

Penentuan Kalor Jenis Bahan menggunakan Metode Pendinginan Newton dan Sensor Suhu DS18B20 Berbasis Arduino Uno

Widyastuti

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia
Surat-e: widyastuti7003@gmail.com

Drs. Ishafit, M.Si.

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia
Surat-e: ishafit@pfis.uad.ac.id

Abstrak. Pembacaan suhu menggunakan termometer air raksa seringkali dilakukan dengan perkiraan atau pendekatan angka karena keterbatasan skala. Selain itu, pengambilan data masih dilakukan secara manual. Eksperimen dengan memanfaatkan Arduino Uno masih jarang dikembangkan dalam eksperimen suhu dan kalor. Pemanfaatan teknologi Arduino Uno dapat digunakan untuk mengukur kalor jenis suatu bahan menggunakan metode pendinginan newton. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui seberapa teliti metode pendinginan newton dalam menentukan kalor jenis bahan. Arduino Uno digunakan sebagai sistem akuisisi data dan sensor suhu DS18B20 sebagai termometernya. Metode pengambilan data menggunakan kurva pendinginan yang diperoleh dari perubahan suhu air panas dalam wadah. Kalor jenis bahan kaca, plastik dan *styrofoam* yang telah diperoleh berturut-turut $(83,9 \pm 0,1) \times 10^1$ J/Kg.K, $(46,6 \pm 0,2) \times 10^1$ J/Kg.K dan $(12,4 \pm 0,2) \times 10^4$ J/Kg.K. Tingkat error dari ketiga bahan tersebut berturut-turut 0,07%, 1,25% dan 9478%. Berdasarkan tingkat error tersebut, metode pendinginan newton tidak cocok digunakan untuk mengukur kalor jenis *styrofoam*.

Kata kunci: Kalor jenis bahan, Pendinginan Newton, DS18B20, Arduino Uno

Abstract. Temperature reading using a mercury thermometer is often done with an estimate or numerical approach due to scale limitations. In addition, data retrieval is still taken manually. Experiments using Arduino Uno are rarely developed in temperature and heat experiments. Arduino Uno technology can be used to measure the specific heat of an ingredient using Newton's cooling method. The purpose of this experiment is to find out how thoroughly Newton's cooling method is in determining the specific heat of solid material. Arduino Uno is used as a data acquisition system and DS18B20 temperature sensor as the thermometer. The data collection method uses a cooling curve obtained from changes in the temperature of hot water in the container. Specific heat of glass, plastic and styrofoam that have been obtained in a row $(83,9 \pm 0,1) \times 10^1$ J/Kg.K, $(46,6 \pm 0,2) \times 10^1$ J/Kg.K and $(12,4 \pm 0,2) \times 10^4$ J/Kg.K. The error of the three materials in a row 0,07%, 1,25% and 9478%. Based on the error, Newton's cooling method is not suitable for measuring specific heat of styrofoam.

Keywords: Specific heat, Newton's cooling, DS18B20, Arduino Uno

I. Pendahuluan

Penelitian kalor jenis pernah dilakukan oleh C.R. Mattos and A. Gaspar (2002). Bahan yang ditentukan kalor jenisnya berbentuk blok yang terbuat dari aluminium. Metode penelitiannya menggunakan kurva pendinginan dan prinsip azas black. Pembacaan suhu masih dilakukan secara manual menggunakan termometer digital. Tingkat error yang diperoleh sebesar 4,54% [1].

Penelitian serupa juga dilakukan oleh William Dittrich, Leonid Minkin, dan Alexander S. Shapovalov (2010). Bahan yang ditentukan kalor jenisnya berbentuk silinder berongga yang terbuat dari tembaga. Penentuan kalor jenis tembaga dilakukan dengan menggunakan *PASCO thermal expansion apparatus*. Pembacaan suhu pada penelitian ini menggunakan *PASCO thermistor temperature sensor*. Metode penelitiannya menggunakan kurva pendinginan. Tingkat error yang diperoleh sebesar 0,51% [2].

