

Koreksi Suhu Kalorimeter sebagai Konsekuensi Laju Pendinginan oleh Suhu Lingkungan pada Percobaan Tara Kalor Mekanik

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

Tara Kalor Mekanik merupakan satu modul praktikum fisika yang bertujuan membuktikan Hukum Kekekalan Energi. Dalam percobaan ini diukur suhu kalorimeter. Suhu yang terukur bukan merupakan suhu fisik kalorimeter karena suhu terukur merupakan resultan suhu kalorimeter dengan pengaruh laju pendinginan oleh lingkungan yang suhunya lebih rendah dari pada suhu kalorimeter. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi terhadap suhu kalorimeter. Untuk menentukan koreksi terhadap suhu kalorimeter, dilakukan analisis terhadap model persamaan diferensial dari Hukum Laju Pendinginan Newton. Hasilnya menunjukkan bahwa fungsi suhu benda terhadap waktu berbentuk eksponensial. Solusi model teoritis tersebut dicocokkan dengan data empirik yang diperoleh melalui eksperimen. Konstanta kesebandingan (k) dalam model ini ditentukan terlebih dahulu dari syarat awal dan syarat batas hasil pengukuran suhu benda pada keadaan kalorimeter dibiarkan mendingin, tanpa adanya usaha luar, kemudian diaplikasikan untuk menghitung koreksi suhu benda pada saat menerima energi mekanik, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung kalor. Nilai kalor lalu dibandingkan dengan usaha mekanik. Hasil perbandingan kalor setelah melalui koreksi Newton dengan usaha mekanik lebih mendekati nilai sesungguhnya yang sesuai teori daripada sebelum menggunakan koreksi. Didapatkan bahwa perhitungan koreksi Newton yang optimal adalah pada saat menggunakan acuan suhu benda pada pertengahan tengat waktu pengamatan.

Kata Kunci

Laju Pendinginan, Koreksi Newton, Pengaruh lingkungan, Tara Kalor Mekanik

1. PENDAHULUAN

Konversi energi merupakan topik yang sangat penting, terutama pada masa-masa sumber energi konvensional mulai sukar diperoleh. Menurut konsep konversi energi, energi dapat berubah dari satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya, tetapi harus mematuhi Hukum Kekekalan (konservasi) energi, artinya tak ada penciptaan atau pemusnahan energi. Sebagai contoh praktis adalah perubahan energi mekanik menjadi energi panas (kalor), yang sering dikenal dengan istilah Tara kalor mekanik, yaitu kesetaraan energi mekanik dengan energi panas. Kesetaraan ini pada dasarnya menunjukkan jumlah energi panas yang dihasilkan sama dengan jumlah energi mekanik. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat dimusnahkan dan diciptakan melainkan hanya dapat diubah dari suatu bentuk energi ke bentuk energi yang lain.

Untuk memahami konsep perubahan energi secara utuh, maka perlu dilakukan pengujian percobaan, baik untuk menentukan besarnya energi mekanik maupun untuk menentukan besarnya kalor. Pada saat menentukan besar kalor, perlu dihitung secara pasti,

besar perubahan suhu benda. Perubahan suhu benda yang dimaksud dalam hal ini bukan hanya sekedar perubahan suhu yang terukur, karena suhu benda berbeda dengan suhu lingkungan. Suhu benda yang terukur oleh termometer, merupakan resultan antara suhu benda dengan suhu lingkungan, sementara yang digunakan untuk menghitung kalor adalah suhu benda yang tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan. Oleh karena itu perlu diperhitungkan koreksi suhu yang mengikuti Hukum Newton untuk laju pendinginan pada saat menghitung energi panas/kalor. Koreksi Newton adalah suatu cara untuk melakukan koreksi pengaruh suhu lingkungan terhadap suhu benda pada saat suhu benda lebih besar atau lebih kecil daripada suhu lingkungan [1][2].

Hukum Newton tentang pendinginan menyatakan bahwa laju pendinginan berbanding lurus dengan selisih suhu benda dengan suhu ruangan [3]. Penurunan suhu pada pendinginan mengikuti kurva yang bergantung pada fungsi suhu lingkungan terhadap waktu.

