

Analisis Pengaruh Gerhana Bulan Total 31 Januari 2018 pada Percepatan Gravitasi Di Permukaan Bumi menggunakan Sensor *Photogate* pada Bandul Matematis Teroptimisasi

Harbi Setyo Nugroho^{1*}, Annisa Nurjanah¹, Muhamad Gina Nugraha¹, Judhistira Arya Utama¹, Hana Susanti¹, Cahyo Puji Asmoro¹, Kartika Hajar Kirana²

¹Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung 40154, Indonesia

²Departemen Geofisika FMIPA UNPAD, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

*Corresponding author. E-mail: harbisetyo@student.upi.edu
hp: 081282411395

ABSTRAK

Pada pekerjaan ini, Kami menyajikan studi mengenai pengaruh fenomena gerhana bulan total 31 Januari 2018 terhadap percepatan gravitasi di permukaan bumi. Lokasi yang menjadi tempat penelitian ini dilakukan adalah Laboratorium Fisika Dasar Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung dengan koordinat $6^{\circ}51'48''S$, $107^{\circ}35'40''E$. Sensor *Photogate* digunakan pada penelitian ini untuk menentukan perioda osilasi bandul matematis yang telah dioptimalisasi dengan bahan tali berjenis nylon dan pemanfaatan papan cermin di belakang dan samping bandul. Perioda osilasi yang diperoleh pada penelitian kemudian dimanfaatkan untuk menganalisis nilai percepatan gravitasi di permukaan bumi secara matematis. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa terjadi penurunan nilai percepatan gravitasi di permukaan bumi menjadi $9,71514 \text{ m/s}^2$.

Kata Kunci: Bandul Matematis; Gerhana Bulan Total; Sensor *Photogate*

ABSTRACT

In this work, we present the study of 31st January 2018 Total Lunar Eclipse effect on earth's surface gravitational acceleration. The research is held in Basic Physics Laboratory Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung with the coordinate of $6^{\circ}51'48''S$, $107^{\circ}35'40''E$. Photogate sensor is used to determine mathematical pendulum oscillation period. The system of mathematical pendulum has been optimized used nylon rope and placed a mirror on the side and the back of the pendulum. The mathematical pendulum oscillation period is used to analyse the earth's surface gravitational acceleration during the Total Lunar Eclipse. It showed that the earth's surface gravitational acceleration is decreased to 9.71514 m/s^2 .

Keywords: *Mathematical Pendulum; Total Lunar Eclipse; Photogate Sensor*

1. Pendahuluan

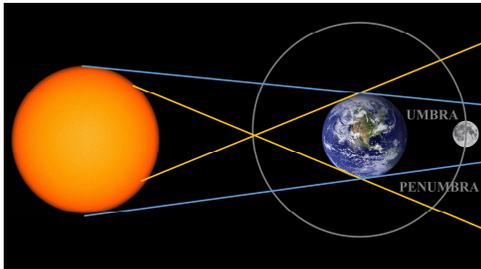
Gravitasi merupakan fenomena alam yang dapat teramati dalam kehidupan sehari-hari. Fenomena tersebut dapat teramati mulai dari bagaimana buah jatuh dari pohon sampai dengan bagaimana objek astronomi seperti matahari, bumi, dan bulan bergerak melintasi pada sistem tata surya (Tipler, 1998). Hukum gravitasi universal menyatakan bahwa segala

objek di alam semesta saling menarik satu sama lain dengan gaya, antara dua benda bermassa, yang sebanding dengan hasil kali massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda bermassa tersebut (Hewitt, 2006). F adalah gaya gravitasi, G adalah konstanta gravitasi universal, M adalah massa objek pertama, m

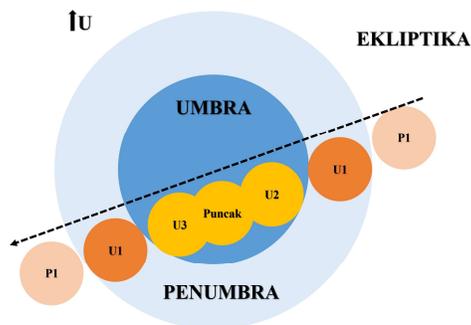
adalah objek kedua, dan r adalah jarak antara objek M dan m .

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1)$$

Gerhana bulan merupakan salah satu fenomena astronomi yang sering terjadi, yaitu ketika bumi, bulan, dan matahari berada satu garis lurus yang sama. Hal tersebut dapat terjadi karena bulan yang berevolusi mengelilingi bumi dan disaat bersamaan keduanya juga berevolusi mengelilingi matahari sehingga memungkinkan ketiga objek astronomi tersebut berada pada posisi satu garis lurus. (Newton, 1846).