Sedangkan penelitian ini menggunakan perangkat eksperimen dengan sistem akuisisi data dan dengan harga perangkat yang terjangkau. Arduino Uno digunakan sebagai sistem akuisisi data dan sensor suhu DS18B20 sebagai termometernya. Jika ada salah satu komponen yang rusak maka perangkat mudah diganti dan semua komponennya di jual di pasaran. Metode penelitian ini juga menggunakan kurva pendinginan newton.

Kalor jenis merupakan karakteristik termal suatu benda yang menyatakan banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg suatu zat sebesar 1 kalori. Berikut nilai kalor jenis dari beberapa bahan.

Tabel 1. Kalor jenis bahan (pada 20 °C, 1 atm) [3]

Zat	c (J/Kg ⁰ C)	Zat	c (J/Kg ⁰ C)
Alumunium	900	Alkohol	2400
Tembaga	385	Air Raksa	140
Kaca	840	Air	4180
Baja/besi	450	<i>Styrofoam</i>	1300-1450
Timah hitam	130	Plastik	460
Marmar	860	Kayu	1700
Perak	230	Tubuh manusia	3470

Kalor yang dilepaskan oleh objek sebanding dengan variasi suhu objek tersebut, dengan asumsi bahwa perpindahan panas cukup lambat untuk mempertahankan keseragaman suhu di dalam objek.

$$Q = -mc\Delta T \quad (1)$$

Dengan m adalah massa objek, c adalah kalor jenis objek. Aliran energi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$H = \frac{dQ}{dt} = -mc \frac{dT(t)}{dt} \quad (2)$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa suhu berkurang ketika energi mengalir dari tubuh objek ke luar (yaitu, ketika $H > 0$) [4].

Sir Issac Newton merumuskan hukum pendinginan sambil merumuskan eksperimen untuk menciptakan skala suhu yang kemudian disebut dengan Skala Newton. Skala Newton memiliki kisaran suhu dari 0 °C hingga 600 °C. Hukum pendinginan newton menyatakan bahwa laju perubahan suhu sebuah benda berbanding lurus dengan perbedaan suhu zat tersebut dengan suhu lingkungannya ($T_{ambient}$) [5]. Tingkat perubahan suhu bervariasi dan menurun seiring waktu. Setelah waktu yang cukup lama, suhu objek dan suhu lingkungan mencapai kesetimbangan termal dan pertukaran panas berhenti [6].

Laju kehilangan panas dQ/dt dari objek ke lingkungan diasumsikan sebanding dengan perbedaan suhu antara suhu permukaan objek T dan suhu lingkungan T_0 [2].

$$\frac{dQ}{dt} = hA(T - T_0) \quad (3)$$

Kombinasi antara persamaan (2) dan persamaan (3) menghasilkan persamaan (4) yang menunjukkan penurunan suhu objek.

$$\frac{dT}{(T - T_0)} = -\frac{hA}{mc} dt \quad (4)$$

Persamaan di atas diintegrasikan dan diubah ke dalam bentuk eksponensial maka diperoleh persamaan baru sebagai berikut:

$$T(t) = T_0 - (T_0 - T_m)e^{-t/\tau} \quad (5)$$

dengan

$$\tau = \frac{mc}{hA} \quad (6)$$

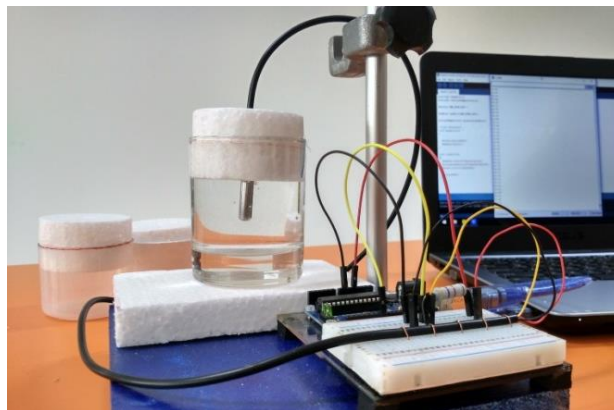
dengan T_m adalah suhu mula-mula objek, h adalah koefisien transfer panas, A adalah permukaan dari objek, m adalah massa objek, c adalah kalor jenis objek dan τ adalah konstanta pendinginan newton. Persamaan (5) merupakan persamaan dari hukum pendinginan newton [4].

