

## Formulasi Koefisien Gesekan Kinetis pada Gaya Gesekan antara Benda dengan Lantai

B M E Jati<sup>✉</sup>, H R Murdaka

FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima 11 Januari 2018

Disetujui 23 Maret 2018

Dipublikasikan 1 April 2018

#### Keywords:

Kinetic, Empirical, Friction

Efficiency Area of Material

Base

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian guna mendapatkan formulasi empiris pada efisiensi gesekan kinetis ( $\mu_k$ ) yang terjadi ada gesekan antara benda dengan lantai. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kenyataan bahwa nilai koefisien pada gaya gesekan benda dengan fluida (udara dan zat cair) selalu berkaitan dengan dimensi benda yang bergerak di dalam medium itu. Namun, hingga sekarang, belum dijumpai hasil riset tentang hubungan antara  $\mu_k$  dengan variabel luas penampang benda yang bergesekan ( $A$ ) dan massa benda ( $m$ ) pada gesekan antara benda dengan lantai. Faedah dari penelitian ini, dapat diramalkan hubungan  $\mu_k$  terhadap  $A$  dan  $m$ . Metodologi eksperimen, dilakukan dengan menggerakkan benda (logam berbentuk silinder) di permukaan meja, dan benda itu terhubung dengan tali ke pembeban (melalui sebuah katrol) sehingga benda melakukan gerak lurus beraturan (GLB). Saat itu gaya resultan pada benda adalah nol, sehingga gaya tarikan oleh pembeban sebesar gaya gesekan kinetis pada benda. Itu dilakukan ketika luas penampang alas benda divariasikan (pada massa benda yang tetap), dan massa benda divariasikan (pada luas penampang balok yang tetap). Diperoleh simpulan bahwa ketika koefisien gesekan kinetis pada  $A = \infty$  adalah  $\mu_\infty$  dan konstanta positif (bergantung jenis lantainya)  $\alpha$  maka  $\mu_k = \mu_\infty(1 - e^{-\alpha A})$ . Ketika  $A = 14,5 \text{ cm}^2$ , permukaan gelas memberikan  $\mu_{k1} = (0,38 \pm 0,02)$  dan permukaan kayu memberikan  $\mu_{k2} = (0,42 \pm 0,02)$ . Dari pernyataan itu, berarti  $\mu_k$  tidak bergantung pada massa benda tetapi hanya bergantung pada luas penampang benda yang bergesekan berupa fungsi eksponensial negatif.

### Abstract

Research has been conducted to obtain an empirical formulation on the efficiency of kinetic friction ( $\mu_k$ ) which occurs there is friction between the object and the floor. This research is motivated by the fact that the value of the coefficient on the friction force of the object with fluid (air and liquid) is always related to the dimensions of objects moving in the medium. However, until now, the results of research on the relationship between  $\mu_k$  and the cross sectional area variable ( $A$ ) and object mass ( $m$ ) were not found in the friction between objects and floors. The usefulness of this study, can be predicted the relationship to  $A$  and  $m$ . Experimental methodology is carried out by moving an object (a cylindrical metal) on the surface of the table, and the object is connected by a rope to the load (through a pulley) so that the object conducts regular straight motion (GLB). At that time the resultant force on the object is zero, so the force of attraction by the load is the kinetic friction force on the object. That is done when the area of the base material is varied (at a fixed mass), and the mass of the object is varied (in the fixed cross-sectional area). It was concluded that when the kinetic friction coefficient at  $A = \infty$  is  $\mu_\infty$  and positive constants (depending on the type of floor)  $\alpha$  then  $\mu_k = \mu_\infty(1 - e^{-\alpha A})$ . When  $A = 14.5 \text{ cm}^2$ , the glass surface gives  $\mu_{k1} = (0.38 \pm 0.02)$  and the wood surface gives  $\mu_{k2} = (0.42 \pm 0.02)$ . From that statement, it means that it does not depend on the mass of the object but only depends in the cross sectional area of objects that rub against it is a negative exponential function.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

<sup>✉</sup> Alamat korespondensi:

E-mail: b\_murdaka@ugm.ac.id

## PENDAHULUAN

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kenyataan bahwa keberadaan gaya gesekan memberi pengaruh signifikan terhadap gerak benda. Gaya gesekan antara benda dengan lantai biasa dimanfaatkan untuk standar kekasaran permukaan jalan, khususnya jalan beraspal ataupun beton (Jati & Priyambodo 2016; Jati 2013). Saat ini, formulasi gaya gesekan antara benda padat dengan udara ataupun dengan zat cair sudah dikenal secara umum. Namun, koefisien gaya gesekan antara benda (padat) dengan lantai belumlah lengkap (Pople 1993).