Penentuan koreksi Newton dilakukan dengan mengamati suhu benda pada saat percobaan sampai

beberapa saat sesudah percobaan selesai. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana bentuk kebergantungan suhu benda terhadap waktu karena adanya pengaruh suhu lingkungan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari pada suhu benda. Selama ini dalam praktek Fisika yang menyangkut termofisika dilakukan dengan menganggap bahwa bentuk fungsi antara suhu terhadap waktu adalah linear, sehingga jika digambarkan dalam grafik suhu terhadap waktu akan berupa garis lurus [1]. Pendekatan fungsi linear ini tentu saja tidak sepenuhnya tepat, karena tidak memiliki dasar ilmiah yang pasti [4][5][6]. Karenanya penelitian ini bertujuan untuk menentukan formulasi koreksi Newton yang optimal sebagai dasar penentuan selisih suhu kalorimeter yang akan digunakan untuk menghitung besarnya kalor yang dibangkitkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metoda yang digunakan adalah tinjauan matematis terhadap Hukum Laju Pendinginan sebagai interaksi model adanya perbedaan antara suhu benda dengan suhu lingkungan, yang dilanjutkan dengan mengembangkan model dan solusi yang diperoleh untuk diaplikasikan pada proses pemanasan benda untuk memperoleh selisih suhu yang sesungguhnya. Kemudian hasil perhitungan matematis ini diuji melalui pencocokan dengan data empiris yang diperoleh dari eksperimen Tara Kalor Mekanik di Laboratorium Fisika Politeknik Negeri Bandung. Kalorimeter yang digunakan adalah kalorimeter aluminium pejal berdiameter 46,8 mm dan memiliki kapasitas panas 188 J/K.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Percobaan Tara Kalor Mekanik

Percobaan Tara Kalor Mekanik yang dilaksanakan sebagai bagian dari praktik mata kuliah Fisika bertujuan untuk menunjukkan adanya konversi energi dari energi mekanik menjadi panas, serta membuktikan Hukum Konservasi Energi. Sebuah kalorimeter logam berbentuk silinder (pejal atau berongga yang diisi air) yang licin permukaannya, dipasang pada suatu sumbu tertentu yang dapat diputar secara manual. Kalorimeter dililiti tali yang kuat dan tali tersebut digantungi beban bermassa tertentu. Dengan demikian, kalorimeter mengalami gaya gesekan oleh tali sebesar gaya berat beban. Jika kalorimeter diputar sebanyak N putaran maka usaha mekanik karena gesekan tali terhadap kalorimeter, dapat dinyatakan sebagai

$$W = mgN\pi d \quad (1)$$

Dengan m menyatakan massa beban, g menyatakan percepatan gravitasi, dan d menyatakan diameter kalorimeter.

Menurut prinsip konversi energi, usaha mekanik tersebut diubah menjadi panas atau kalor, sebesar Q , yang dibangkitkan dalam kalorimeter, sehingga suhu kalorimeter akan naik, sebesar

$$\Delta T = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

dengan C menyatakan kapasitas panas kalorimeter beserta isinya.

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

$$\Delta T = T_A - T_0 \quad (3)$$

Menurut Hukum Kekekalan Energi, jika proses konversi energinya ideal, maka besar usaha mekanik akan sama dengan panas,

$$W = Q \quad (4)$$

Ketepatan pembuktian persamaan 4 secara empirik, sangat ditentukan oleh ketepatan nilai kenaikan suhu kalorimeter, yang tentunya sangat ditentukan oleh ketepatan pengukuran suhu kalorimeter. Yang dimaksud dengan ketepatan pengukuran suhu bukan hanya ketepatan pembacaan oleh alat ukur, tetapi juga ketepatan suhu kalorimeter yang sesungguhnya jika tak ada pengaruh suhu lingkungan. Hal inilah yang selanjutnya memerlukan koreksi suhu menggunakan Hukum Newton.

