



IDENTIFIKASI DAMPAK METEOR JENIS *FIREBALL* YANG DIAMATI DI SLOVENIA PADA 28 FEBRUARI 2020 MENGGUNAKAN *EARTH IMPACT EFFECT PROGRAM*

Raisa Najma Sakina^{1*}, Judhistira Aria Utama², Abdul Rachman³, Mimin Iriyanti⁴

^{1,2,4}Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung 40154

³Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Dr. Djundjuran 133 Bandung 40173, Indonesia

*Alamat Korespondensi: raisanajmasakina@upi.edu

ABSTRAK

Meteor yang memasuki atmosfer bumi dengan cahaya yang dapat diamati setara dengan kecerahan Venus dikategorikan sebagai *fireball*. Kejadian *fireball* dapat memberikan dampak yang dapat dirasakan oleh pengamat di jarak tertentu, seperti yang terjadi di Slovenia pada 28 Februari 2020 dengan dirasakannya efek gelombang kejut dan suara dentuman. Ukuran fisik benda jatuh antariksa menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi besar dampak yang dapat dirasakan di permukaan Bumi. Menggunakan program sederhana yaitu *Earth Impact Effect Program*, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dampak yang dihasilkan dari jatuhnya meteor jenis *fireball* di Slovenia pada 28 Februari 2020. Diperoleh bahwa *fireball* dengan objek asal berdiameter 0,63 meter ini memiliki energi di luar atmosfer sebesar $9,96 \times 10^{10}$ Joule (setara dengan 0,24 kiloton TNT). Objek mulai mengalami fragmentasi menjadi kepingan-kepingan yang lebih kecil di ketinggian 47,9 km dengan energi ledakan di atmosfer (*airburst*) sebesar $2,01 \times 10^{10}$ Joule (setara dengan $0,48 \times 10^{-5}$ megaton TNT). Puncak nilai tekanan akibat ledakan (*peak overpressure*) bernilai 12,4 – 24,8 Pa dan menghasilkan dentuman sekuat 22 dB di jarak 1 km. Meskipun peristiwa *fireball* ini diketahui tidak menghasilkan kawah tumbukan, dimungkinkan terdapat fragmen benda induk berupa meteorit yang tiba di permukaan Bumi.

© 2021 Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI

Kata kunci: *Airburst*, *Atmospheric Entry*, *Earth Impact Effect Program*, *Fireball*

PENDAHULUAN

Pada tanggal 28 Februari 2020 sekitar pukul 10.35 waktu setempat (09.30 UTC), beberapa masyarakat di daerah Slovenia, Italia, dan Kroasia melihat adanya fenomena sebuah kilatan cahaya yang melaju ke arah Bumi. kilatan ini juga terekam melalui kamera dasbor kendaraan dan beberapa kamera keamanan. Fenomena ini diyakini merupakan sebuah benda alami yang memasuki atmosfer Bumi ditinjau dari kecepatan dan ledakan yang dihasilkan. Berdasarkan laporan saksi mata yang diberitakan oleh earthsky.org, terdapat suara dentuman dan terlihat adanya kilatan cahaya dari *fireball* dalam kurun waktu 3,5 detik yang disusul oleh pecahnya *fireball* tersebut (*airburst*). *International Meteor Organization* (IMO) melaporkan bahwa setidaknya terdapat 70

saksi mata yang melaporkan telah melihat adanya *fireball* ini.

Benda antariksa yang bertumbukan dengan Bumi dapat memberikan dampak yang beragam bagi lingkungan, bahkan pada evolusi Bumi (Howley & Wasem, 2014). Pada saat memasuki atmosfer Bumi, benda mengalami tekanan yang berbeda pada permukaan depan dan belakangnya, yang akan memicu ledakan di udara (*airburst*) (Collins et al., 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari jatuhnya *fireball* di Slovenia pada 28 Februari 2020 menggunakan *Earth Impact Effect Program* (EIEP). Hasil dari program ini akan dibandingkan dengan hasil pengamatan dari *US Government* (USG) sensors di laman <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>.



Gambar 1. Kejadian fireball di Slovenia 28 Februari 2020 yang terekam kamera dasbor mobil (sumber: https://youtu.be/7_x0RNrVlhc)

METODE

Menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif, penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan penentuan kasus *fireball* melalui laman <https://amsmeteors.org/fireballs/> yang menyertakan laporan pengamat yang melihat adanya kilatan cahaya di langit. Parameter yang digunakan dalam perhitungan adalah diameter benda induk *fireball* sebelum memasuki atmosfer Bumi, informasi kerapatan benda induk *fireball*, kecepatan benda induk *fireball* sebelum memasuki atmosfer Bumi, dan sudut datangnya. Selain itu diperlukan juga jarak pengamat terhadap lokasi terjadinya ledakan di udara (*ground zero*) sebagai masukan untuk mengestimasi dampak yang dirasakan pengamat dalam jarak tertentu. Selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan program berbasis web yaitu *Earth Impact Effect Program* (EIEP) pada laman <https://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEarth/ImpactEffects/>. Program dapat memperkirakan seberapa besar konsekuensi dari adanya interaksi *fireball* yang memasuki Bumi (Collins et al., 2005; Rachman, 2013).