Berdasar latar belakang di atas maka muncullah permasalahan tentang apakah gaya gesekan antara benda dengan lantai mempunyai karakter yang sama dengan gaya gesekan antara benda (padat) dengan udara ataupun zat cair. Pada gaya gesekan antara benda dengan udara atau zat cair, maka luas penampang efektif benda mempengaruhi koefisien gaya gesekan. Tentu saja, koefisien gesekan yang dimaksud adalah koefisien gesekan kinetis, sebab benda mengalami gaya yang disetarakan dengan benda dalam keadaan bergerak. Dalam Popov & Filippov (2010) disebutkan bahwa koefisien gesekan sebanding dengan rata-rata gradien persegi dari bentuk permukaan padat. Nilai empiris dari koefisien proporsionalitas dekat dengan satuan (*unity*). Momozono *et al.* (2010) mengusulkan model teoritis penyesuaian (*fitting*) empiris dari gesekan perekat antara elastomer dan permukaan padat kasar atas dasar proses perambatan pembukaan retak pada batas kontak antarmuka dan proses laju ikatan molekul ke permukaan dalam konjungsi kontak. Verheyde *et al.* (2009) melakukan pengujian tribological dan hasilnya sangat menjanjikan sebagai pengurangan koefisien gesekan baja yang signifikan.

Li *et al.* (2014) telah berhasil meneliti tentang koefisien gesekan kinetik ( $\mu_k$ ) pada permukaan datar yang tidak terlalu keras, dihitung secara numerik, dan diperoleh hasil bahwa nilai  $\mu_k$  stabil ketika benda melakukan gerak lurus beraturan (GLB) dan berubah nilainya ketika benda itu mengalami perubahan kecepatan. Adapun Popov *et al.* (2014) berhasil merumuskan hubungan antara  $\mu_k$  terhadap bentuk permukaan

lantai, kawasan nilai  $\mu_k$  pada beragam lantai itu berkisar antara 0 hingga 1. Permukaan lantai yang digunakan adalah datar, miring, dan juga lengkung. Dari uraian di atas, dapat diperoleh informasi bahwa formulasi secara empiris  $\mu_k$  sebagai fungsi dimensi dan massa benda belum pernah diteliti oleh peneliti lain (Young *et al.* 2002).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formulasi empiris antara koefisien gesekan kinetis ( $\mu_k$ ) pada gesekan benda dengan lantai sebagai fungsi parameter bendanya. Parameter benda tersebut berupa luas alas benda yang bergesekan ( $A$ ) dan massa bendanya ( $m$ ) atau  $\mu_k = f(A, m)$ . Berhubung penentuan formulasi tersebut dilakukan secara empiris (bukan teoritis) maka fungsi tersebut didapat melalui grafik yang berdasar data eksperimen.

Penelitian berkategori penelitian dasar ini dibatasi dalam lima hal, yaitu (1) Benda bergerak pada 2 jenis lantai saja, yaitu gelas dan kayu (halus) (2) Penentuan  $\mu_k$  dilakukan ketika benda sedang melakukan GLB. (3) Benda ditarik pembeban (melalui sebuah katrol dan tali) pada arah datar ke kanan sehingga gaya normal oleh lantai senilai dengan berat bendanya. (4) Dipilih penentuan  $\mu_k$  (bukan  $\mu_s$ ) sebab  $\mu_k$  bersifat terukur. (5) Gaya gesekan oleh katrol dianggap senilai untuk semua benda, sehingga tidak diperhitungkan dalam analisisnya.

