

Kitaran Air Semula Jadi: Dari Falsafah Kuno Ke Sains Moden Dan Kebenaran Al-Quran

Natural Water Cycle: From Ancient Philosophy To Modern Science And The Truth Of The Al-Quran

Ummi Zainab Mohd Ghazali¹ & Muhammad Azizan Sabjan^{2*}

^{1,2} Bahagian Falsafah dan Tamadun, Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan, Universiti Sains Malaysia, 11800 Pulau Pinang;

Article progress

Received: 5 August 2024

Accepted: 28 October 2024

Published: 30 November 2024

*Corresponding author:

Muhammad Azizan Sabjan,
Bahagian Falsafah dan
Tamadun, Pusat Pengajian Ilmu
Kemanusiaan, Universiti Sains
Malaysia, 11800 Pulau Pinang;
Email: mazizan@usm.my;

Abstrak: Konsep kitaran air semula jadi, atau dikenali sebagai kitaran hidrologi dalam istilah moden, telah mengalami perkembangan pesat dari tamadun purba sehinggalah ke zaman era moden kini. Masyarakat silam mula memerhati bagaimana air seolah-olah mengalami proses kitaran semula jadi melalui fasa kejadian hujan, sungai, dan laut. Pengamatan ini kemudiannya menjadi subjek renungan falsafah, di mana ahli falsafah Yunani seperti Plato dan Aristotle membuat pemerhatian asas tentang pergerakan air di muka bumi. Namun, sepanjang Zaman Pertengahan, perkembangan ini tersekat kerana pengaruh konservatif dan tentangan keras daripada pihak gereja terutamanya mazhab Katolik yang menekankan perkembangan sains. Perubahan besar berlaku semasa era Renaissance dan Pencerahan, apabila tokoh seperti Leonardo da Vinci dan Bernard Palissy memperkenalkan pendekatan empirikal melalui kajian eksperimen, yang seterusnya membina batu asas kepada ilmu hidrologi moden. Memasuki era moden, kemajuan teknologi merancakkan lagi revolusi dalam kajian kitaran air, membolehkan saintis memahami fenomena ini dengan lebih tepat dan terperinci. Kajian ini dijalankan melalui kaedah kualitatif analisis kandungan bagi menyoroti kemajuan mengenai kefahaman kitaran semula jadi air di bumi yang terjadi menerusi beberapa era dalam sejarah, serta membandingkan penemuan ini dengan penjelasan ayat al-Quran. Menariknya, al-Quran yang diturunkan pada awal abad ke-7, telah mengandungi penjelasan tentang kitaran air dengan cara yang selaras dengan pemahaman sains moden hari ini. Kajian ini menyerlahkan kebenaran isi kandungan ayat suci al-Quran yang jauh mendahului zaman dan pengetahuan masyarakat dunia.

Kata Kunci: Air, Falsafah, Hidrologi, Kitaran Semula jadi, Quran;

Abstract: The concept of the natural water cycle, also known as the hydrological cycle in modern terms, has evolved greatly from ancient civilizations to the modern era. In the past, people observed how water seemed to go through a natural cycle involving rain, rivers, and the sea. These observations became subjects of philosophical reflection, with Greek philosophers like Plato and Aristotle making basic observations about water movement on earth. However, during the Middle Ages, progress was halted due to conservative influences and strong opposition from the Church, especially the Catholic sect, which suppressed scientific development. Major changes occurred during the Renaissance and Enlightenment periods when figures like Leonardo da Vinci and Bernard Palissy introduced empirical methods through experiments, laying the foundation for modern hydrology. In the modern era, technological advancements have further

revolutionized the study of the water cycle, allowing scientists to understand it more accurately and in greater detail. This study uses qualitative content analysis to highlight the progress in understanding the natural water cycle throughout different periods in history and compares these findings with explanations found in the Quran. Interestingly, the Quran which is revealed in the 7th century, contains descriptions of the water cycle that align with modern scientific understanding. This research highlights the truth within the Quran's verses, which were far ahead of their time and global knowledge.

Keywords: Water, Philosophy, Hydrology, Natural Water Cycle, Quran;

Pengenalan

Kefahaman tentang kitaran air semula jadi, atau dikenali juga sebagai kitaran hidrologi, adalah asas dalam kajian kitaran air dan memainkan peranan penting dalam pengurusan sumber air, perancangan bandar, dan aktiviti pertanian. Kitaran air semula jadi ini melibatkan proses penyejatan, kondensasi, hujan, dan resapan air ke dalam tanah yang memastikan pengedaran air berlaku secara berterusan di bumi. Sejarah kefahaman mengenai kitaran air semula jadi mencerminkan perkembangan pemikiran manusia, dari spekulasi falsafah awal sehinggalah kepada penemuan saintifik moden.