Perpindahan panas dari benda ke udara sekitar disebabkan oleh konveksi dan radiasi. Faktor konduksi dalam padatan hanya untuk membentuk suhu homogen pada objek [7]. Sedangkan proses radiatif yang tidak dominan dibahas dalam hukum pendinginan newton [8]. Suatu benda yang kehilangan panas oleh radiasi atau penguapan dapat menyebabkan penyimpangan yang signifikan pada persamaan hukum pendinginan newton [6]. Apabila perbedaan suhu kecil maka sifat permukaan radiasinya tetap sama. Hukum pendinginan newton terjadi pada beda suhu yang kecil yaitu $\Delta T < 50^{\circ}C$. Pada perbedaan suhu yang kecil perpindahan panas secara radiasi sangat kecil dan dapat diabaikan [5]. Apabila perbedaan suhu ΔT yang kecil antara koefisien perpindahan panas radiasi harus konstan dan koefisien perpindahan panas konvektif dianggap konstan selama proses pendinginan [9]. Sehingga, persamaan (6) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\tau = \frac{mc}{h_{conv}A} \quad (7)$$

II. Metode Penelitian

Perangkat eksperimen yang dikembangkan (seperti pada gambar 1) terdiri dari laptop, sensor suhu DS18B20, board Arduino Uno, resistor 4,7 k Ω , breadboard, dan kabel penghubung. Bahan yang diukur kalor jenisnya antara lain kaca, plastik dan styrofoam. Bahan-bahan tersebut berbentuk bejana/wadah. Wadah tersebut diisi dengan air panas. Idealnya, suhu air yang digunakan di atas 10 $^{\circ}C$ dari suhu lingkungan. Kemudian wadah ditutup dengan sumbat gabus dan bagian bawahnya diberi alas gabus. Setelah dituang, air harus diaduk agar suhunya homogen di setiap titik dalam wadah.



Gambar 1. Perangkat eksperimen penentuan kalor jenis.

Suhu air akan menurun seiring waktu. Penurunan suhu air diukur oleh sensor yang diletakkan tepat di tengah-tengah wadah. Sensor mengukur suhu setiap menit dan data suhu air akan tertampil pada Arduino IDE. Data suhu tersebut kemudian diolah menjadi kurva pendinginan. Data lain yang diperlukan dalam penentuan kalor jenis ini antara lain massa air, massa wadah dan luas permukaan lateral dari bahan. Penelitian ini menerapkan konsep *free convection* maka dari itu perangkat eksperimen harus dijauhkan dari mesin AC, kipas angin, *blower*, maupun alat-alat yang mempercepat proses pendinginan.

Kurva pendinginan selanjutnya di-*fitting* ke dalam persamaan *natural exponential* sehingga diperoleh nilai C pada grafik. Konstanta pendinginan τ dapat ditentukan dengan persamaan (8).

$$\tau = \frac{60}{C} \text{ sekon} \quad (8)$$

Jika konstanta pendinginan sudah diketahui, nilai kalor jenis c dari bahan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan (9).

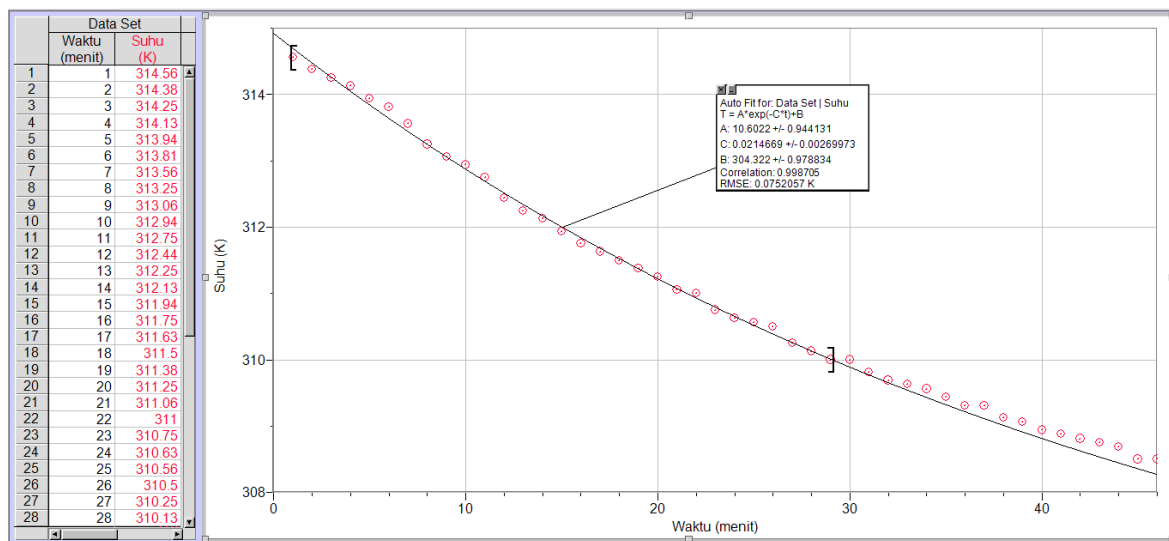
$$c = \frac{h_{conv}\tau A - m_w c_w}{m_b} \quad (9)$$