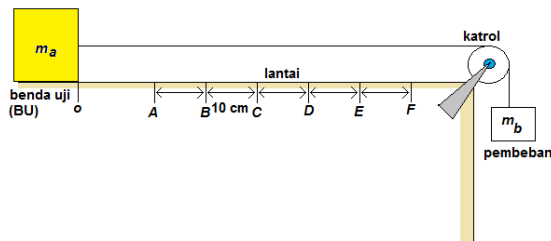
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan berupa lantai (permukaan meja) berbahan gelas dan kayu, benda uji (BU) berupa logam berbentuk silinder, benang, katrol, dan pembeban. Lantai digunakan sebagai tempat BU bergerak GLB. Benang di ujung kiri mengikat BU dan di ujung kanan untuk mengikat pembeban setelah melewati sebuah katrol. Adapun alat yang digunakan terdiri dari mistar dan stopwatch. Mistar digunakan untuk mengukur jarak antarsegmen guna mendapatkan kelajuan benda saat benda melakukan GLB. Sementara itu, stopwatch digunakan untuk mengukur selang waktu ketika benda tersebut bergerak. Adapun potret bahan dan alat yang diperlukan pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



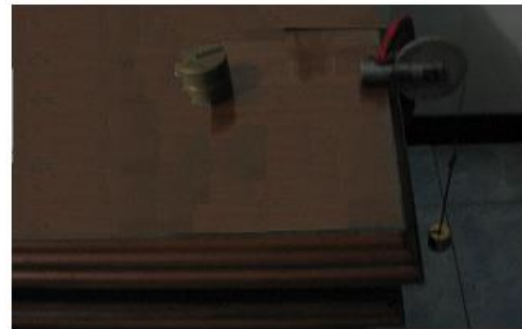
**Gambar 1.** Sejumlah bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini.

Metodologi eksperimen dilakukan dengan meletakkan BU di permukaan meja berlapis gelas. BU (massa  $m_a$ ) ditarik benang arah datar ke kanan dan terhubung (oleh benang) dengan sebuah beban (massa  $m_b$ ) melalui sebuah katrol. Permukaan meja (gelas) dibagi dalam beberapa segmen ( $A, B, C, D, E$ , dan  $F$ ), dan antarsegmen berjarak 10 cm (Gambar 2). Segmen-segmen tersebut dimaksudkan untuk dapat dimengerti lokasi kawasan segmen sehingga BU melakukan GLB. Hal tersebut dilakukan pula pada permukaan kayu.



**Gambar 2.** Bagan eksperimen guna mendapatkan lokasi BU melakukan GLB.

Eksperimen dilakukan dengan memilih  $m_b$  lebih besar dari  $m_a$  sehingga  $m_a$  (di permukaan gelas) dapat bergerak ke kanan. Kemudian,  $m_a$  dilepas dari lokasi yang sama yaitu titik  $o$  (Gambar 2). Ketika BU (massa  $m_a$ ) bergerak ke kanan maka diukurlah selang waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak antarsegmen tersebut. Selang waktu dimaksud adalah pada lintasan  $AF$  (50 cm),  $BF$  (40 cm),  $CF$  (30 cm),  $DF$  (20 cm), dan  $EF$  (10 cm). Berdasar selang waktu tersebut maka dapat diketahui kelajuan BU, dan dapat ditentukan lokasi BU ketika mengalami GLB (Gambar 3).



**Gambar 3.** Potret set-up eksperimen.

Peristiwa di atas dilakukan ketika BU bermassa tetap (205 gram), pembeban ( $m_b$  antara 60 hingga 90 gram), dan luas penampang alasnya divariasikan. Berhubung BU berupa silinder maka alasnya berupa lingkaran, dan variasi diameter (luas): 2,1 cm ( $3,5 \text{ cm}^2$ ), 2,5 cm ( $4,9 \text{ cm}^2$ ), 3,5 cm ( $9,6 \text{ cm}^2$ ), 4,3 cm ( $14,5 \text{ cm}^2$ ), dan 7,0 cm ( $19,2 \text{ cm}^2$ ). Selanjutnya diukur kelajuan BU pada setiap nilai luas alasnya baik pada lintasan  $AF, BF, CF$ , dan juga  $EF$ .