Gambar 1. Skema posisi Matahari, Bumi, dan Bulan ketika gerhana bulan total terjadi



Gambar 2. Ilustrasi proses gerhana bulan total 31 Januari 2018.

Pada gambar 1 dan 2 dapat kita amati bagaimana proses terjadinya gerhana bulan total. Terdapat tujuh fase gerhana bulan total, yaitu P1, U1, U2, Puncak, U3, U4, dan P4. P1 adalah fase gerhana penumbra dimulai, U1 adalah fase gerhana umbra dimulai, U2 adalah fase dimulainya puncak gerhana, Puncak adalah fase puncak dari gerhana bulan total, U3 adalah fase berakhirnya puncak, U4 adalah fase berakhirnya gerhana umbra, dan P4 adalah fase berakhirnya gerhana penumbra.

Interaksi gaya gravitasi antara Matahari, Bumi, dan Bulan selama fenomena tersebut berlangsung akan mengakibatkan perubahan medan gravitasi di permukaan bumi (McKenna, 2009). Dengan demikian, hal tersebut menjadi dasar dalam pengukuran perubahan medan gravitasi di permukaan bumi ketika terjadi gerhana bulan sehingga dapat melihat anomali medan gravitasi di bumi ketika peristiwa tersebut terjadi. Salah satu cara untuk menentukan medan gravitasi di permukaan bumi adalah dengan menggunakan bandul matematis yang dibantu oleh perangkat sensor cahaya *photogate*.



Gambar 3. Sensor *Photogate*

Photogate adalah suatu perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan percepatan objek yang melaluinya dengan cara mengukur periode osilasi (Vernier, t.thn.) (Nugraha M. G., dkk., 2016).

Nilai gravitasi di permukaan bumi terbukti dapat mengalami perubahan sebagaimana yang dibuktikan pada penelitian sebelumnya mengenai pengaruh gerhana matahari pada medan gravitasi di permukaan bumi yang menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan medan gravitasi di permukaan bumi selama gerhana matahari terjadi, meskipun peningkatan nilainya tidak signifikan (Nugraha M. G., dkk., 2016) (Setyadin, dkk., 2016) (Sholihat, dkk., 2016). Zainuddin melaporkan bahwa terjadi peningkatan medan gravitasi di permukaan bumi sebagai akibat dari dua fenomena gerhana matahari total tahun 2009 di China dengan peningkatan sejumlah 18,92% dan gerhana matahari cincin tahun 2010 di Maldives dengan peningkatan 7,51% dan 8,59% (Zainuddin, Noorul, Mohd, & Mohd, 2011).

Lantas muncul pertanyaan berikutnya, yaitu apakah gerhana bulan juga dapat mempengaruhi medan gravitasi di permukaan bumi. Untuk menjawab pertanyaan tersebut

maka dilakukan penelitian mengenai pengukuran nilai gravitasi di permukaan bumi saat terjadi gerhana bulan total pada 31 Januari 2018. Pengukuran nilai gravitasi dilakukan menggunakan bandul matematis sebagai objek osilasi dan sensor *photogate* yang berfungsi untuk mengukur periode osilasi.

2. Metode

Gerhana bulan yang terjadi pada 31 Januari 2018 dapat teramati di berbagai lokasi. Pada penelitian kali ini untuk dapat mengukur nilai percepatan gravitasi pada saat fenomena tersebut berlangsung maka dilakukan pengambilan data di Bandung dengan koordinat 6°51'48''S, 107°35'40''E. Tahapan pengambilan data dilakukan pada setiap fase gerhana bulan total sebagaimana yang ditampilkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data kontak waktu gerhana bulan total 31 Januari 2018

Fase	Waktu UT	WIB (+ 7 jam)	WI Bandung (kurang 10 menit WIB)	Waktu pengambilan data	
				Awal	Akhir
P1	10.51.15	17.51.15	17.41.15	17.36.15	17.46.15
U1	11.48.27	18.48.27	18.38.27	18.33.27	18.43.27
U2	12.51.47	19.51.47	19.41.47	19.36.47	19.46.47
Puncak	13.29.49	20.29.49	20.19.49	20.14.49	20.24.49
U3	14.07.51	21.07.51	20.57.51	20.52.51	21.02.51
U4	15.11.11	22.11.11	22.01.11	21.56.11	22.06.11
P4	16.08.27	23.08.27	22.58.27	22.53.27	23.03.27

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur periode osilasi suatu bandul logam berbentuk bola yang diikat dengan tali nylon. Bentuk bola dipilih agar lebih mudah dalam menentukan pusat massa dan tali nylon digunakan karena massanya yang relatif ringan sehingga dapat diabaikan.

