

A Study Of The Antikythera's Mekanism As A Classical Astronomical Instrument And Its Implications For Eclipses

Syikma Riyadlil Jannah¹, Ahmad Izzuddin²

Fakultas Syariah dan Hukum Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang^{1,2}
Email: syikmathoba@gmail.com¹, izzuddin2008@yahoo.com²

Abstract: The circulation of celestial bodies at some point is on a straight line, including the phenomenon when the Earth, Moon, and Sun are in one line called an eclipse phenomenon. In predicting the occurrence of eclipses, scientists have created their works either in the form of calculations (tables) or with an instrument. In the 1900s, a bronze-based fragment was found which was then subjected to further research collaboration and produced an instrument called the Antikythera Mechanism. The instrument is also called an ancient computer that has high accuracy. As a test of the instrument's accuracy, scientists created a virtual reality model. This paper aims to open the treasures of classical astronomy (Falak Science) through classical instruments with a library research method. As for analyzing the data, the author uses a qualitative-descriptive approach. The results of this paper show that the Antikythera mechanism instrument is one of the classical instruments with very complicated components in ancient times which can then be used in determining the eclipse phenomenon. The prediction results contained in the instrument have high accuracy after testing the accuracy with NASA calculations.

Keywords: *Instrument, Antikythera Mechanism, Eclipse*

Abstract: Peredaran benda-benda langit suatu saat berada pada satu garis lurus, termasuk fenomena ketika Bumi, Bulan, dan Matahari dalam satu baris yang disebut dengan fenomena gerhana. Dalam memprediksi terjadinya gerhana, ilmuwan telah menciptakan karya-karyanya baik dalam bentuk perhitungan (tabel) ataupun dengan sebuah instrumen. Pada tahun 1900-an ditemukan sebuah fragmen-fragmen yang berbahan dasar perunggu yang kemudian dilakukan kolaborasi penelitian lebih lanjut dan menghasilkan instrumen bernama Mekanisme Antikythera. Instrumen tersebut disebut juga dengan komputer kuno yang memiliki keakuratan tinggi. Sebagai bentuk uji akurasi instrumen tersebut, ilmuwan membuat dalam model virtual reality. Tulisan ini bertujuan untuk membuka khazanah keilmuan klasik astronomi (Ilmu Falak) melalui instrumen klasik dengan metode penelitian library research. Adapun dalam menganalisis data, penulis menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif. Hasil dari tulisan ini menunjukkan, instrumen mekanisme Antikythera merupakan salah satu instrumen klasik dengan komponen yang sangat rumit pada zaman dahulu yang kemudian dapat digunakan dalam menentukan fenomena gerhana. Hasil prediksi yang terdapat pada instrumen tersebut memiliki keakuratan tinggi setelah dilakukan uji akurasi dengan perhitungan NASA.

Kata Kunci: *Instrumen, Mekanisme Antikythera, Gerhana*

PENDAHULUAN

Peredaran Matahari dan Bulan pada waktu dan posisi tertentu akan mengakibatkan suatu fenomena alam yang dikenal dengan sebutan “Gerhana”. Terjadinya suatu gerhana dapat diprediksi salah satunya dengan memperhatikan pergerakan benda langit tersebut. Pasalnya, pada tahun 1900-an, ditemukan sebuah bongkahan perunggu yang setelah diselidiki merupakan instrumen yang kemudian dinamakan dengan mekanisme Antikythera. Instrumen tersebut mendapat perhatian banyak peneliti karena keunikan dan ketelitian yang dimiliki. Setelah dilakukan telaah lebih lanjut, dengan komponen yang dimiliki mekanisme Antikythera dapat diindikasikan bahwa perhitungan



yang dilakukan oleh inisiator instrumen tersebut menduduki keakurasian tinggi yang jika saat ini dapat dilakukan komparasi dengan hasil perhitungan NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Gerhana, dalam bahasa Inggris dikenal dengan istilah “*Eclipse*” dan dalam bahasa Arab dikenal dengan “*Kusuf*” atau “*Kbusuf*”. Pada dasarnya istilah *Kusuf* dan *Kbusuf* dapat dipergunakan untuk menyebut gerhana Matahari maupun gerhana Bulan. Namun, pada umumnya, kata “*Kusuf*” lebih dikenal untuk menyebut gerhana Matahari, sedangkan kata “*Kbusuf*” untuk gerhana Bulan.¹ *Kusuf* memiliki arti “menutupi”. Ini menggambarkan adanya fenomena alam bahwa (dilihat dari Bumi) Bulan menutupi Matahari, sehingga terjadi gerhana Matahari. Sedangkan *Kbusuf* berarti “memasuki”, menggambarkan adanya fenomena alam bahwa Bulan memasuki bayangan Bumi, sehingga terjadi gerhana Bulan.² Fenomena Gerhana tidak dapat lepas dari hasil penemuan Johannes Kepler, astronom asal Jerman, yang hasil penemuannya tersebut dinamakan dengan istilah Hukum Kepler.³

Terjadinya gerhana saat ini terbilang mudah untuk dapat diketahui, baik dengan perhitungan atau cukup dengan melihat informasi melalui laman internet ataupun sosial media. Akan tetapi jika melihat zaman terdahulu, untuk mengidentifikasi suatu fenomena langit hanya dapat menggunakan mata telanjang. Berdasarkan karakteristik mata manusia, pengamat terdahulu menyimpulkan bahwa semua benda langit tekat erat pada bola-bola transparan yang berputar.⁴ Selain dengan mata telanjang, pengamat benda langit kuno juga menggunakan bantuan instrumen. Adanya instrumen tersebut memberikan hasil yang lebih baik daripada tidak menggunakan alat bantu sama sekali.⁵ Termasuk bukti adanya mekanisme Antikythera yang ditemukan oleh arkeolog Valerios Stais pada tahun 1901 di sebuah kapal karam di pantai Antikythera, sebuah pulau di antara Kreta dan Peloponnesos, Yunani.

Mekanisme Antikythera merupakan sebuah kalkulator mekanik yang diyakini sebagai salah satu cikal bakal komputer di dunia yang ditemukan pada zaman dahulu. Penelusuran usia instrumen tersebut dilakukan melalui bangkai kapal yang menurut ilmuwan menunjukkan kapal tenggelam antara 80-50 SM. Penelusuran lebih lanjut terhadap Mekanisme Antikythera tersebut sempat mengalami perdebatan antara ilmuwan, di mana salah satu pendapat menyatakan bahwa instrumen tersebut dapat dihubungkan dengan Astrolabe. Namun, pendapat lainnya menyanggah karena temuan tersebut sangat rumit jika dihubungkan

¹ Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik* (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2004).

² Ibid.

³ Martin Harwit, *Astrophysical Concepts* (New York: Springer, 2006).

⁴ Richard Kerner, *Our Celestial Clockwork: From Ancient Origins to Modern Astronomy of the Solar System, Observatory* (Paris: World Scientific, 2020).