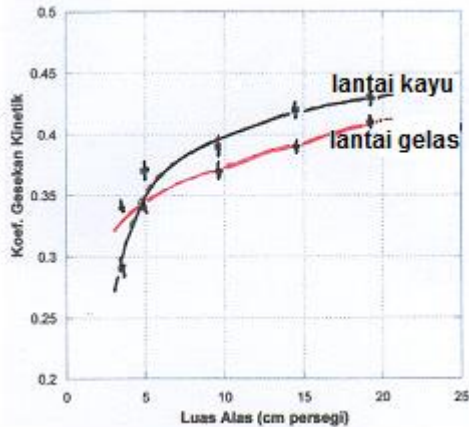
Langkah di atas dilakukan pula pada luas alas tetap (dipilih diameter 4,3 cm sehingga luas alasnya  $14,5 \text{ cm}^2$ ) dan massa BU ( $= m_a$ ) divariasikan. Tentu saja, bila  $m_a$  diperbesar maka  $m_b$  juga selalu lebih besar dari  $m_a$ . Variasi massa tersebut: 205 g, 300 g, 400 g, 500 g, dan 600 g. Eksperimen pada variasi luas alas dan massa BU tersebut dilakukan pula ketika lantainya berupa permukaan kayu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

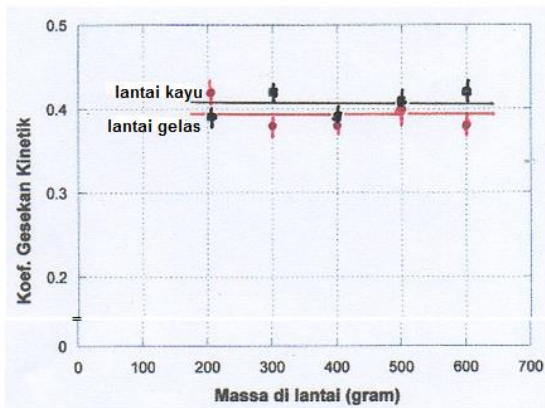
Dari metodologi eksperimen di atas, untuk lantainya gelas, segmen lintasan  $AF$  hingga  $EF$  memberikan kelajuan BU berkisar antara 40 hingga 60 m/s. Namun, dari kelima pengukuran untuk variasi luas ( $A$ ) dan variasi massa ( $m_a$ ), pada lintasan  $EF$  bernilai hampir sama dengan  $DF$ . Kelajuan  $m_a$ , pada variasi  $A$ , pada lintasan  $EF$  adalah  $(50 \pm 3) \text{ cm/s}$ . Adapun kelajuan  $m_a$ , pada variasi massa  $m_a$ , juga pada lintasan  $EF$  adalah  $(50 \pm 1) \text{ cm/s}$ . Hal tersebut dilakukan pula pada lantainya kayu, oleh variasi luas dan variasi massa yang juga memberikan kelajuan berturut-turut  $(60 \pm 8) \text{ cm/s}$  dan  $(60 \pm 5) \text{ cm/s}$ .

Ketika BU melakukan GLB maka gaya resultan di  $m_a$  adalah 0 sehingga perlajuannya  $a = 0$ . Selanjutnya, bila percepatan gravitasi bumi setempat adalah  $g$ , sehingga gerak  $m_a$  memenuhi:

$m_a a = 0 = m_b g - f_{gk}$ , atau  $f_{gk} = \mu_k (m_a g) = m_b g$ , dan akhirnya diperoleh  $\mu_k = \frac{m_b}{m_a}$ . Penentuan  $\mu_k$  dilakukan ketika eksperimen menggunakan lantai berupa gelas dan juga kayu. Pada setiap jenis lantai tersebut digunakan variasi  $A$  pada  $m_a$  tetap, dan juga variasi  $m_a$  pada  $A$  tetap. Adapun hasil eksperimen  $\mu_k$  sebagai fungsi  $A$  ditampilkan pada Gambar 4, sedangkan  $\mu_k$  sebagai fungsi  $m_a$  ditampilkan pada Gambar 5.



**Gambar 4.** Koefisien gesekan kinetis sebagai fungsi luas penampang alas silinder logam (massa tetap) yang bergerak di lantai gelas dan kayu ketika melakukan GLB.