Dengan A , m_w , c_w , dan m_b berturut-turut adalah luas permukaan lateral bahan yang terkena air, massa air, kalor jenis air, dan massa bahan. Sedangkan h_{conv} diperoleh dari tabel berikut.

Tabel 2. Koefisien transter panas konvektif [4]

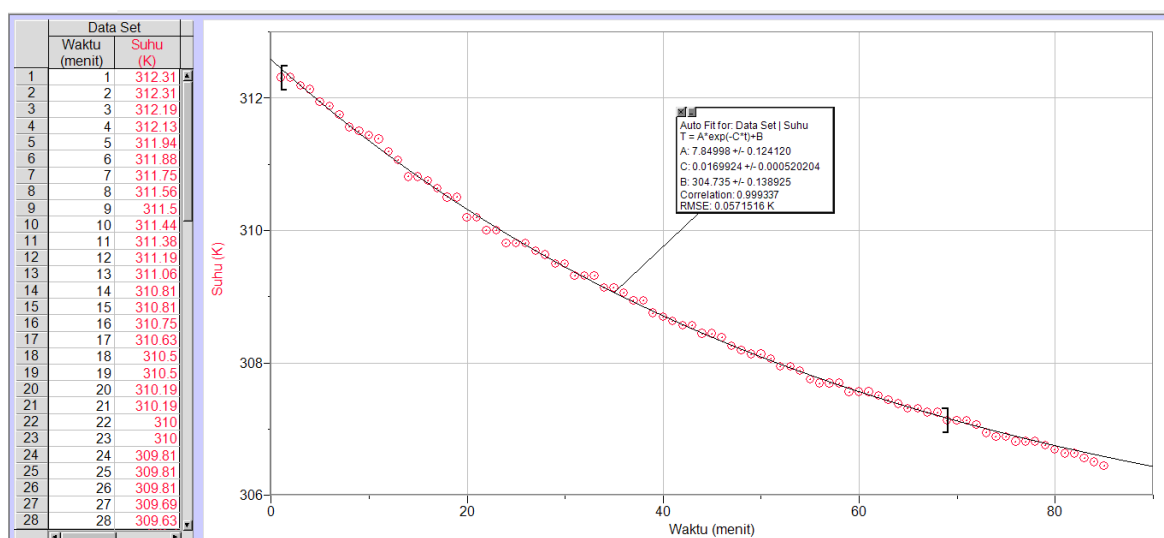
No	Bahan	h_{conv} (W/m ² K)
1	Kaca	28 ± 2
2	Plastik	21 ± 2
3	Styrofoam	19 ± 2