⁵ Mohd Hafiz Safai et al., “The Modern Dimension of the Astrolabe as an Innovation of Ancient Technology,” *International Journal of Innovation, Creativity and Change* 13, no. 5 (2020): 61–75.

dengan Astrolabe.⁶ Astrolabe merupakan salah satu contoh instrumen klasik yang memproyeksikan bola langit di suatu tempat yang berbentuk piringan logam dengan lingkaran dan garis-garis yang tidak sederhana. Kehadiran astrolabe memberikan warna perkembangan sejarah peradaban manusia, khususnya dalam bidang astronomi.⁷

Perangkat Mekanisme Antikythera termasuk perangkat paling kompleks yang dikenal di zaman terdahulu. Namun demikian, hingga kini belum ada kajian khusus yang membahas detail terkait instrumen tersebut dengan fokus objek (fenomena) gerhana. Oleh karena itu, upaya mengungkap khazanah keilmuan klasik terkait instrumen mekanisme Antikythera dinilai penting yang kemudian dilakukan rekonstruksi instrumen sehingga perlu adanya tulisan sebagai dasar pengembangan tersebut. Selain itu, kajian instrumen klasik juga merupakan salah satu objek dalam ilmu falak, di mana ilmu falak dikategorikan sebagai suatu disiplin ilmu pengetahuan yang berdimensi Sains dan Agama sekaligus.⁸

METODE PENELITIAN

Instrumen dengan tingkat akurasi tinggi yang digunakan pada masa klasik sangat terbatas, sebagai salah satu contoh adalah instrumen mekanisme Antikythera. Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam pencarian data adalah penelitian kepustakaan (library research) dengan literatur-literatur yang berkaitan dengan mekanisme Antikythera sebagai data primer dan hal-hal yang berhubungan dengan gerhana. Adapun dalam menganalisis data, penulis menggunakan teknik pendekatan deskriptif yakni menggambarkan terlebih dahulu instrumen mekanisme Antikythera tersebut yang kemudian menggunakan teknik komparatif yakni dengan mengomparasikan perhitungan gerhana instrumen Antikythera dengan hasil perhitungan NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengertian dan Sejarah Gerhana

Gerhana, dalam bahasa Inggris dikenal dengan istilah “*Eclipse*” dan dalam bahasa Arab dikenal dengan “*Kusuf*” atau “*Khusuf*”. Pada dasarnya istilah *Kusuf* dan *Khusuf* dapat dipergunakan untuk menyebut gerhana Matahari maupun gerhana Bulan. Namun, pada umumnya, kata “*Kusuf*” lebih dikenal untuk menyebut gerhana Matahari, sedangkan kata “*Khusuf*” untuk gerhana Bulan.⁹ *Kusuf* memiliki arti “menutupi”. Ini menggambarkan adanya fenomena alam bahwa (dilihat dari

⁶ Derek de Solla Price, *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C.*, *Transactions of the American Philosophical Society*, vol. 64, 1974, doi:10.2307/1006146.

⁷ Fathor Rausi, “Astrolabe; Instrumen Astronomi Klasik Dan Kontribusinya Dalam Hisab Rukyat,” *Eljalaky* 3, no. 2 (2019): 120–37, doi:10.24252/ifk.v3i2.14149.

⁸ Sippah Chotban, “Membaca Ulang Relasi Sains Dan Agama Dalam Perspektif Nalar Ilmu Falak,” *Eljalaky* 4 (2020).

⁹ Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik* (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2004), 185.

Bumi) Bulan menutupi Matahari, sehingga terjadi gerhana Matahari. Sedangkan *Khusuf* berarti “memasuki”, menggambarkan adanya fenomena alam bahwa Bulan memasuki bayangan Bumi, sehingga terjadi gerhana Bulan.¹⁰

Gerhana Matahari akan terjadi pada saat ijtima' (konjungsi), di mana Bulan dan Matahari berada di salah satu titik simpul atau di dekatnya. Sedangkan gerhana Bulan akan terjadi pada saat istiqlal (oposisi), di mana Bulan berada pada salah satu titik simpul lainnya atau di dekatnya, sementara Matahari berada pada jarak bujur astronomi 180° dari posisi Bulan. Adapun alasan mengapa tidak setiap ijtima' akan terjadi gerhana Matahari dan tidak setiap istiqlal akan terjadi gerhana Bulan dikarenakan bidang elips lintasan Bumi dengan bidang ekliptika membentuk sudut 0° karena kedua bidang ini berimpit. Sedangkan bidang lintasan Bulan dan bidang ekliptika tidak berimpit, melainkan membuat sudut sebesar $5^\circ 8'$.¹¹

Gerhana Bulan merupakan salah satu fenomena langit tertua. Disebutkan dalam sejarah pada tahun 2283 SM., terdapat gerhana di Kota Mesopotamia dan gerhana di Cina pada tahun 1136 SM.. Dari awal abad ke-8 SM., jumlah gerhana yang diamati di Mesopotamia dan di wilayah Mediterania terus bertambah hingga seluruh Eropa. Gerhana Bulan kuno yang diamati dapat ditemukan dalam catatan yang dikumpulkan oleh Calvisius, Riccioli, dan Struyck. Sedangkan gerhana Bulan yang terjadi di Cina tersebut dikumpulkan oleh Gaubil¹².

Pengetahuan Gerhana Bulan dalam perkembangan astronomi tidak dapat diabaikan. Pada abad ke-4 SM., Aristote melihat dalam bentuk lingkaran tepi bayangan di setiap gerhana. Aristarchos dari Samos pada abad ke-3 SM dan Hipparchos pada abad ke-2 SM., mengusulkan penggunaan gerhana Bulan untuk penentuan dimensi relatif dari sistem Matahari-Bumi-Bulan. Hipparchos juga mengusulkan metode penentuan bujur geografis secara simultan pengamatan gerhana Bulan dari dua tempat yang jauh (berbeda). Ptolemy pada abad ke-2 AD., dan para astronom sesudahnya hingga saat ini menggunakan gerhana untuk menyelidiki atau memperbaiki teori gerakan Bulan.¹³

Pada abad ke-17 dan sebagian juga di abad ke-18, metode lama Hipparchos untuk penentuan bujur direvisi menggunakan jalur transit kawah di tepi bayangan seperti yang disarankan oleh Langrenus. Contoh gerhana pada tahun 1634 diamati di Kairo, Aleppo, dan bagian barat Eropa.¹⁴ Selain aspek astrometrik dari gerhana Bulan, beberapa pertimbangan astrofisika muncul

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

¹² F. Link, *Eclipse Phenomena in Astronomy* (New York: Springer, 1969).

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

dari abad ke-17, ketika visibilitas Bulan di umbra membuat penasaran para astronom. Licetus mengungkapkan pendapat bahwa visibilitas gerhana Bulan disebabkan oleh fosforesensi material Bulan setelah lama terpapar radiasi Matahari, tetapi penjelasan ini hanya diadopsi oleh beberapa astronom lainnya.¹⁵

Pada akhir abad ke-19, ketertarikan penelitian terhadap gerhana Bulan meningkat terutama dengan penjelasan teoritisnya. Fenomena tersebut tentu saja telah diketahui secara eksperimental sejak awal abad ke-18. Secara teoritis telah diselidiki selama dua abad kemudian oleh J. Hepperger dan H. Seeliger, sedangkan A. Brossinky dan J. Hart Mann melakukan reduksi baru dari rangkaian pengamatan lama untuk penentuan kenaikan eksperimental. Namun, kedua teori tersebut gagal memberikan penjelasan yang diharapkan. Hasil terakhir telah menunjukkan penemuan terkait hukum Danjon yang berhubungan dengan luminositas gerhana untuk aktivitas Matahari dengan kemungkinan menjelajahi atmosfer atas melalui gerhana Bulan¹⁶.

Matahari dan Bulan merupakan dua makhluk Allah yang sangat akrab dalam pandangan umat manusia di muka Bumi. Peredaran dan silih bergantinya yang sangat teratur merupakan ketetapan aturan sang Pencipta alam ini. Allah berfirman: “*Matahari dan Bulan (beredar) menurut perhitungan.*” (QS. Al-Rahman [55]: 5). Maka semua yang menakutkan dan luar biasa pada Matahari dan Bulan menunjukkan akan keagungan dan kebesaran Penciptanya.¹⁷ Manusia dapat beranggapan bahwa gerhana merupakan suatu metafora yang membuat manusia berasumsi yang luar biasa bahwa manusia dapat memandang kepada Tuhan dengan “sudut pandang” kita (manusia), atau lebih tepatnya sebagai makhluk. Seperti halnya dengan fisik mata kita melihat ke Matahari.¹⁸

Fenomena gerhana Matahari maupun Bulan merupakan hal biasa yang dialami oleh umat manusia sejak zaman dahulu kala. Sejalan dengan perkembangan intelektual dan ilmu pengetahuan yang dimiliki manusia, tanggapan terhadap terjadinya gerhana pun menjadi beragam. Pada zaman dahulu, keterbatasan intelektual, ilmu pengetahuan, dan sejalan dengan keyakinan primitif manusia, setiap gejala alam selalu dikaitkan dengan kekuatan-kekuatan supranatural, mitos-mitos dan keyakinan keagamaan. Mitos-mitos tersebut muncul pada zaman dahulu, bahkan sebagian masih ada yang mempercayainya hingga saat ini.¹⁹

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Muhammad Hadi Bashori, *Pengantar Ilmu Falak* (Jakarta: Pustaka Al-Kautsar, 2015).