**Gambar 5.** Koefisien gesekan kinetis sebagai fungsi massa silinder logam (luas penampang alasnya tetap) yang bergerak di lantai gelas dan kayu ketika melakukan GLB.

Gambar 4 memberi gambaran bahwa koefisien gesekan kinetis merupakan fungsi eksponensial terhadap luas alas pada benda yang bergerak di lantai. Adapun Gambar 5 memberi makna bahwa nilai koefisien gesekan kinetis pada gesekan benda-lantai tidak bergantung pada massa

bendanya. Dari kedua gambar tersebut dapat diperoleh formulasi empiris bahwa  $\mu_k = \mu_\infty (1 - e^{-\alpha A})$ , dimana  $\mu_\infty$  adalah koefisien gesekan kinetis ketika luas permukaan alas BU besarnya tidak terhingga, sedangkan  $\alpha$  merupakan tetapan yang bergantung pada jenis lantainya. Selanjutnya, dari eksperimen tersebut (Gambar 5), didapat informasi (pada luas penampang alas BU  $14,5 \text{ cm}^2$ ) koefisien gesekan kinetis pada lantai kayu adalah  $\mu_{k1} = (0,42 \pm 0,02)$ , dan pada lantai gelas memberikan  $\mu_{k2} = (0,38 \pm 0,02)$ . Nilai ukur koefisien gesekan kinetis tersebut konsisten dengan temuan Popov *et al.* (2014) bahwa nilai ukur  $\mu_k$  pada beragam bentuk permukaan lantai selalu berkisar antara 0 hingga 1.

## SIMPULAN

Gaya kesekan benda dengan lantai memiliki kesetaraan dengan gaya gesekan benda dengan fluida (udara dan zat cair). Itu terbukti bahwa koefisien gesekan kinetisnya merupakan fungsi eksponensial terhadap luas alas BU yang bergesekan dengan lantai. Selain itu, pada luas alas BU yang tetap ( $14,5 \text{ cm}^2$ ) maka nilai koefisien gesekan kinetis kedua lantai (gelas dan kayu) adalah senilai yaitu 0,4.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Laboratorium Fisika Dasar FMIPA UGM, atas bantuan sarana eksperimen tersebut. Diucapkan terimakasih pula kepada Pak Sriyanto (teknisi laboratorium Fisika Dasar) yang telah membantu pelaksanaan eksperimen tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jati BME dan Priyambodo TK. 2016: *Fisika Dasar untuk Mahasiswa MIPA, Teknik, dan Kedokteran*. edisi 2. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Jati BME. 2013: *Pengantar Fisika 1*. edisi 1. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Li Q, Damaki A, Popov M, Psakie SG & Popov VL. 2014. Kinetics of the coefficient of friction of elastomers, *Sci. Rep* **4**, 4795. DOI: 10.1038/srep05795

- Momozono S, Nakamura K, & Kyogoku K. 2010. Theoretical model for adhesive friction between elastomers and rough solid surfaces. *J. Chem. Phys.* **132**, 114105. DOI: 10.1063/1.3356220
- Pople S. 1993: *Explaining Physics*, 4<sup>th</sup> edition, GCSE edition, Oxford University Press. London
- Popov VL & Filippov AE. 2010. Force of Friction between Fractal Rough Surface and Elastomer. *Technical Physics Letters* **36** (6): 525-527. DOI: 10.1134/S1063785010060118
- Popov VL, Voll L, Li Q, Chai YS & Popov M. 2014. Generalized law of friction between elastomers and differently shaped rough body. *Sci. Rep* **4**, 3750. DOI: 10.1038/srep03750
- Verheydea B, Romboutsa M, Vanhulsela A, Havermansa D, Menevea J, & Wangenheim M. 2009. Influence of surface treatment of elastomers on their frictional behaviour in sliding contact. *Wear* **266** (3-4): 468-475. DOI: 10.1016/j.wear.2008.04.040
- Young LW, Wai LK & Fong STW. 2002: *Physics insight*, 2<sup>nd</sup> edition, Pearson education Asia Pte. Ltd, Singapore