyerap sekitar $(483,87 \pm 161,38)$ Joule, yang kemudian meningkat menjadi $(806,45 \pm 161,44)$ Joule pada menit ke-4, dan mencapai $(1.129,03 \pm 161,50)$ Joule pada menit ke-6 dan 8. Nilai kesetaraan kalor-listrik yang merupakan hasil dari perbandingan antara energi listrik dan kalor yang diterima ditampilkan dalam Tabel 4. Misalnya, pada menit ke-8 dengan tegangan 7 Volt, nilai kesetaraan tercatat sebesar $(0,00158 \pm 0,00026)$. Nilai ini menunjukkan adanya peningkatan efisiensi dalam proses konversi energi seiring dengan naiknya tegangan, walaupun sebagian energi listrik tetap hilang dan tidak seluruhnya dikonversi menjadi kalor karena pengaruh lingkungan sekitar.

Tabel 4. Besar Kesetaraan Kalor

Data Ke-	W (J)	Q (Kal)	γ
0,37	0,222	322,58	1453,06
0,37	0,444	483,87	1089,08
0,37	0,666	483,87	726,54
0,37	0,888	483,87	544,95
0,62	0,446	483,87	1084,53
0,62	0,892	806,45	903,87
0,62	1,339	1.129,03	843,18
0,62	1,785	1.129,03	632,49

Dari hasil percobaan, terlihat adanya hubungan langsung antara energi listrik yang diberikan ke sistem dan jumlah panas (kalor) yang dihasilkan. Energi listrik tersebut digunakan untuk memanaskan air dan kalorimeter melalui elemen pemanas yang menyebabkan suhu air meningkat, sehingga

menjadi tanda bahwa kalor sedang diserap oleh sistem. Semakin besar tegangan dan arus yang digunakan, maka semakin banyak energi listrik yang masuk, dan otomatis energi panas yang diterima oleh air dan kalorimeter juga semakin besar. Secara teori, hal ini sesuai dengan hukum Joule dan asas Black, yang menjelaskan bahwa energi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan, tetapi bisa diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya dalam hal ini dari energi listrik menjadi panas.

Dapat dilihat dari data secara angka, maka tidak semua energi listrik berhasil berubah menjadi kalor yang bisa diukur. Hal ini terlihat dari nilai kesetaraan kalor listrik (γ) yang selalu lebih kecil dari 1. Artinya, sebagian energi listrik hilang selama proses pemanasan berlangsung. Kehilangan ini bisa disebabkan oleh panas yang keluar dari sistem ke udara sekitar, kesalahan pengukuran, atau karena alat yang digunakan kurang akurat. Meski demikian, nilai γ yang terus meningkat seiring waktu menunjukkan bahwa alat bekerja dengan baik dan hasil percobaan masih masuk akal.

Kesetaraan kalor listrik sendiri menunjukkan seberapa besar efisiensi perubahan energi dari listrik menjadi panas. Faktor-faktor seperti lingkungan sekitar, bahan alat, dan ketelitian pengukuran sangat memengaruhi hasil. Oleh karena itu, hasil percobaan ini tidak hanya memperlihatkan hubungan antara energi listrik dan kalor, tetapi juga pentingnya memahami pengaruh kondisi nyata dalam proses perubahan energi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa eksperimen mengenai kesetaraan kalor listrik berhasil mencapai tujuan yang diharapkan. Energi listrik yang dilepaskan ke dalam kalorimeter dihitung menggunakan persamaan $W = VIt$, dengan rata-rata energi listrik yang diperoleh sebesar 0,835 kJ. Energi panas (kalor) yang diserap oleh sistem, yaitu air dan kalorimeter, juga berhasil ditentukan dan menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya energi listrik yang diberikan, sesuai dengan prinsip asas Black. Selain itu, nilai kesetaraan kalor-listrik yang diperoleh dari perbandingan antara energi listrik dan energi kalor menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan cukup efisien, dengan nilai rata-rata sebesar 909,72 J/W. Nilai ini relatif mendekati nilai teoritis kesetaraan kalor, yaitu sekitar 4,2 J/cal atau setara dengan 1.000 J/W, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil percobaan memiliki tingkat ketelitian yang baik. Meskipun nilai ini belum ideal (belum mencapai 1), tren data menunjukkan hubungan yang sesuai dengan teori konversi energi, yaitu semakin besar energi listrik yang diberikan, maka semakin besar pula kalor yang dihasilkan. Faktor kehilangan panas ke lingkungan dan keterbatasan alat ukur menjadi penyebab utama nilai kesetaraan tidak sempurna, namun secara keseluruhan percobaan ini menunjukkan hasil yang konsisten dan mendukung teori yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. O. Kabil, "Philosophy in Physics Education," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 197, pp. 675–679, July 2015. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.07.057
- [2]. N. Kassem, C. R. Galantino, J. W. Tester, C. L. Anderson, and M. C. Moore, "Moving toward a framework for electricity and heat equivalence in energy systems analysis," *iScience*, vol. 24, no. 10, p. 103123, Oct. 2021. DOI: 10.1016/j.isci.2021.103123
- [3]. J. L. Horst and M. Weber, "Joule's experiment modified by Newton's Law of Cooling," *American Journal of Physics*, vol. 52, no. 7, pp. 620–622, July 1984. DOI: 10.1119/1.13937
- [4]. W. Prabaningrum and R. Perdana, "Analisis Hubungan Kesetaraan antara Energi Listrik dan Energi Panas (Kalor-Listrik) dalam Kalorimeter," *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*, vol. 11, no. 2, pp. 1–6, 2024. DOI: 10.21831/jifta.v11i2.21341
- [5]. S. Sardjito and N. Yuningsih, "Penentuan kapasitas panas kalorimeter bejana dewar menggunakan percobaan konversi energi listrik menjadi kalor sesuai hukum joule," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 12, pp. 805–809, Sept. 2021. DOI: 10.35313/irwns.v12i1.2801
- [6]. 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)*, vol. 7, pp. SNF2018–PA, 2018. DOI: 10.21009/03.SNF2018.02.PA.10