¹⁸ Martin Buber, *Eclipse of God* (New Jersey: Princeton University Press, 2016).

¹⁹ Sayful Mujab, “Gerhana: Antara Mitos, Sains, Dan Islam,” *Yudisia, Jurnal Pemikiran Hukum Dan Hukum Islam* 5, No. 1 (2014): 84.

Gerhana Bulan terjadi saat sebagian atau keseluruhan penampang Bulan tertutup oleh bayangan Bumi. Itu terjadi jika Bumi berada di antara Matahari dan Bulan pada satu garis lurus yang sama, sehingga sinar Matahari tidak dapat mencapai Bulan sebab terhalangi oleh Bumi.²⁰ Bulan mengorbit Bumi, yang mana kedua benda langit tersebut jatuh bebas di sekitar Matahari. Bumi memiliki bobot sebesar delapan puluh satu kali lebih berat daripada Bulan. Untuk mengukur jarak, astronom melakukan observasi dengan mengandalkan cermin Bulan, yang dikenal sebagai reflektor retro. Cahaya dari Bumi yang menerpa cermin dipantulkan kembali di sepanjang jalur yang sama untuk mencapai cermin. Dengan mencatat waktu perjalanan pulang pergi antara observatorium berbasis Bumi dan cermin, para astronom telah menyematkannya menyusuri jarak Bumi dengan Bulan — sekitar 385.000 kilometer rata-rata — hingga beberapa sentimeter.²¹

Fenomena Gerhana tidak dapat lepas dari hasil penemuan Johannes Kepler, astronom asal Jerman, yang hasil penemuannya tersebut dinamakan dengan istilah Hukum Kepler. Termasuk ilmuwan ternama, Newton, astronom asal Inggris, telah mengetahui sejumlah fakta tentang gerak Bulan dan dia melakukan perhitungan untuk menunjukkan bahwa Bulan bergerak dalam segala hal seperti proyek ditempatkan ke orbit di sekitar Bumi. Selain eksperimen Galileo, Newton juga mengetahui hasil observasi Kepler. Hukum Kepler merangkum tiga pengamatan utama:

1. Orbit planet yang bergerak mengelilingi Matahari adalah elips.
2. Area tersapu oleh vektor jari-jari yang menghubungkan Matahari dan sebuah planet adalah sama dalam interval waktu yang sama. Kecepatan sudut Matahari kecil saat planet itu jauh dan besar bila planet itu dekat dengan Matahari. Bulan menunjukkan hal yang sama saat mengorbit Bumi.
3. Periode yang dibutuhkan planet untuk menggambarkan orbit elips lengkap di sekitar Matahari terkait dengan panjang sumbu semi mayor elips. Kuadrat dari periode Planet sebanding dengan pangkat tiga dari sumbu semi mayor a (jarak rata-rata planet dari Matahari).²²

Sejarah dan Deskripsi Mekanisme Antikythera

Pada tahun 1900, kapten Dimitrios Kontos dan krunya adalah penyelam dari pulau Syri di Aegean. Setelah aktivitas rutin musim panas, kelompok penyelam tersebut berlayar pulang ke

²⁰ Alimuddin, "Gerhana Matahari Perpektif Astronomi," *Al-Daulah* 3, No. 1 (2014): 74.

²¹ Ron Cowen, *Gravity's Century* (Cambridge: Harvard University Press, 2009).

²² Harwit, *Astrophysical Concepts*.

Symi dari Tunisia. Namun, akibat badai hebat di laut, kelompok penyelam tersebut tidak dapat pulang. Penyelam Yunani ini terdorong keluar jalur oleh angin kencang dan secara tidak sengaja datang ke pulau Antikythera yang berada di tengah antara Peloponnese dan Kreta, pulau kecil dengan luas sekitar 20 km². Setelah berlindung di pulau tersebut selama beberapa hari, mereka bertekad untuk melanjutkan pekerjaan di dekat pulau Antikythera. Pada saat melakukan penyelaman mereka menemukan bangkai kapal antik di kedalaman 42 m. Selain patung-patung perunggu dan marmer dalam jumlah besar, kapal karam ini berisi kotak kayu yang tertutup oleh batu kapur dan lumut. Adapun hasil semua penggalian yang ditemukan di kapal karam.

Kotak kayu hasil ekskavasi yang ditemukan tidak seperti hasil penggalian sebelumnya yang menarik pandangan arkeolog. Namun kemudian, perangkat Antikythera tersebut mencuri perhatian Valerios Stais, direktur Museum Arkeologi Nasional Athena pada waktu itu. Saat hasil galian yang rusak tersebut pecah menjadi pecahan-pecahan dan memperlihatkan lapisan luar kepingan perunggu, Stais secara tidak sengaja menemukan bahwa susunan roda gigi perunggu yang menakjubkan, segitiga terpotong dari tengah roda yang tersembunyi di bawah kotak kayu biasa. Berdasarkan hasil pengamatan melalui roda gigi dan ketepatan pemotongannya, ia segera memberikan pernyataan bahwa bangkai kapal Antikythera merupakan perbendaharaan budaya.

Mekanisme Antikythera kemungkinan dirancang di Rhodes, pada abad kedua SM. berdasarkan bukti sebelumnya dari laporan serupa Archimedes (287-212 SM) sebagai konstruktor perangkat, yang menggambarkan benda langit. Gaya huruf temuan tersebut menunjukkan konstruksinya pada periode 50-200 SM. Dalam memahami mekanisme diperlukan mengetahui anomali bulan. Diketahui melalui Ptolemeus bahwa Hipparchus (190-120 SM) memetakan dan mengukur anomali dengan model episiklik dan eksentrik dari orbit bulan. Pembuatannya dilakukan setelah 170 SM dan mengharuskan nilai-nilai Hipparchus dilibatkan.

Mekanisme Antikythera merupakan salah satu artefak yang dikenal kegunaannya untuk bidang astronomi. Sebuah artefak diperiksa dan dilakukan upaya untuk menarik analogi dengan catatan sejarah. Semakin banyak persamaan yang dapat ditemukan, semakin besar kemungkinan diterima oleh arkeolog lain. Analisis artefak ke deskripsi perangkat serupa yang dijelaskan oleh Cicero, menunjukkan penggunaan yang masuk akal untuk perangkat tersebut dengan diperkuat dengan keberadaan simbol yang terdapat dalam mekanisme tersebut sehingga memungkinkan alat tersebut untuk dibaca.²³

Penelitian perangkat astronomi Antikythera, yang disimpan di Museum Arkeologi Nasional di Athena saat ini berupa fragmen. Jumlah total fragmen yang digali adalah 82 buah. Mereka

²³ Richard Pearson, *The History of Astronomy - Richard Pearson* (Nottingham: Bellevue Court Nottingham, 2020).

termasuk 7 fragmen utama (A-G) dan 75 fragmen kecil). Untuk posisi perakitan fragmen yang digali ini, fragmen A, B, C, dan D berada di bagian atas perangkat, dan fragmen E, F, dan G berada di bawah 4 fragmen utama ini. Fragmen yang tersisa tidak dapat dipastikan, bahkan tidak dapat dikonfirmasi sebagai bagian dari perangkat. Perangkat Antikythera dipahami sebagai mekanisme dengan 29 roda gigi yang telah dikonfirmasi dari bukti yang masih bertahan. Sebagian besar roda gigi yang terdeteksi terdapat dalam fragmen A. Sebuah roda gigi besar yang khas yang dilubangi sebagai divisi seperempat.