Diameter

Ukuran dari benda sebelum memasuki atmosfer Bumi diperoleh dengan mengacu

kepada hasil penelitian Vida et al. (2021) yang mengkaji penentuan diameter berdasarkan fragmen meteor yang ditemukan di permukaan Bumi. Untuk *fireball* yang diteliti diperoleh nilai diameter benda induk sebesar 0,63 m.

Kerapatan *fireball*

Data kerapatan didapatkan berdasarkan klasifikasi jenis sampel meteorit yang ditemukan di permukaan yang tersedia di laman *Meteoritical Bulletin Database*

(<https://www.lpi.usra.edu/meteor/>). Meteorit dari *fireball* yang jatuh di Slovenia pada tanggal 28 Februari 2020 ini dikategorikan sebagai ordinary chondrite dari grup L tipe 5 (besi berkadar rendah (*low iron*)), dengan densitas sebesar 3620 kg/m^3 .

Kecepatan di luar atmosfer

Kecepatan benda induk *fireball* sebelum memasuki atmosfer Bumi merupakan informasi yang dibutuhkan untuk mengetahui energi yang dilepaskan selama tumbukan (McMullan & Collins, 2019). Nilai energi ini berkaitan dengan energi kinetik dari *fireball* sebelum memasuki atmosfer (Collins et al., 2005).

Benda alami akan memasuki atmosfer dengan kecepatan antara 11 km/s (nilai kelajuan lepas di permukaan Bumi) hingga 72 km/s (kelajuan tumbukan maksimum di

jarak 1 sa) (McMullan & Collins, 2019). Ketika memasuki atmosfer, nilai kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan nilai rata-rata kecepatan asteroid ketika menumbuk Bumi yang diprediksi dalam kisaran 12 km/s hingga 45 km/s, dengan nilai rata-rata 20,5 km/s (Le Feuvre & Wieczorek, 2011).

Sudut datang

Sudut datang merupakan sudut yang dibentuk oleh lintasan *fireball* sebelum memasuki atmosfer Bumi dengan bidang singgung pada permukaan Bumi (Collins et al., 2005). Menurut Collins et al. (2017) yang merujuk pada Shoemaker (1962), nyaris tidak ada benda antariksa yang membentuk sudut jatuh berbentuk vertical; benda antariksa yang memasuki atmosfer Bumi memiliki lintasan tertentu dengan nilai rata-rata sudut datang sebesar 45° dari horizon.

Energi Airburst

EIEP mengasumsikan ablasi yang terjadi di permukaan Bumi diabaikan. Untuk keadaan ini, maka ketinggian ketika energi *Airburst* per km yaitu turunan kedua dari E_{kp} adalah nol:

$$\frac{d^2 E_{kp}}{dz^2} |_{z = z_b} = 0 \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1, sisa energi kinetik pada ketinggian tertentu memiliki hubungan $E_{kp}(z_b) = e^{-1}$; sehingga pada ketinggian ketika *fireball* mengalami ledakan, dapat diestimasi sisa energi kinetik yang merupakan energi yang dilepaskan ketika mengalami ledakan besarnya yaitu sekitar sepertiga dari energi kinetik awal benda sebelum memasuki atmosfer Bumi (Collins et al., 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter yang digunakan untuk melakukan simulasi ditampilkan dalam Tabel 1. Program EIEP mengasumsikan bahwa bentuk benda induk berupa bola (Collins et al., 2005), sehingga nilai energi yang didapat sebelum memasuki atmosfer adalah energi kinetik dengan pendekatan volume bola dengan nilai sebesar

$9,96 \times 10^{10}$ Joules atau setara dengan $0,24 \times 10^{-4}$ megaton TNT. Ketika memasuki atmosfer Bumi, *fireball* akan mengalami perubahan kecepatan yang diakibatkan oleh gaya gravitasi dan hambatan atmosfer (Moorhead et al., 2019). Program EIEP mengasumsikan tidak adanya gaya gravitasi yang mempengaruhi perubahan kecepatan, sehingga *fireball* akan mulai mengalami keretakan pada ketinggian 50,7 km dari permukaan Bumi. *Fireball* mulai terfragmentasi akibat mengalami ledakan di udara menjadi kepingan pada ketinggian 47,9 km dari permukaan Bumi dan kepingan melanjutkan gerakannya dengan kelajuan 18,3 km/s. Energi yang dihasilkan dari ledakan di udara adalah $2,01 \times 10^{10}$ Joules atau setara dengan $0,48 \times 10^{-5}$ megaton TNT

Selain mendeskripsikan kondisi *fireball* selama proses memasuki atmosfer Bumi, diperoleh juga estimasi dampak yang dirasakan pengamat dengan jarak 1 km dari lokasi terjadinya ledakan di udara. Akibat ledakan yang terjadi, dapat dirasakan adanya gelombang kejut 2,42 menit setelah ledakan dan adanya tekanan maksimal akibat dari adanya gelombang kejut dengan nilai sebesar 12,4 – 24,8 Pa. Kecepatan maksimal angin yang akan dirasakan oleh pengamat dalam jarak 1 km sebesar 0,0292 m/s dan intensitas suara yang dihasilkan dari adanya ledakan di udara adalah 22 dB.