3.2 Laju Penurunan Suhu Benda Akibat Suhu Lingkungan yang Lebih Rendah

Apabila suhu suatu benda berbeda dengan suhu lingkungan disekitarnya, maka suhu benda tersebut akan dipengaruhi oleh lingkungan dalam bentuk perubahan suhu. Laju perubahan suhu sebanding dengan perbedaan suhu benda dengan suhu lingkungan. Hal ini dikenal sebagai Hukum Laju Pendinginan Newton [2][4][5]. Jika T adalah suhu benda, L adalah suhu lingkungan, dan t adalah waktu, maka hukum tersebut secara matematis dapat dituliskan sebagai :

$$\frac{dT}{dt} = k(L - T) \quad (5)$$

dengan k tetapan kesebandingan yang bernilai positif.

Secara umum, kurang tepat apabila dianggap $dT = \Delta T$ dan $dt = \Delta t$. Karena suhu benda, T , berubah setiap saat, maka nilai $L - T$ pun berubah setiap saat, sehingga nilai $L - T$ merupakan fungsi dari waktu t . Jika persamaan (5) dituliskan dengan mengumpulkan peubah suhu dalam satu ruas, akan diperoleh:

$$\frac{dT}{(L-T)} = k dt \quad (6)$$

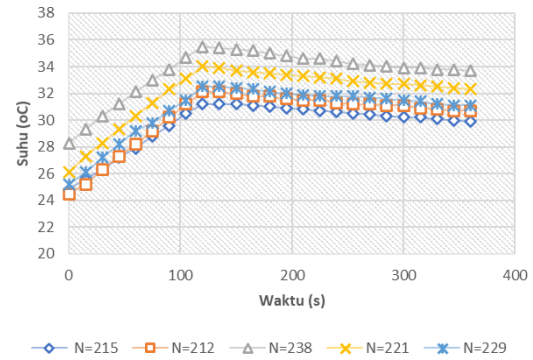
Solusi dari persamaan (6) untuk kondisi suhu lingkungan yang konstan adalah

$$T = L + Ae^{-kt} \quad (7)$$

dengan A dan k merupakan bilangan konstan.

Persamaan (7) dapat digunakan untuk menentukan suhu benda setiap saat sebagai akibat dari lebih rendahnya suhu lingkungan, dengan syarat suhu lingkungan konstan. Hal ini dapat diaplikasikan pada pengamatan percobaan dengan selang waktu yang relatif singkat, sehingga suhu lingkungan dapat dianggap konstan [2][7]. Sementara itu tetapan kesebandingan k dapat ditentukan terlebih dahulu dari pengukuran suhu benda pada kondisi awal dan akhir, pada saat tak ada penambahan atau pengurangan energi dalam bentuk lain selain karena pengaruh suhu lingkungan [8]. Sedang konstanta A ditentukan dari syarat awal, yakni kondisi suhu awal pengamatan dan suhu lingkungan.

Pada pelaksanaan percobaan, kalorimeter yang dililiti tali yang digantungi beban 5 kg dan calorimeter berputar sedemikian rupa sehingga beban tidak ikut bergerak naik. Suhu kalorimeter diamati saat diputar pada setiap selang waktu 15 detik selama 120 detik. Setelah diperoleh jumlah putaran selama 120 detik, pemutaran dihentikan, namun pengamatan suhu terus dilakukan, hingga kalorimeter benar-benar menjadi dingin. Gambar 1 memperlihatkan grafik antara suhu kalorimeter terhadap waktu, sejak mulai diputar (suhu awal), hingga putaran dihentikan (suhu tertinggi), dan dibiarkan mendingin tanpa diputar [1][6].



Gambar 1. Suhu kalorimeter aluminium pejal setiap saat pada percobaan Tara Kalor Mekanik

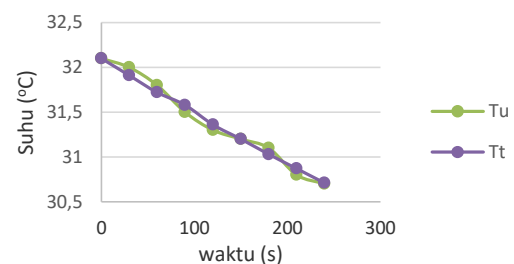
Suhu kalorimeter mencapai maksimum pada bagian akhir dari pemberian usaha mekanik, setelah itu kalorimeter dibiarkan mendingin tanpa ada penambahan energi apapun. Dalam keadaan ini, suhu kalorimeter yang diamati setiap selang waktu tersebut teramati bahwa suhu kalorimeter menurun. Hal ini membuktikan bahwa suhu lingkungan yang lebih rendah dari suhu kalorimeter berpengaruh kuat terhadap suhu kalorimeter. Dari data penurunan suhu tersebut, dengan menggunakan persamaan (7), dihitung tetapan kesebandingan k sebagai:

$$k = \frac{\ln\left[\frac{T_1-L}{T_2-L}\right]}{t} \quad (8)$$

dengan T_1 dan T_2 berturut-turut adalah pembacaan suhu terukur yang berselang waktu t [7][8][9].