Gambar 1. Fragmen Mekanisme Antikythera

Ukuran, luas, ketebalan, dan berat masing-masing fragmen diukur dengan peralatan modern. Hasil deteksi terakhir menunjukkan fragmen terbesar yaitu fragmen A berukuran sekitar 224,209 cm², dan terkecil berukuran sekitar 0,146 cm². Kesalahan pengukuran di daerah diperkirakan tidak lebih dari 0,01 cm². Untuk ketebalan bagian logam dari fragmen ini, mereka hampir antara 1 dan 2 mm. Beberapa fragmen terdiri dari beberapa lapisan yang terlihat. Dan jumlah lapisan yang terkandung sebagian besar sekitar 6-7 lapisan. Selain itu, fragmen ini cukup ringan dan yang terberat adalah fragmen A, sekitar 369,1 g. Pada dasarnya, data geometrik utama berasal dari *computed tomography* (CT) sinar-X mikrofokus, yang merupakan teknik yang sama sekali tidak merusak objek. Data pengukuran yang diketahui saat ini lebih akurat dan sepenuhnya bergantung pada kemampuan detektor dan identifikasi peneliti.²⁴

Di antara banyak fungsinya dapat ditemukan contoh fisik pertama yang diketahui dari penunjuk yang merujuk pada penanda instrumen yang bergradasi halus, transmisi gerakan melalui poros koaksial, dan roda gigi diferensial, matematis, dan episiklik. Mekanisme tersebut sengaja merepresentasikan konsep-konsep langit seperti garis bujur ekliptika dan fase bulan, prediksi gerhana melalui apa yang disebut siklus 'Saros', dan anomali bulan sebagaimana dipahami oleh Hipparchus. Mekanisme tersebut secara luas juga telah menggabungkan tampilan mekanis dari lima planet yang dapat dilihat dengan mata telanjang yang dikenal pada zaman kuno. Selain indikasi astronomi, mekanisme tersebut menampilkan data kalender seperti siklus Metonik 19 tahun, siklus

²⁴ Jian Liang Lin and Hong Sen Yan, *Decoding the Mechanisms of Antikythera Astronomical Device, Decoding the Mechanisms of Antikythera Astronomical Device*, 2016, doi:10.1007/978-3-662-48447-0.

empat tahun dari permainan pan-Hellenic, dan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mengulang proyeksi siklus setidaknya beberapa ratus tahun.²⁵

Mekanisme Antikythera merupakan perangkat roda gigi yang dioperasikan dengan tangan. Di mana dengan roda gigi tersebut menjadi dasar terobosan untuk membuat prediksi astronomi, dengan mekanisasi siklus dan teori astronomi.²⁶ Seorang pengguna dapat mengarahkan penunjuk ke tanggal dan Mekanisme yang diinginkan secara bersamaan menghitung berbagai fenomena astronomi. Lebih dari 39 roda gigi diputar secara bersamaan untuk memutar tujuh penunjuk dengan delapan indikasi aktif dari berbagai skala ilmiah. Hal tersebut digunakan untuk menghitung pergerakan tahunan dari Matahari, Bulan, dan memungkinkan juga planet serta bintang. Mekanisme menurut pengetahuan astronomi orang Yunani kuno tentang gerak benda-benda langit tersebut termasuk dalam akurasi yang luar biasa, mengingat anomali orbit Bulan menggunakan sistem roda gigi eksentrik. Hal tersebut juga dapat memprediksi gerhana Matahari dan Bulan berdasarkan periode Saros, yang ditemukan di salah satu sisiknya.

Perangkat memiliki siklus kemungkinan gerhana Bulan dan siklus kemungkinan gerhana Matahari. Perangkat di mana tidak ada gerhana yang bisa terjadi maka dibiarkan kosong. Jika bulan yang diwakili oleh perangkat memiliki kemungkinan gerhana Bulan, perangkat tersebut bertuliskan teks yang menunjukkan hal tersebut dan memberikan waktu siang atau malam yang terkait dengan potensi gerhana. Karena perangkatnya kecil, teks-teks ini menggunakan notasi yang sangat disingkat, dan karenanya mereka memperoleh nama "*eclipse glyphs*". Elemen pertama dalam pernyataan kemungkinan bulan adalah sigma, yang pertama huruf *Selene* (Bulan). Jika waktu yang terkait adalah siang hari, diikuti oleh singkatan yang dibentuk dari dua huruf Yunani pertama yang mengeja *Hemeras* (hari). Berikutnya adalah singkatan terdiri dari huruf pertama *Hora* (jam), dan terakhir angka antara 1 dan 12 untuk jumlah jam. Kemungkinan gerhana Matahari memiliki format yang sama, kecuali elemen pertama adalah beta. H, huruf pertama *Helios* (Matahari), dan bahwa jam malam diawali dengan singkatan dari huruf pertama *Nyktos* (malam).²⁷

Setiap perangkat bertuliskan satu atau lebih kemungkinan gerhana yang berisi huruf indeks di bagian bawah perangkat. Hal tersebut memiliki tujuan yang mirip dengan huruf indeks pada dial Zodiak, menghubungkan perangkat ke teks yang tertulis di tempat lain di bagian belakang mekanisme yang menunjukkan lebih banyak tentang peristiwa yang diprediksi. Untuk saat ini

²⁵ C Budiselic et al., "The Antikythera Mechanism. Evidence of a Lunar Calendar.," *Horological Journal*, no. June (2020): 1–23.

²⁶ Tony Freeth et al., "A Model of the Cosmos in the Ancient Greek Antikythera Mechanism," *Scientific Reports* 11, no. 1 (2021): 1–15, doi:10.1038/s41598-021-84310-w.

²⁷ Tony Freeth, "Revising the Eclipse Prediction Scheme in the Antikythera Mechanism," *Palgrave Communications* 5, no. 1 (2019), doi:10.1057/s41599-018-0210-9.

pengamatan huruf-huruf tersebut melewati 24 huruf alfabet Yunani dua kali, diikuti oleh satu atau dua simbol tambahan untuk sel-sel tertulis terakhir dari siklus Saros (huruf-huruf dari urutan abjad kedua dibedakan oleh horizontal goresan di atas huruf). Huruf indeks ini membantu pengguna merekonstruksi pola kemungkinan gerhana yang ditampilkan pada dial, karena telah ditunjukkan berapa banyak sel tertulis yang ada di celah antara bagian skala dial yang diawetkan.

Terkait prediksi gerhana Bulan, siklus dial disusun sangat mirip dengan seri besar tabel Babilonia yang mencatat gerhana Bulan dan prediksi gerhana dalam format tabel. Dalam tabel, kolom berdiri untuk siklus Saros. Pada dial, strip spiral dari 223 sel memiliki fungsi skala. Siklus kedua, terdiri dari satu set lengkap 38 kemungkinan gerhana pada interval enam dan sesekali lima bulan. Urutan mungkin dibuat dengan memulai dengan urutan lengkap dari 38 kemungkinan pada interval enam dan lima bulan, dan kemudian menghapus dari daftar konjungsi di mana Bulan dihitung lebih dari satu ambang batas selatan ekliptika tertentu yang mana alasan penghilangan tersebut adalah paralaks.

Mekanisme ini dirancang untuk pengguna di belahan Bumi Utara dan khususnya di wilayah Mediterania, dan untuk pengamat pada garis lintang seperti itu, Bulan selalu tampak sedikit ke selatan dari posisinya yang dihitung sehubungan dengan pusat Bumi. Siapa pun yang menyusun urutan kemungkinan gerhana berasumsi bahwa untuk beberapa dari 38 kemungkinan gerhana lengkap, Bulan akan selalu melewati selatan piringan Matahari. Di sisi lain, tidak juga memasukkan kemungkinan gerhana tambahan yang berhubungan dengan konjungsi ketika Bulan dihitung melewati utara Matahari dengan margin yang cukup kecil bagi paralaks untuk menggeser posisi tampak sehingga tumpang tindih dengan Matahari; dengan kata lain, kondisi yang memungkinkan terjadinya gerhana Matahari dianggap lebih ketat daripada kondisi yang memungkinkan terjadinya gerhana Bulan.