Pada saat pengambilan data, gerakan conic merupakan salah satu hal yang menjadi faktor koreksi dari bandul matematis yang digunakan. Oleh sebab itu, digunakan papan cermin yang diletakan pada bagian belakang bandul dan kamera yang diletakan sebidang dengan gerak bandul matematis untuk meminimalisasi faktor koreksi tersebut. Papan cermin dan kamera digunakan untuk memastikan bahwa gerakan bandul tetap dalam satu bidang (2 dimensi).

Pengambilan data dilakukan dengan mengayunkan bandul pada sudut awal 5° sebanyak 3 kali lalu pengambilan data dilakukan secara berulang. Sudut awal 5° dipilih agar osilasi bandul mendekati harmonik. Sensor *photogate* diletakan pada lintasan osilasi bandul sehingga dapat mendeteksi periode

osilasi bandul secara presisi. Data periode yang diperoleh menggunakan alat *Photogate* memiliki akurasi sampai 10⁻³ detik (Nugraha M. G., dkk., 2016). Periode bandul kemudian digunakan untuk mengetahui nilai percepatan gravitasi bumi. Percepatan gravitasi bumi dapat ditentukan melalui persamaan 2 berikut.

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (2)$$

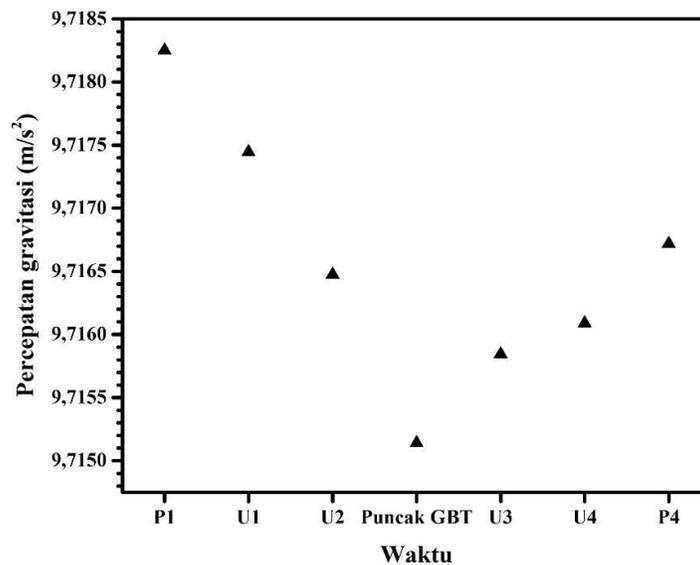
g adalah percepatan gravitasi bumi, l adalah panjang tali, dan T adalah periode osilasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data yang telah dilakukan berhasil mengumpulkan data periode bandul matematis untuk tiap fase selama berlangsungnya gerhana bulan total 31 Januari 2018. Dengan menggunakan data periode bandul matematis tersebut kemudian diperoleh nilai percepatan gravitasi di permukaan bumi dengan menggunakan persamaan 2. Pada tabel 2 berikut akan disajikan nilai rata-rata periode bandul matematis dan percepatan gravitasi di permukaan bumi sebagai berikut.

Tabel 2. Nilai periode bandul matematis dan percepatan gravitasi dipermukaan bumi selama gerhana bulan total 31 Januari 2018.

Fase	Waktu pengambilan data (di Bandung)		Periode (detik)	Gravitasi (m/s^2)
	Awal	Akhir		
P1	17.36.15	17.46.15	$2,49992 \pm 0,00022$	$9,71825 \pm 0,00168$
U1	18.33.27	18.43.27	$2,50002 \pm 0,00011$	$9,71745 \pm 0,00087$
U2	19.36.47	19.46.47	$2,50015 \pm 0,00001$	$9,71647 \pm 0,00009$
Puncak GBT	20.14.49	20.24.49	$2,50032 \pm 0,00018$	$9,71514 \pm 0,00143$
U3	20.52.51	21.02.51	$2,50023 \pm 0,00009$	$9,71584 \pm 0,00072$
U4	21.56.11	22.06.11	$2,50020 \pm 0,00006$	$9,71609 \pm 0,00047$
P4	22.53.27	23.03.27	$2,50012 \pm 0,00002$	$9,71672 \pm 0,00015$

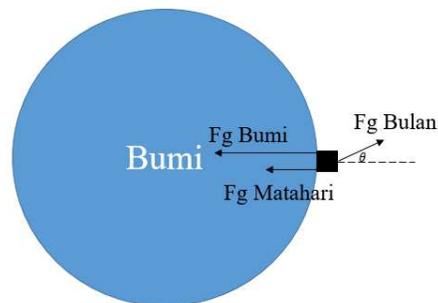


Gambar 4. Grafik perubahan nilai percepatan gravitasi dipermukaan bumi selama gerhana bulan total 31 Januari 2018.