Sejarah kajian ini bermula dengan ahli falsafah Yunani kuno seperti Plato dan Aristotle yang melontarkan persoalan dan seterusnya memulakan perbincangan tentang pergerakan air berdasarkan pemerhatian mereka terhadap alam semula jadi. Pada Zaman Pertengahan, pengaruh gereja yang tebal amat mempengaruhi kajian lanjut mengenai kitaran air semula jadi sehingga merencatkan perkembangannya. Zaman Renaissance dan Pencerahan membawa pendekatan saintifik yang lebih sistematik, yang seterusnya membuka jalan bagi kehadiran hidrologi moden. Dengan kemajuan teknologi pada abad ke-19 dan ke-20, kajian kitaran hidrologi menjadi lebih lengkap, terperinci dan tepat.

Signifikan kajian ini adalah untuk menjejaki perkembangan sejarah kitaran air semula jadi dari zaman falsafah kuno sehinggalah ke zaman moden kini dan membuktikan bagaimana kandungan al-Quran adalah konsisten dengan pengetahuan saintifik kontemporari. Kajian ini juga menyoroti peri pentingnya gabungan antara ilmu agama dan sains dalam usaha memahami fenomena semula jadi yang kompleks di sekeliling kita.

Kaedah Kajian

Kajian ini merangkumi ulasan literatur dan tinjauan sejarah mengenai pemahaman kitaran hidrologi. Pertama, perbandingan antara tradisi falsafah dengan

teori dan penemuan saintifik moden telah dijalankan, diikuti dengan analisis teks al-Quran berkaitan kitaran air yang dibentangkan dan dibincangkan. Melalui pendekatan ini, kajian ini bertujuan untuk mengintegrasikan perspektif sejarah, saintifik, dan hikmah al-Quran ke dalam satu pandangan menyeluruh tentang evolusi pemahaman kitaran hidrologi.

Penyelidikan ini menggunakan pendekatan kualitatif untuk meneroka pemahaman mengenai kitaran air semula jadi merentas pelbagai era. Bidang tumpuan kajian ini adalah berpusat mengenai perkembangan pemikiran kitaran hidrologi di Eropah. Kaedah yang digunakan melibatkan kajian mendalam terhadap kandungan daripada literatur sedia ada yang diperolehi daripada buku, laporan, dokumen rasmi, artikel jurnal, keratan akhbar, dan teks sejarah. Fokus utama adalah untuk mengamati dan menganalisis elemen-elemen dalam teks yang berkaitan dengan persepsi fenomena kitaran air semula jadi dalam masyarakat Eropah pada tempoh yang berbeza. Sumber-sumber tersebut dipilih dan diteliti berdasarkan kredibiliti akademik, kaitannya dengan topik kajian, dan sumbangannya dalam memahami konteks falsafah dan budaya kitaran air semula jadi. Akhirnya, teks-teks al-Quran yang berkaitan dengan air dikaji untuk memahami bagaimana ia dapat dibandingkan dengan penemuan saintifik sedia ada.

Pendekatan metodologi ini membolehkan pemahaman yang jelas dan langsung tentang bagaimana masyarakat pada pelbagai era melihat dan mengintegrasikan fenomena kitaran air semula jadi ke dalam pandangan dunia mereka. Apabila digabungkan bersama dengan wahyu al-Quran, ia menawarkan perspektif unik dan berharga tentang kaitan antara teks suci al-Quran dengan penemuan saintifik moden.

Dapatan dan Perbincangan

Kitaran air semula jadi, atau dikenali juga sebagai kitaran hidrologi, adalah konsep asas dalam memahami pergerakan dan pengedaran air di bumi. Selama berabad-abad lamanya, pemahaman manusia tentang kitaran ini telah berkembang dari spekulasi falsafah kuno yang

berpasak kepada Plato dan Aristotle sehinggalah membawa kepada pembentukan model saintifik terkini yang terperinci.

Spekulasi Falsafah Kuno Barat

Pada era Yunani kuno, pemikiran terawal mengenai asal usul kejadian sungai adalah berkisar mengenai teori kewujudan saluran gua dan tasik bawah tanah yang bersaiz raksasa (Angelakis, 2012). Dari saluran gua dan tasik bawah tanah mega inilah kononnya wujudnya aliran sungai yang tidak putus-putus mengalir walaupun musim kemarau melanda sesuatu kawasan. Teori atau pemikiran sebegini dilihat menguasai pengetahuan seluruh masyarakat pada zaman tersebut, seperti yang dapat dilihat dalam catatan karya epik *Eliad* oleh Homer. Menurut Homer, “terdapat satu lohong air gergasi yang berputar di bawah tanah yang dipanggil ‘Oceanus’, di mana di sinilah berpuncanya segala sungai dan lautan, semua punca mata air dan kolam air yang tiada hujung di bawahnya” (Homer, 1991, hlm. 319).