Derek de Solla-Price adalah sarjana pertama yang mempelajari fungsi Mekanisme Antikythera secara luas, dengan bantuan Charalambos Karakalos dari Research Center Demokritos, Yunani. Dia bekerja selama lebih dari 30 tahun dan akhirnya menerbitkan akun, dikenal sebagai "Gears dari Yunani". Dia menyatakan bahwa "Mekanisme Antikythera adalah bukti tertua teknologi ilmiah yang bertahan hari ini dan benar-benar mengubah pandangan terhadap Teknologi Yunani kuno". Kelanjutan penelitian diambil oleh Michael Wright dan Alan Bromley. Sayangnya Alan Bromley meninggal pada tahun 2002. Namun, Michael Wright menerbitkan serangkaian makalah, di mana dia menegaskan bahwa putaran belakang Mekanisme adalah spiral dan bagian atas dial dibangun untuk mengikuti bulan lunar. Dia juga menguraikan pin dan slot dan membuktikan fungsi episikliknya. Dia merekonstruksi Mekanisme dan menghasilkan replika perunggu yang luar biasa.

Pada tahun 2001, John Seiradakis (Universitas Aristoteles Thessaloniki, Yunani), Mike Edmunds dan Tony Freeth (Universitas Cardiff, Inggris), dan Xenophon Moussas dan Yanis Bitsakis (Universitas Nasional dan Kapodistriani Athena, Yunani) menciptakan “Mekanisme Antikythera Kelompok Riset”. Mereka menerima hibah dari Leverhulme Foundation, Inggris dengan misi untuk melakukan penyelidikan baru dari Kementerian Kebudayaan Yunani. Setelah izin diberikan, Eleni Magkou dan Mary Zafeiropoulou (Arkeologi Nasional Museum Athena, Yunani) dan Agamemnon Tselikas (Yayasan Budaya Bank Nasional Yunani) bergabung dengan tim, yang segera didukung oleh tim internasional yang terdiri dari astronom, arkeolog, matematikawan, fisikawan, kimiawan, insinyur komputer, insinyur mesin, ahli epigraf, dan ahli papirologi.

Pada bulan September 2005, mereka melakukan penyelidikan baru yang besar terhadap mekanisme Antikythera, menggunakan sinar-X mikro-fokus berdaya tinggi yang inovatif dan canggih tomografi, terutama dibangun oleh X-Tek Systems dan Hewlett Packard, USA, teknik PTM Dome. Pada November 2006, hasil penyelidikan diumumkan selama konferensi Internasional di Athena dan diterbitkan dalam jurnal Internasional Nature. Gambar tiga dimensi itu diperoleh ketika fragmen mekanisme kuno diperiksa secara internal dengan detail persneling dan prasasti yang tetap tersembunyi di dasar laut Antikythera lebih dari dua ribu tahun. Semua prasasti ditulis dalam bahasa Yunani. *Font* baru telah dikembangkan di Aristoteles University of Thessaloniki, Yunani, yang mereproduksi huruf seni rupa. Menyadari pentingnya Mekanisme Antikythera di Universitas Aristoteles dari Thessaloniki (AUTH), Yunani, sebuah kelompok peneliti aktif dibentuk. Beberapa temuan barunya telah diungkapkan dan dipublikasikan.

Mekanisme Antikythera memiliki tampilan depan dan belakang dengan prasasti astronomi dan geografis yang menutupi sebagian besar bagian luar yang kemudian dilakukan rekonstruksi mekanisme tersebut. Dimensinya sekira $30 \times 20 \times 10$ cm. Mekanisme Antikythera adalah instrumen yang rumit yang belum ditemukan instrumen serupa sebelumnya. Oleh karena itu, hal umum jika disertai dengan pengguna manual yang ekstensif. Prasasti baru tersebut belum dibaca selama lebih dari 2000 tahun, terutama dengan tomografi fokus mikro sinar-X. Sekitar 3500 huruf dan simbol kini telah diuraikan. Mereka semua terbagi dalam tiga kategori besar: prasasti astronomi, prasasti geografis, dan prasasti teknis. Beberapa istilah astronomi telah dibaca mengacu pada Matahari, Bulan, Ekliptika (atau Siklus Zodiak), siklus Metonik, Saros, dan fenomena astronomi lainnya. Kata “ΣΤΗΠΙΜΟΣ” (titik stasioner) disebutkan beberapa kali, mengacu pada titik-titik stasioner orbit planet. Mekanisme memiliki 7 penunjuk, yang menyediakan 8 penunjuk dalam skalanya (penunjuk Bulan memberikan dua indikasi). Terdapat tiga tombol utama; satu di sisi depan dengan dua sisik konsentris dan dua di belakang berbentuk spiral

Analisis dari roda gigi tersebut mengungkapkan penggunaannya dalam menghitung posisi Matahari dan Bulan yang tepat (dalam satu derajat) pada Siklus Zodiak. Posisi ini ditunjukkan oleh penunjuk dial depan. Secara bersamaan, sebuah poin gigi ditemukan untuk menggerakkan *spherule* berwarna hitam dan

putih menunjukkan fase Bulan. Bagian pelat depan Mekanisme, yang membuktikan strukturnya, telah disimpan hanya dalam fragmen C dengan pengecualian beberapa bagian yang sangat kecil dari 'parapegma' yang telah dibaca di beberapa fragmen kecil. Sebuah 'parapegma' adalah permulaan untuk almanak modern. Pada awalnya adalah tabel yang berhubungan dengan fase bintang dan cuaca yang sesuai. Dalam fragmen C, sekitar 1/4 diawetkan oleh skala melingkar konsentris ganda yang mungkin ditempatkan sekira di tengah pelat depan.

Tahun kabisa ditetapkan dengan kalender Julian oleh Julius Caesar pada 40 SM, lebih lambat dari tanggal pembuatan Mekanisme. Ptolemy-III-Euergetes (246–221 SM) mereformasi kalender yang memperkenalkan tahun kabisa. Keputusan Canopus, deklarasi yang diterbitkan oleh sinode para imam Mesir, menunjukkan bahwa durasi sebenarnya dari tahun ($365 \frac{1}{4}$ hari) diakui, dan satu hari ekstra ditambahkan ke kalender setiap empat bertahun-tahun.

Skala lingkaran internal menggambarkan Siklus Zodiak memiliki 360 subdivisi dengan masing-masing dari 12 konstelasi zodiak memiliki 30 subdivisi. Jalannya siklus Zodiak diikuti oleh Matahari selama gerakan di langit selama satu tahun matahari, dan dengan demikian dasarnya sama dengan tahun matahari. Yakni, gerakan 360 derajat Matahari mengelilingi Bumi, diproyeksikan pada Siklus Zodiak, sesuai dengan periode sekitar 365 hari (tahun matahari). Bagian dari Siklus Zodiak yang telah disimpan adalah bagian dari konstelasi zodiak Virgo ($\Pi\text{A}\rho\Theta\text{E}\text{N}\text{O}\Sigma$), Libra ($\text{X}\text{H}\Lambda\text{A}\text{I}$), Scorpio ($\Sigma\text{K}\text{O}\rho\text{I}\text{I}\text{O}\Sigma$) dan Sagitarius ($\text{T}\text{O}\Xi\text{O}\text{T}\text{H}\Sigma$), dengan Virgo dan Sagitarius hanya bertahan sebagian.

Kalender Mesir

Bulan-bulan pada mekanisme adalah bulan-bulan dari kalender Mesir, ditulis dalam bahasa Yunani. Kalender Mesir kuno penting karena termasuk untuk pertama kalinya dalam sejarah prinsip dasar bahwa panjang tahun sama hingga 365 hari. Selain kalender ini, orang Mesir kuno secara bersamaan menggunakan kalender kedua berdasarkan fase bulan.