Gambar 4 menyajikan nilai percepatan gravitasi dipermukaan bumi untuk tiap fasenya ketika berlangsungnya gerhana bulan total 31 Januari 2018. Pada gambar 4 dapat diamati bahwa terjadi perubahan nilai percepatan gravitasi dipermukaan bumi yang dipengaruhi gerhana bulan total. Nilai percepatan gravitasi dipermukaan bumi mengalami penurunan secara bertahap pada P1, U1, dan U2 sampai akhirnya mencapai nilai terendah pada puncak gerhana bulan total, yaitu $9,71514 m/s^2$ dan kemudian kembali mengalami peningkatan pada U3, U4, dan P4 secara bertahap.

Perubahan nilai percepatan gravitasi bumi yang terjadi dipengaruhi oleh interaksi gaya gravitasi yang melibatkan Matahari, Bumi, dan Bulan. Pada gambar 1 dapat dilihat bagaimana posisi relatif Matahari, Bumi, dan Bulan ketika terjadi gerhana bulan total 31 Januari 2018.

Berikut akan ditampilkan pada gambar 5 mengenai ilustrasi interaksi gravitasi antara ketiga objek astronomi tersebut.



Gambar 5. Ilustrasi interaksi gaya gravitasi antara Matahari, Bumi, dan Bulan.

Resultan gaya yang bekerja pada interaksi gaya-gaya gravitasi yang diilustrasikan pada

gambar 5 dapat dilihat pada persamaan 3 berikut.

$$\Sigma F = F_g \text{ Bumi} + F_g \text{ Matahari} - F_g \text{ Bulan} \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Semakin nilai θ mendekati nol maka akan menyebabkan resultan gaya yang bekerja semakin kecil. Hal tersebut mampu menjelaskan mengapa pada puncak gerhana percepatan gravitasi dipermukaan bumi bernilai paling kecil.

4. Simpulan

Fenomena gerhana bulan total 31 Januari 2018 terbukti mempengaruhi nilai percepatan gravitasi dipermukaan bumi. Tercatat bahwa pada ketujuh fase yang ada memiliki perubahan nilai percepatan gravitasi yang berpola dan mencapai nilai paling rendah pada fase puncak gerhana bulan total, yaitu $9,71514 \text{ m/s}^2$. Adapun perubahan tersebut dipengaruhi oleh interaksi gaya-gaya gravitasi antara Matahari, Bumi, dan Bulan.

5. Referensi

- [1] Hewitt, P. G. (2006). *Conceptual Physics 10th edition*. St. Petersburg: Pearson Education.
- [2] McKenna, P. (2009). *Eclipse Sparks Hunt for Gravity Oddity*. Beijing: NewScientist.
- [3] Newton, I. (1846). *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. New York: 45 Liberty Street.
- [4] Nugraha, M. G., Saepuzaman, D., Sholihat, D., Ramayanti, F. N., Setyadin, S., Ferahenki, A. R., . . . Kirana, K. H. (2016). Influence of Partial Solar Eclipse 2016 on the surface gravity acceleration using *photogate* sensor on Kater's reversible pendulum. *Journal of Physics: Conference Series*, 771(1), 012002.
- [5] Setyadin, A. H., R, F. A., Ramayanti, S., Sholihat, F. N., Nugraha, M. G., Saepuzaman, D., . . . Kirana, K. H. (2016). Optimalisasi Bandul Matematis Menggunakan Tracker Dalam Penentuan Perubahan Percepatan Gravitasi Permukaan Bumi (g) Akibat Gerhana Matahari Sebagian (GMS) 9 Maret 2016. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)*. Bandung.
- [6] Sholihat, F. N., Ramayanti, S., Setyadin, A. H., Ferahenki, A. R., Nugraha, M. G., Saepuzaman, D., . . . Kirana, K. H. (2016). Anomali Medan Gravitasi Permukaan (g) Akibat Gerhana Matahari Sebagian (GMS) 9 Maret 2016 Menggunakan Analisis Tracker pada Kater's Reversible Pendulum. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)*. Bandung.
- [7] Tipler, P. A. (1998). *Fisika untuk Sains dan Teknik jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [8] Vernier. (n.d.). *photogate user manual*. (Vernier Software & Technology) Retrieved September 12, 2018, from <https://www.vernier.com/manuals/vpg-btd/>
- [9] Zainuddin, M. Z., Noorul, A. A., Mohd, S. Y., & Mohd, H. M. (2011). *International Conference on*, 170-3.