Kejadian *fireball* di Slovenia pada tanggal 28 Februari 2020 ini terekam pula oleh *US Government (USG) sensors* yang merekam kilatan cahaya di atmosfer Bumi menggunakan *Geostationary Lightning Mapper (GLM)* (Jenniskens et al., 2018) dan dapat diakses di laman <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>. Peristiwa *fireball* ini terekam oleh *USG sensors* dan memiliki energi sebesar $11,5 \times 10^{10}$ Joules atau setara dengan 0,34 kiloton TNT. Dengan demikian, hasil yang diperoleh dalam penelitian ini konsisten dengan hasil yang didapat oleh *USG sensors*.

Tabel 1. Parameter yang digunakan sebagai parameter masukan pada simulasi EIEP

No	Parameter	
1	Diameter (D)	0,63 meter
2	Kerapatan meteoroid (ρ_i)	3620 kg/m^3
3	Kecepatan (v_0)	20,5 km/s
4	Sudut jatuh ($^\circ$)	45 $^\circ$

Prosedur program EIEP hanya dapat diterapkan untuk benda penumbuk dengan diameter kurang dari 1 km (Collins et al., 2005, 2017), sehingga pemanfaatannya tepat untuk kasus *fireball* yang ditinjau dalam penelitian ini. Menggunakan hubungan antara diameter dan energi dari Brown et al. (2002), frekuensi kejadian *fireball* seperti yang terjadi di Slovenia ini diprediksi sebanyak 11 kejadian per bulannya yang dapat diamati dari seluruh bagian Bumi.

PENUTUP

Simulasi memanfaatkan program EIEP dalam kasus *fireball* di Slovenia pada 28 Februari 2020 memberikan hasil prediksi energi yang konsisten dengan yang diperoleh dari pengamatan *USG sensors*. Kesesuaian ini karena prosedur dalam program EIEP terbatas untuk benda penumbuk dengan diameter di luar atmosfer Bumi < 1 km. Pengembangan program serupa untuk dapat mengakomodasi pula ukuran > 1 km masih terbuka untuk dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini merupakan bagian dari penelitian yang didanai oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan-Riset dan Teknologi yang telah melalui kontrak bernomor 281/UN40.LP/PT.01.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

Brown, P., Spalding, R. E., Revelle, D. O., Tagliaferri, E., & Worden, S. P. (2002). The flux of small near-Earth objects colliding with the Earth. *Nature*, 420, 294–296. <https://doi.org/doi:10.1038/nature01238>

Collins, G. S., Lynch, E., McAdam, R., & Davison, T. M. (2017). A numerical assessment of simple airblast models of impact airbursts. *Meteoritics and Planetary Science*, 52(8), 1542–1560. <https://doi.org/10.1111/maps.12873>

Collins, G. S., Melosh, H. J., & Marcus, R. A. (2005). Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth. *Meteoritics and Planetary Science*, 40(6), 817–840. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2005.tb00157.x>

Howley, K., & Wasem, J. (2014). Acta Astronautica A simplified approach to uncertainty quantification for orbits in impulsive deflection scenarios. *Acta Astronautica*, 104(1), 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.06.041>

Jenniskens, P., Albers, J., Tillier, C. E., Edgington, S. F., Longenbaugh, R. S., Goodman, S. J., Rudlosky, S. D., Hildebrand, A. R., Hanton, L., Ciceri, F., Nowell, R., Lyytinen, E., Hladiuk, D., Free, D., Moskovitz, N., Bright, L., Johnston, C. O., & Stern, E. (2018). *Detection of meteoroid impacts by the Geostationary Lightning Mapper on the GOES-16 satellite*. 25. <https://doi.org/10.1111/maps.13137>

McMullan, S., & Collins, G. S. (2019). Uncertainty quantification in continuous fragmentation airburst models. *Icarus*, 327(July 2018), 19–35.

- <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.02.013>
- Moorhead, A., Cooke, B., Blaau, R., Moser, D., Ehlert, S. (2019). *A Meteoroid Handbook for Aerospace Engineers and Managers*.
- Rachman, A. (2013). *Metode Sederhana Untuk Memperoleh Karakteristik Asteroid Kecil Yang Jatuh Di Chelyabinsk Rusia Pada 15 Februari 2013 (a Simple Method To Obtain the Characteristics of a Small Asteroid Fell in Chelyabinsk Rusia in. 2013, 45–52.*
- Shoemaker. (1962). Interpretation of lunar craters. *Physics and Astronomy of the Moon*, 283–351.
- Vida, D., Šegon, D., Šegon, M., Atanackov, J., Ambrožič, B., & Mcfadden, L. (2021). *Novo Mesto meteorite fall – trajectory , orbit , and fragmentation analysis from optical observations. 15(Figure 1).*