Fenomena terbitnya Matahari dan Sirius yang hampir bersamaan disebut Heliacal terbitnya Sirius (terbit pagi, $\text{E}\Omega\text{I}\text{A}\ \text{E}\Pi\text{I}\text{T}\text{O}\Lambda\text{H}$ atau $\text{E}\Omega\Theta\text{I}\text{N}\text{H}\ \text{E}\Pi\text{I}\text{T}\text{O}\Lambda\text{H}$). Heliacal terbitnya Sirius terjadi sekitar akhir Juli dan menentukan awal dari Tahun Mesir, yang karena alasan ini disebut "Anjing" atau "Sinis", karena Sirius (dikenal bahasa sehari-hari sebagai "Bintang Anjing") adalah bintang paling terang di konstelasi Canis Major ($\text{M}\text{E}\Gamma\text{A}\Sigma\ \text{K}\text{Y}\Omega\text{N}$), sementara pada saat yang sama diidentifikasi dengan dewa kepala anjing Anubis.

Sebuah plakat yang ditemukan di makam dinasti pertama di Abydos menemukan Sirius sebagai pembawa tahun baru dan banjir Sungai Nil. Untuk alasan yang sama, Plutarch, dalam bukunya Isidore, mencirikan Sirius sebagai "saluran air" ($\Upsilon\Delta\text{P}\text{A}\Gamma\Omega\text{F}\text{O}\text{N}$), untuk menekankan hal itu dia harus disalahkan atas banjir Sungai Nil. Tanggal penampilan kalender Sirius, bagaimanapun berubah selama bertahun-

tahun dan menyimpang dari tanggal sebenarnya, karena fakta bahwa orang Mesir menggunakan perkiraan tahun matahari 365 hari dan bukan 365,25 hari.

Kalender Mesir utama yang lebih tua dari dua sistem adalah kalender lunar dibagi menjadi 12 bulan sinodis. Setiap bulan lunar dimulai dengan bulan baru. Sejak kalender lunar 10 atau 11 hari lebih pendek dari tahun matahari, bulan ke-13 diselangi setiap beberapa tahun untuk menjaga kalender lunar dalam korespondensi kasar dengan musim pertanian dan hari raya mereka. Bulan pertama kalender lunar dan kalender solar, yang didirikan kemudian didedikasikan untuk pembagi besar waktu, dewa Astronomi Thoth ($\Theta\Omega\Theta$).

Sirius disebut Thoth karena kebangkitan Heliakalnya bertepatan dengan, atau diindikasikan, Thoth, bulan pertama tahun Mesir. Dia dipuja sebagai Sihor, bintang Sungai Nil, sebagai Sothi ini dan Siris. Orang Mesir kuno masih percaya bahwa Sirius adalah tempat tinggal jiwa, sementara pada saat yang sama mereka percaya bahwa radiasi dari wilayah Sirius memmeriahkan makhluk Bumi. Total lamanya satu tahun bagi orang Mesir kuno adalah sama dengan 365 hari dan kesalahan berkurang menjadi sekitar 0,25 hari per tahun, sejak durasi tropis tahun dianggap sama dengan 365,25 hari. Hal yang janggal adalah meskipun para pendeta-astronom menyadari kesalahan ini sekitar 6 jam per tahun, namun mereka tidak melakukan koreksi apapun.

Kalender Julian

Kalender sipil Mesir diubah oleh Julius Caesar 46 SM dengan penambahan hari tahun kabisat yang terjadi setiap empat tahun sekali. Menjelang 40-an SM kalender Romawi tiga bulan lebih cepat dari kalender matahari, Caesar memperkenalkan kalender matahari Mesir, mengambil panjang tahun matahari sebagai $365 \frac{1}{4}$ hari. Tahun dibagi menjadi 12 bulan, yang semuanya memiliki 30 atau 31 hari kecuali Februari, yang berisi 28 hari umum (365 hari) tahun dan 29 di setiap tahun keempat (tahun kabisat, dari 366 hari). Tahun kabisat berulang 23 Februari; tanggal 29 Februari tidak ada di Kalender Julian.

Kalender Gregorian

Panjang tahun kalender Julian ditaksir terlalu tinggi sebesar 11 menit 14 detik. Kesalahan ini di pertengahan 1500 telah menggeser tanggal musim sekitar 10 hari dari waktu Caesar. Paus Gregorius XIII memulihkan kalender tahun 1582 ke tanggal musiman tahun 325 M, sebuah penyesuaian dari 10 hari. Hampir semua gereja Ortodoks Timur menggunakan kalender Julian untuk menetapkannya tanggal perayaan seperti Paskah.

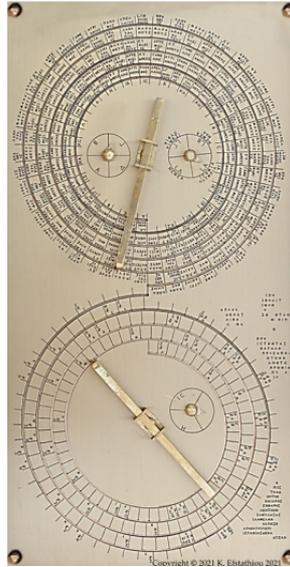
Tampilan Belakang Perangkat

Sisi belakang Mekanisme terdapat dua sisik spiral. Spiral atas terdiri dari 5 belitan, dengan panjang totalnya dibagi menjadi 235 bagian. Menggunakan dial ini, pengguna bisa membaca posisi Bulan dalam Siklus Metonik (432 SM) 19 tahun tropis sebanyak 365,2422 hari, yang hampir sama dengan 235 bulan sinodik (lunar) sebanyak 29,5306 hari. Selisih antara dua periode (dari 19 tahun tropis dan 235 bulan sinodis) hanya 2 jam. Pengetahuan ini memungkinkan perhitungan hari yang tepat dari bulan purnama, pengetahuan yang berguna untuk kegiatan pertanian atau bahari 2000 tahun yang lalu, saat tidak ada listrik tersedia. Keakuratan posisi Bulan dicapai dengan pin dan slot mekanisme yang merekonstruksi anomali pertama Hipparchus (190–120 SM) dari gerak (karena orbitnya yang elips mengelilingi Bumi).

Calippus (370–300 SM) 100 tahun kemudian mengoreksi sistem penanggalan Metonik. Masing-masing empat periode Metonik, yaitu setiap 76 tahun, satu hari perlu dihilangkan. Kaligrafi pointer dari dial pembantu dalam spiral belakang atas Mekanisme Antikythera ditunjukkan saat koreksi terjadi.

Dial tambahan dalam spiral belakang atas Mekanisme Antikythera menampilkan tanggal perayaan permainan Panhellenic kuno. Di lingkaran dial, tulisan Olympia, Pythia, Isthmia, Nemea, Naa, dan Halieia diuraikan. Secara internal, di setiap kuadran, ditunjukkan empat tahun siklus Olimpiade. Dial punggung bawah adalah dial prediksi gerhana Saros, disusun sebagai spiral empat putaran. Pelat jam ini berisi Siklus Saros gerhana 223 bulan (kira-kira 6585,3213 hari, atau hampir 18 tahun dan 11 1/3 hari). Sebanyak 223 bulan lunar (satu Siklus Saros) setelah satu gerhana, Matahari, Bumi, dan Bulan kembali ke geometri relatif yang kira-kira sama, dan siklus gerhana baru yang hampir identik dimulai. Siklus Saros ditandai dengan tanggal (bulan, hari, dan jam) ketika kemungkinan gerhana matahari atau bulan akan terjadi. Tanda-tanda diukir dengan simbol ("H" ΗΛΙΟΣ Sun, "Σ" ΣΕΛΗΝΗ Moon, dan lain-lain.).

Dial Exeligmos di dalam dial Saros, memperpanjang prediksi gerhana kemampuan untuk tiga Siklus Saros, menunjukkan bahwa 8 dan 16 jam harus ditambahkan masing-masing dalam Siklus Saros kedua dan ketiga hingga waktu gerhana, seperti yang ditunjukkan oleh prasasti.