III. Hasil Penelitian dan Pembahasan



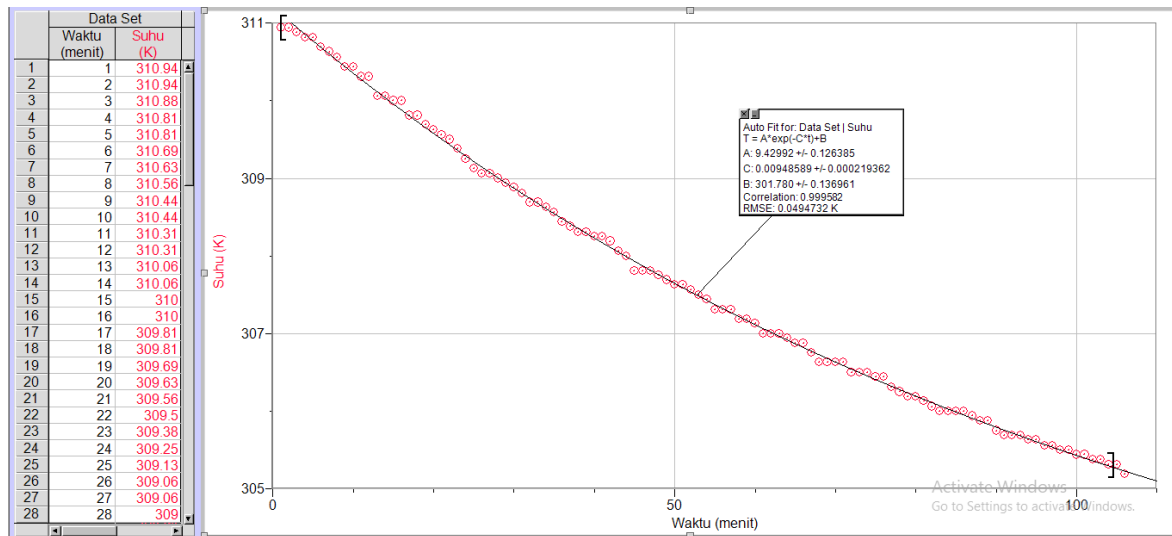
Gambar 2. Grafik hubungan suhu terhadap waktu pada bahan kaca.

Gambar di atas menunjukkan penurunan suhu air terhadap waktu dalam wadah kaca sudah menurun secara eksponensial. Data penurunan suhu air pada kaca menunjukkan hasil yang bagus pada 30 menit pertama atau setelah suhu air turun 5 °C.



Gambar 3. Grafik hubungan suhu terhadap waktu pada bahan plastik.

Gambar di atas menunjukkan penurunan suhu air dalam wadah plastik menurun secara eksponensial. Data penurunan suhu air pada kaca menunjukkan hasil yang bagus pada 60 menit pertama atau setelah suhu air turun 5 °C.



Gambar 3. Grafik hubungan suhu terhadap waktu pada bahan *styrofoam*.

Gambar di atas menunjukkan penurunan suhu air dalam wadah *styrofoam* cenderung linear. Agar suhu air menurun secara eksponensial terhadap waktu, pengambilan data harus dilakukan dengan waktu yang cukup lama sehingga kurva yang diperoleh merupakan grafik eksponensial dan kalor jenis dapat ditentukan secara akurat. Kualitas wadah *styrofoam* yang digunakan juga mempengaruhi hasil pengukuran.

Tabel 3. Konstanta pendinginan dan kalor jenis pada ketiga bahan

Bahan	τ (sekon)	c (J/Kg.K)
Kaca	$(2,8 \pm 0,4) \times 10^3$	$(83,9 \pm 0,1) \times 10^1$
Plastik	$(3,5 \pm 0,2) \times 10^3$	$(46,6 \pm 0,2) \times 10^1$
<i>Styrofoam</i>	$(6,3 \pm 0,1) \times 10^3$	$(12,4 \pm 0,2) \times 10^4$

Dengan menggunakan nilai kalor jenis acuan pada tabel 1, akurasi pada bahan kaca, plastik dan *styrofoam* diperoleh berturut-turut sebesar 0,07%, 1,25% dan 9478%. Akurasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah seberapa dekat nilai percobaan terhadap nilai acuan atau nilai sebenarnya. Berdasarkan hasil akurasi tersebut, bahan *styrofoam* memiliki perbedaan yang sangat besar antara nilai percobaan terhadap nilai acuannya. Hal ini dikarenakan bahan tersebut sangat sulit menyerap dan melepaskan panas. Maka dari itu, metode pendinginan Newton tidak cocok digunakan dalam penentuan kalor jenis *styrofoam* dan sejenisnya.