Selanjutnya dihitung nilai suhu terkoreksi dengan menggunakan persamaan (7), kemudian hasilnya dibandingkan dengan nilai suhu terukur, sebagaimana terlihat pada Gambar 2 untuk satu set sampel pengamatan.

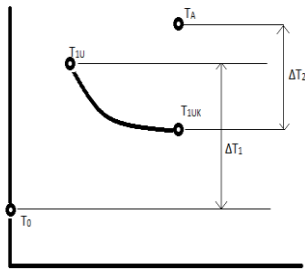
Dari Gambar 2, terlihat bahwa hasil perhitungan teoritis cukup handal, karena mendekati bahkan beberapa angka sama dengan hasil pengukuran,



Gambar 2. Suhu terhitung (T_t) dan Suhu Terukur (T_u) pada saat pendinginan

Hasil penentuan konstanta k dari data pendinginan ini diaplikasikan untuk data pengamatan suhu saat kalorimeter diberi usaha mekanik, yakni saat kalorimeter diputar sambil dibebani. Dalam proses inilah, tujuan percobaan Tara Kalor Mekanik hendak dicapai, yakni perhitungan perbandingan antara besar usaha mekanik dengan besar panas yang terjadi pada kalorimeter.

Sebelum menggunakan koreksi Newton, maka kenaikan suhu ΔT yang harus disubstitusikan pada perhitungan panas Q adalah selisih T_A dan T_o . T_A adalah suhu akhir terbesar yang terbaca sesaat sebelum usaha mekanik yang dilakukan terhadap kalorimeter dihentikan. T_o adalah suhu awal kalorimeter sebelum diputar/sebelum dilakukan usaha mekanik dan T_o ini nilainya diasumsikan sama dengan suhu lingkungan L . Ilustrasi perhitungan koreksi Newton untuk kenaikan suhu kalorimeter dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik antara suhu terhadap waktu

Selama kalorimeter diputar, suhunya diamati terus pada selang waktu tertentu, sebutlah suhu yang teramati adalah T_{iu} ($i = 1, 2, 3, \dots$). Selisih suhu pengamatan saat tertentu dengan suhu awal adalah ΔT_{1i}

$$\Delta T_{1i} = T_{iu} - T_o \quad (9)$$

Dari Gambar 3 tampak bahwa nilai-nilai T_i lebih besar dari suhu lingkungan L , sehingga koreksi laju pendinginan harus dilakukan terhadap T_{iu} . Koreksi dilakukan dengan asumsi menentukan suhu T_{iu} yang sudah terpengaruh oleh suhu lingkungan pada waktu suhu akhir T_A tercapai. Dengan demikian berarti T_A adalah suhu akhir yang juga sudah dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Nilai suhu T_i yang terbaca pada alat ukur (T_{iu}) dikoreksi oleh persamaan 7 menjadi T_{iuk} , yaitu:

$$T_{uK} = T_o + (T_u - T_o)e^{-kt} \quad (10)$$

Selanjutnya dihitung selisih antara suhu akhir dengan suhu pengamatan terkoreksi pada tengat tertentu sebagai

$$\Delta T_2 = T_A - T_{uK} \quad (11)$$

Maka kenaikan suhu kalorimeter selama proses pemberian usaha mekanik adalah

$$\Delta T_s = \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad (12)$$

Yang selanjutnya digunakan untuk menghitung panas yang dibangkitkan dalam kalorimeter

$$Q = C (\Delta T_s) \quad (13)$$

Perhitungan selisih suhu ini dilakukan dengan iterasi untuk seluruh T_i . Hasil perhitungan koreksi Newton tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah nilai kenaikan suhu diperoleh, kemudian dihitung nilai panas yang dibangkitkan (Q), selanjutnya dibandingkan dengan usaha mekanik (W).