Gambar 2. Bagian Belakang Mekanisme Antikythera (Sumber: K. Esfathiou, 2021)

Bagian unik dari Mekanisme adalah fase bulan dan anomali pergerakan bulan. Pada abad ke-17, dalam kaitannya dengan gerakan Matahari dan Bulan, Johannes Kepler mengklaim bahwa “gerakan melingkar yang tidak melingkar” dan menyatakan bahwa itu adalah orbit elips (hukum pertama dan kedua Kepler). Di dalam Mekanisme, sistem roda gigi diidentifikasi, yang mensimulasikan gerakan ini dengan akurasi yang luar biasa.

Mekanisme Antikythera merupakan komputer analog roda gigi pertama yang masih bertahan sejarah. Perangkat roda gigi berikutnya yang masih ada adalah kalender jam Bizantium, yang dibuat pada abad kelima atau keenam. Lebih dari 800 tahun kemudian, kalkulator mekanik berikutnya dibangun. Pada awal abad ke-13, indikator astronomi Patrick, 50 tahun kemudian (1348–1364) jam astronomi Dondi, dan pada tahun 1410 jam astronomi Praha jam kompleksitas yang mirip dengan Mekanisme. Pada abad ke-17, kalkulator dari Schickard (kolaborator Kepler) dan Pascaline dari ilmuwan besar Perancis Pascal telah dibuat.

Tujuan dari diciptakan Mekanisme tersebut belum diketahui. Identitas dari pembuatnya juga tidak diketahui, tetapi mempertimbangkan keragaman keahlian dan pengetahuan yang dibutuhkan, untuk membangun perangkat yang begitu rumit, kolaborasi antara seorang astronom/ahli matematika dan seorang mekanik diperlukan. Prasasti di bagian belakang sampul berada di tangan yang berbeda dari yang lain, menunjukkan bahwa setidaknya dua orang mengerjakannya mesin.

Kegunaan utama dari Mekanisme Antikythera adalah untuk menghitung posisi yang tepat dari Matahari, Bulan dan mungkin planet-planet di langit, serta fase Bulan dan gerhana Bulan atau matahari. Menariknya, selain prediksi astronomi, Mekanisme dapat menentukan tanggal yang berkaitan dengan agama, sosial dan pertanian ritual dan perayaan.

Dial dalam spiral belakang atas Mekanisme Antikythera ditampilkan tanggal Pertandingan Olimpiade, yang diadakan selama yang pertama atau kedua Bulan Purnama setelah titik balik matahari musim panas. Untuk mengetahui tanggal pastinya, pengguna harus bisa menghitung fase bulan purnama ini (Mekanisme dapat secara akurat menghitung tanggal tersebut). Tidak hanya Pertandingan Olimpiade tetapi pertandingan mahkota Isthmia (Corinth), Nemea (Nemea), Pythia (Delphi), Naa (Dodona) dan Halieia (Rhodes).

Fungsi prediksi gerhana Mekanisme Antikythera terdiri dari tiga elemen, yaitu:

1. Dial Saros berbentuk spiral dan skalanya, dibagi menjadi 223 sel yang mewakili 223 bulan lunar dari siklus Saros berulang. Sekitar sepertiga dari skala masih ada. Di dalam sel-sel tertentu terdapat tulisan singkat yang menunjukkan kemungkinan gerhana Matahari atau Bulan, atau keduanya, di tempat yang relevan. Bulan dinyatakan sebagai jam bilangan bulat siang atau malam. Setiap mesin memiliki huruf indeks. Huruf indeks dapat dilihat dari mesin yang diawetkan untuk menjalankan alfabet Yunani dalam urutan abjad dua kali, dengan guratan mendatar di atas huruf urutan kedua. Ekstrapolasi ke akhir skala menunjukkan bahwa urutan kedua pasti lengkap dan mungkin diikuti oleh sejumlah kecil mesin yang terindeks oleh alfabet ketiga yang dibatasi atau simbol khusus tambahan.
2. Pelat Exeligmos melingkar kecil dan skalanya dibagi menjadi tiga sektor. Sektor tersebut memberikan koreksi waktu untuk diterapkan pada waktu yang direkam pada skala dial Saros untuk pengulangan siklus Saros.
3. Prasasti Pelat Belakang menempati ruang-ruang pada pelat belakang di luar pelat Metonik dan Saros. Awalnya terdapat enam ruang seperti itu, satu di setiap sudut piring dan satu di setiap sisi tengah piring di mana kedua dial bertemu; ruang sisi kanan tengah dan teks tertulisnya serta ruang sudut kanan bawah dan teks tertulisnya. Gerhana Matahari di grafik yang masih ada dan gerhana Bulan di bagian lain yang hilang dari pelat belakang. Setiap grafik paragraf diikuti oleh deretan huruf indeks yang menghubungkan paragraf tersebut dengan mesin yang bersangkutan pada skala dial Saros.

Pada tahun 2008, pembacaan glif; studi lebih dekat tentang distribusinya, dan pertimbangan huruf indeks sebagai bukti jumlah glif yang berada di bagian yang hilang dari skala dial menghasilkan rekonstruksi yang hampir lengkap dari pola kemungkinan gerhana Bulan dan rekonstruksi sebagian dari pola gerhana Matahari, yang terbukti telah mempertimbangkan efek dari paralaks pada kejadian gerhana Matahari diamati di wilayah di utara belahan bumi.

Akurasi Gerhana pada Mekanisme Antikythera

Keakurasian mekanisme Antikythera salah satunya dapat diverifikasi dengan sebuah aplikasi yang telah dikembangkan dalam VR (*Virtual Reality*) yang mensimulasikan pengoperasian

model fisik. Indikator pada keduanya sisi mekanisme disajikan dalam format gambar dan bukan sebagai hasil numerik. Hasil prakiraan secara otomatis dibandingkan dengan situs web NASA. Perancang mekanisme Antikythera menggunakan cara yang berbeda dalam memasukkan gerhana ke dalam perangkat, salah satu yang menonjolkan pola dan efeknya daripada penyebabnya. Seperti tampilan kemunculan pertama dan penampakan bintang di bagian depan, tampilan gerhana di bagian belakang sangat bergantung pada teks tertulis untuk mewakili peristiwa yang diprediksi dalam tulisan, sementara penunjuk yang digerakkan oleh roda gigi berfungsi hanya untuk menandakan perkiraan tanggal untuk setiap prediksi pada dial yang memberikan bentuk visual pada siklus gerhana.

Untuk mendapatkan informasi lengkap tentang gerhana, pengguna harus memperhatikan tampilan depan dan belakang. Dari dial di bagian bawah tampilan belakang, orang akan menetapkan bahwa gerhana matahari atau bulan diprediksi terjadi pada bulan lunar yang ditampilkan, dan identitas bulan ini dalam kalender Korintus ditunjukkan pada dial Metonik. Pada dial depan, seseorang dapat menemukan hari tertentu menurut kalender Mesir yang mengikuti pada ketidakpastian satu hari atau lebih ketika Matahari dan Bulan berderet dalam satu baris, serta lokasi mereka saat ini di zodiak. Kemudian, dial dan prasasti dari tampilan belakang bagian bawah akan memberikan satu waktu dan keadaan lain yang diprediksi dari gerhana.²⁸

Dial Saros, yang lebih rendah dari dua dial spiral besar di muka belakang, adalah media utama dalam memprediksi gerhana pada Mekanisme Antikythera. Slot spiralnya membuat empat putaran penuh. Penunjuk dilacak melalui seluruh panjang slot, berputar searah jarum jam dari bagian dalam ke ujung luarnya, dalam gerakan senilai 223 bulan lunar; yaitu dalam satu periode gerhana Saros. Skala yang berjalan di sepanjang slot dibagi menjadi sel-sel yang sesuai dengan 223 bulan Saros.