Berdasarkan hasil percobaan tersebut, konstanta pendinginan Newton menyatakan seberapa lama suatu bahan untuk menyerap kalor. Bahan kaca lebih cepat menyerap kalor/panas daripada bahan plastik dan *styrofoam*. Sehingga air yang berada di dalam wadah kaca lebih cepat mendingin daripada kedua bahan lainnya. Hal ini dikarenakan kaca merupakan bahan konduktor yang mudah menghantarkan panas/kalor. Lain halnya plastik dan *styrofoam*, kedua bahan ini termasuk ke dalam bahan isolator yang sulit menghantarkan panas/kalor. Sehingga air yang berada dalam wadah plastik maupun *styrofoam* lebih lama mendingin.

Kalor jenis bahan menyatakan kemampuan bahan dalam menyerap atau melepaskan kalor/panas. Semakin besar nilai kalor jenisnya, maka semakin kurang kemampuan bahan tersebut dalam menyerap atau melepaskan kalor/panas. Semakin kecil nilai kalor jenisnya, maka semakin baik kemampuan bahan dalam menyerap atau melepaskan kalor/panas. Kaca memiliki kalor jenis yang lebih kecil daripada *styrofoam* sehingga kaca lebih cepat menyerap atau melepaskan kalor. Sebaliknya, *styrofoam* memiliki kalor jenis yang lebih besar sehingga lebih lambat menyerap atau melepaskan kalor.

IV. Kesimpulan

Metode pendinginan newton dengan Arduino Uno dan sensor suhu DS18B20 dapat digunakan untuk menentukan kalor jenis kaca dan plastik dengan teliti. Hal ini dibuktikan dengan nilai akurasi di bawah 5%. Sedangkan penentuan kalor jenis *styrofoam* tidak dianjurkan menggunakan metode pendinginan newton karena memiliki perbedaan yang sangat besar antara nilai percobaan terhadap nilai acuannya. Kelebihan dari perangkat ini antara lain menggunakan sistem akuisisi data, perangkatnya mudah diganti dan murah serta portabel. Sedangkan kekurangannya, data yang tertampil belum berupa grafik/kurva. Untuk kedepannya, *software* Arduino IDE dapat diganti dengan *software* yang dapat langsung menampilkan grafik atau kurva pendinginan newton dari data yang diperoleh.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pengelola Laboratorium Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Terapan Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta dan seluruh pihak yang terlibat yang telah memberikan bantuannya baik secara moril maupun materil.

Kepustakaan

- [1] C. R. Mattos and A. Gaspar, "Introducing Specific Heat Through Cooling Curves," *Phys. Teach.*, vol. 40, no. 7, pp. 415–416, 2003.
- [2] W. Dittrich, L. Minkin, and A. S. Shapovalov, "Measuring the Specific Heat of Metals by Cooling," *Phys. Teach.*, vol. 48, no. 8, pp. 531–533, 2010.
- [3] M. Y. Kholifudin, "Metode Grafik; Solusi Problematika Azaz Black," *J. Ris. dan Kaji. Pendidik. Fis.*, vol. 4, no. 2, p. 54, 2018.
- [4] R. Conti, A. A. Gallitto, and E. Fiordilino, "Measurement of the convective heat-transfer coefficient," no. February, pp. 109–112, 2014.
- [5] S. Natalia, "Analisa proses pendinginan pada beberapa bejana dengan bahan berbeda menggunakan software loggerpro," 2015.
- [6] C. Galeriu, "An Arduino Investigation of Newton's Law of Cooling," *Phys. Teach.*, vol. 56, no. 9, pp. 618–620, 2018.
- [7] M. Vollmer, "Newton's law of cooling revisited," vol. 1063, 2009.
- [8] M. R. Silva, P. Martín-Ramos, and P. P. da Silva, "Studying cooling curves with a smartphone," *Phys. Teach.*, vol. 56, no. 1, pp. 53–55, 2017.
- [9] P. Martín-Ramos, M. Susano, M. R. Silva, and P. S. P. Da Silva, "BYOD for physics lab: Studying Newton's law of cooling with a smartphone," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, vol. Part F1322, pp. 1–5, 2017.