Tabel 1. Perhitungan kenaikan suhu kalorimeter dengan menggunakan koreksi Newton

t [s]	T_{iu} [°C]	T_{iuk} [°C]	ΔT_{1i} (°C)	ΔT_{2i} (°C)	ΔT_{si} (°C)	Q / W
0	24,50					
15	25,20	25,14	0,70	6,96	7,66	0,921
30	26,30	26,17	1,80	5,93	7,73	0,930
45	27,30	27,13	2,80	4,97	7,77	0,934
60	28,20	28,02	3,70	4,08	7,78	0,936
75	29,20	29,02	4,70	3,08	7,78	0,936
90	30,20	30,06	5,70	2,04	7,74	0,931
105	31,20	31,12	6,70	0,98	7,68	0,924
120	32,10					

Rasio Q/W sesuai dengan Hukum Kekekalan Energi secara teoritis bernilai 1 (satu) [6][10]. Dari tabel 1 terlihat bahwa rasio Q / W , setelah menggunakan koreksi Newton yang mengikuti formulasi persamaan 9 hingga 12, lebih mendekati nilai teoritis yang sesungguhnya, dibandingkan dengan perhitungan rasio tersebut tanpa koreksi Newton (0,914). Nilai rasio yang terbaik diperoleh pada saat menggunakan dasar perhitungan suhu terukur (T_u) pada pertengahan tengat waktu pengamatan.

4. KESIMPULAN

Suhu benda yang berbeda dengan suhu lingkungan apabila tidak diberi energi untuk mempertahankannya, dengan berjalannya waktu, akan dipengaruhi oleh lingkungan sehingga cenderung menyamai suhu lingkungan. Perhitungan pengaruh lingkungan terhadap suhu benda dapat dihitung dengan menggunakan model Koreksi Newton yang berdasar pada Hukum Laju Pendinginan. Perubahan suhu

terhadap waktu karena adanya laju pendinginan ini merupakan fungsi eksponensial. Pada saat benda mendapatkan tambahan energi, maka perhitungan Koreksi Newton yang optimal diambil menggunakan acuan suhu benda pada pertengahan tengat waktu pengamatan.

Perhitungan koreksi suhu melalui model yang dihasilkan dalam penelitian ini menjadikan perhitungan parameter-parameter termofisika lainnya lebih akurat.

Sebagai kelanjutan dari penelitian ini, disarankan adanya pengembangan perhitungan Koreksi Newton yang diaplikasikan untuk kondisi suhu lingkungan yang berubah-ubah, serta penentuan batas-batas keberlakuan koreksi ini khususnya untuk selisih suhu benda dengan suhu lingkungan yang sangat ekstrim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung yang melalui Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (UPPM) telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Mandiri dengan nomor kontrak: B/249.86/PL1.R7/PG.00.03/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Yuningsih, K. H., and S. Sardjito, "Signifikansi Koreksi Newton untuk Memasukkan Pengaruh Lingkungan pada Percobaan Tarakalor Mekanik," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* 2019, doi: 10.21009/03.snf2019.02.pa.06.
- [2] J. O'Connell, "Heating water: Rate correction due to Newtonian cooling," *Phys. Teach.*, 1999, doi: 10.1119/1.880403.
- [3] 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.
- [4] R. H. S. Winterton, "Newton's law of cooling," *Contemp. Phys.*, 1999, doi: 10.1080/001075199181549.
- [5] G. F. Landegren, "Newton's Law of Cooling," *Am. J. Phys.*, 1957, doi: 10.1119/1.1934577.
- [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)*, 2018, vol. 7, pp. SNF2018-PA-77-84, doi: 10.21009/03.SNF2018.02.PA.10.
- [7] P. A. Maurone and C. Shiomos, "Newton's Law of Cooling with finite reservoirs," *Am. J. Phys.*, 1983, doi: 10.1119/1.13505.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] C. R. Mattos and A. Gaspar, "Introducing Specific Heat Through Cooling Curves," *Phys. Teach.*, 2002, doi: 10.1119/1.1517883.