Indikator kedua sisi Mekanisme disajikan dalam format gambar, bukan numerik. Aplikasi VR tersebut juga digunakan untuk memverifikasi keakuratan prediksi fisik model yang dikembangkan oleh tim peneliti dari Aristoteles University of Thessaloniki. Tanggal dan zodiak sisi depan Mekanisme didesain ulang agar sesuai dengan saat ini. Aplikasi memiliki model fisik yang sesuai terkait dengan skala tanda-tanda zodiak, dikarenakan waktu yang telah terlampaui sekitar 2150 tahun sejak pembangunan Mekanisme, dan karena fenomena presesi ekuinoks, konstelasi zodiak telah diputar sekitar 30 derajat.²⁹

Presesi ekuinoks adalah gerakan ekuinoks sepanjang ekliptika, disebabkan oleh presesi siklus sumbu rotasi Bumi dengan periode 25.772 tahun. Ini berarti bahwa 25.772 tahun sesuai dengan 360

²⁸ Alexander Jones, *A Portable Cosmos* (Oxford: Oxford University Press, 2017).

²⁹ Kyriakos Efstathiou et al., "The Antikythera Mechanism: The Prove of the Accuracy of the Astronomical Calculations Based on It," 2021, 3848–78.

derajat presesi ekuinoks. Jika kami menganggap bahwa Mekanisme dibangun sekitar 150 SM, itu berarti 2170 tahun. Oleh karena itu, ekuinoks, dan dengan demikian Zodiak telah bergeser 30 derajat ($(2170 \times 360)/25.772 = 30,1$ derajat). Untuk alasan ini, skala tanda didesain ulang untuk mencerminkan realitas saat ini. Fenomena pergerakan sementara bumi dikenal di zaman kuno, sementara Hipparchus adalah orang pertama yang menghitung pergerakannya. Hipparchus dianggap sebagai bapak astronomi, dan kemungkinan besar pembuat Mekanisme.

Untuk memverifikasi koreksi aplikasi, informasi penting seperti perhitungan tahun kabisat yang diperhitungkan Mekanisme juga dipertimbangkan saat mengimplementasikan aplikasi. Hasilnya, pada tahun kabisat yang terjadi setiap empat tahun sekali, hari ekstra tidak muncul dalam kalender Mekanisme. Sub-divisi dari dial tanggal di sisi depan Mekanisme adalah 365, dan akibatnya tidak mungkin menunjukkan hari ekstra setiap empat tahun (29 Februari). Fitur ini terintegrasi ke dalam aplikasi, yang menghitung tahun kabisat yang telah berlalu dari pengaturan awal.

KESIMPULAN

Mekanisme Antikythera merupakan instrumen astronomi klasik yang ditemukan dalam keadaan terfragmentasi menjadi puluhan keping. Prasasti baru tersebut belum dibaca selama lebih dari 2000 tahun, terutama dengan tomografi fokus mikro sinar-X. Namun, saat ini sekitar 3500 huruf dan simbol telah diuraikan. Beberapa istilah astronomi telah dibaca yang mengacu pada Matahari, Bulan, ekliptika (atau Siklus Zodiak), siklus Metonik, Saros, dan fenomena astronomi lainnya. Kata “ΣΤΗΡΗΙΜΟΣ” (titik stasioner) disebutkan beberapa kali, mengacu pada titik-titik stasioner orbit planet. Terdapat tiga bagian utama; satu di sisi depan dengan dua sisik konsentris dan dua di belakang berbentuk spiral. Simbol tersebut menunjukkan waktu dan jenis gerhana yang akan terjadi. Gerhana Bulan misalnya, dilambangkan dengan simbol E yang merupakan singkatan dari dewi bulan “EAHNH” (Selene). Sementara itu, gerhana Matahari dilambangkan dengan H, kependekan dari dewa Matahari “HAI OE” (Helios).

Tingkat akurasi Mekanisme Antikythera dibuktikan dengan pembuatan aplikasi yang kemudian dilakukan uji coba dan selanjutnya dikomparasikan dengan hasil perhitungan gerhana oleh NASA. Dari hasil uji coba yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Mekanisme secara akurat memprediksi fenomena astronomi di masa depan dan menegaskan dengan akurasi yang menakjubkan atas fenomena astronomi pada masa dahulu. Aplikasi tersebut membuktikan bahwa Mekanisme Antikythera adalah instrumen ilmiah, komputer pertama dalam sejarah dunia, yang secara akurat dapat memprediksi fenomena astronomi.

BIBLIOGRAPHY

- Alimuddin. "Gerhana Matahari Perpektif Astronomi." *Al-Daulah* 3, No. 1 (2014): 74.
- Bashori, Muhammad Hadi. *Pengantar Ilmu Falak*. Jakarta: Pustaka Al-Kautsar, 2015.
- Buber, Martin. *Eclipse of God*. New Jersey: Princeton University Press, 2016.
- Budiselic, C, A T Thoeni, M Dubno, and A T Ramsey. "The Antikythera Mechanism. Evidence of a Lunar Calendar." *Horological Journal*, no. June (2020): 1–23.
- Chotban, Sippah. "Membaca Ulang Relasi Saind Dan Agama Dalam Perspektif Nalar Ilmu Falak." *Elfalaky* 4 (2020).
- Cowen, Ron. *Gravity's Century*. Cambridge: Harvard University Press, 2009.
- Efstathiou, Kyriakos, Marianna Efstathiou, Alexandros Basiakoulis, and Neofytos Kokkinos. "The Antikythera Mechanism : The Prove of the Accuracy of the Astronomical Calculations Based on It," 2021, 3848–78.
- Freeth, Tony. "Revising the Eclipse Prediction Scheme in the Antikythera Mechanism." *Palgrave Communications* 5, no. 1 (2019). doi:10.1057/s41599-018-0210-9.
- Freeth, Tony, David Higgon, Aris Dacanalis, Lindsay MacDonald, Myrto Georgakopoulou, and Adam Wojcik. "A Model of the Cosmos in the Ancient Greek Antikythera Mechanism." *Scientific Reports* 11, no. 1 (2021): 1–15. doi:10.1038/s41598-021-84310-w.
- Harwit, Martin. *Astrophysical Concepts*. New York: Springer, 2006.
- Jones, Alexander. *A Portable Cosmos*. Oxford: Oxford University Press, 2017.
- Kerner, Richard. *Our Celestial Clockwork: From Ancient Origins to Modern Astronomy of the Solar System. Observatory*. Paris: World Scientific, 2020.
- Khazin, Muhyiddin. *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik*. Yogyakarta: Buana Pustaka, 2004.
- Lin, Jian Liang, and Hong Sen Yan. *Decoding the Mechanisms of Antikythera Astronomical Device. Decoding the Mechanisms of Antikythera Astronomical Device*, 2016. doi:10.1007/978-3-662-48447-0.
- Link, F. *Eclipse Phenomena in Astronomy*. New York: Springer, 1969.
- Mujab, Sayful. "Gerhana: Antara Mitos, Sains, Dan Islam." *Yudisia, Jurnal Pemikiran Hukum Dan Hukum Islam* 5, No. 1 (2014): 84.
- Pearson, Richard. *The History of Astronomy - Richard Pearson*. Nottingham: Bellevue Court Nottingham, 2020.
- Rausi, Fathor. "Astrolabe; Instrumen Astronomi Klasik Dan Kontribusinya Dalam Hisab Rukyat." *Elfalaky* 3, no. 2 (2019): 120–37. doi:10.24252/ifk.v3i2.14149.
- Safiai, Mohd Hafiz, Noor Izzati Ab Rahman, Khadijah Ismail, Mohd Izhar Ariff Mohd Kashim, and Ezad Azraai Jamsari. "The Modern Dimension of the Astrolabe as an Innovation of Ancient Technology." *International Journal of Innovation, Creativity and Change* 13, no. 5 (2020): 61–75.
- Solla Price, Derek de. *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C. Transactions of the American Philosophical Society*. Vol. 64, 1974. doi:10.2307/1006146.