Antara ahli falsafah terawal Yunani yang mengkaji mengenai fenomena semula jadi air adalah Anaximenes (585–525 SM), seorang ahli falsafah yang berbakat. Beliau menyelidiki fenomena meteorologi dan mencadangkan penjelasan yang rasional bagi asal-usul angin, pelangi, pembentukan awan, hujan, serta salji (Kočandrle, 2019). Hippon, seorang ahli falsafah Pythagorean, menyatakan bahawa pada abad ke-5 SM sumber semua air yang terdapat di bumi adalah laut (Stewart & Howell, 2003). Pada masa sama, Anaxagoras (500-428 SM) dan Plato (429-347 SM) merumuskan teori yang salah dengan menyatakan sekali lagi bahawa semua air sungai adalah berasal dari gua besar yang terdapat di dalam bumi (Furley, 1987), satu pandangan yang dibayangi pemikiran Homer. Plato, dalam karyanya *Timaeus*, juga mencadangkan bahawa air bergerak dari laut ke saluran bawah tanah gergasi di bawah bumi yang digelar “Tartarus”, dan kembali lagi ke laut, satu idea yang mencerminkan pemahaman asas tentang sifat kitaran air, meskipun diterangkan dengan tidak tepat berdasarkan dapatan teori moden (Bucaille, 2015).

Aristotle (384-323 SM) sebaliknya, dengan tepat menyatakan bahawa air hujan adalah berpunca dari pengewapan air laut. Menurutnya, air laut masin akan menjadi “manis” apabila meruap ke udara, dan wap ini tidak akan kembali menjadi air masin laut apabila berubah kembali ke laut (Aristotle & Barnes, 2014). Beliau adalah antara individu terawal yang mengakui bahawa perlunya ada proses kitaran yang berterusan bagi mengekalkan aliran air sungai dan laut supaya air sungai tidak surut dan juga air laut tidak melimpah. Dalam *Meteorologica*, Aristotle menolak anggapan kewujudan

satu takungan besar di dalam kerak bumi dengan hujah berikut,

“*Sekiranya sesiapa dapat membayangkan sebuah takungan yang mencukupi untuk menampung air yang mengalir setiap hari, dan mempertimbangkan jumlah air tersebut, jelaslah bahawa bekas yang dapat menampung semua air yang mengalir dalam setahun akan lebih besar daripada bumi, atau, paling tidak, tidak jauh lebih kecil dari besar bumi.*” (Aristotle & Barnes, 2014, hlm. 230)

Aristotle mula membentuk pemikiran konsep kitaran bagi proses hidrologi dengan memerhatikan proses semula jadi alam seperti terbit matahari, hujan, penyejatan dan pemeluwapan. Beliau mencadangkan dalam *Meteorologica* bahawa wap air naik dari bumi disebabkan oleh panas matahari, menyejuk dan terkondensasi menjadi hujan, dan kemudian jatuh kembali ke bumi. Walaupun penjelasannya kekurangan mekanisme tepat yang kita fahami hari ini, pemerhatian Aristotle menandakan langkah penting ke arah pendekatan yang lebih sistematik terhadap fenomena kitaran air semula jadi (Koutsoyiannis & Mamassis, 2021).

Namun, walaupun penjelasan beliau dalam pelbagai isu seringkali bersifat munasabah, dalam perihal ini Aristotle sukar mempercayai bahawa hanya hujan sahaja yang memberi punca kepada kemunculan mata air dan sungai, dan beliau bergelut dengan persoalan rumit yang masih membelenggu pemikiran masyarakat pada masa itu iaitu bagaimana sungai boleh terus mengalir selama beberapa minggu mahupun berbulan tanpa kehadiran hujan (Deming, 2005).

Pemahaman dan pemikiran umum kitaran air semula jadi semasa zaman Rom pula diringkaskan oleh ahli falsafah dan dramatis Seneca (3 SM-65 M), yang juga menganggap hujan tidak mencukupi untuk membekalkan air kepada semua punca sungai dan mata air. Menurut Seneca, hujan mungkin dapat menyebabkan arus deras mengalir di sungai, namun ia tidak dapat mengekalkan aliran sungai secara tetap. Dalam kata lain, Seneca menganggap hujan tidak boleh menghasilkan sungai, ia hanya boleh memperbesar dan mempercepatkan aliran sungai (Duffy, 2017). Seneca mengakui peranan penting proses penyejatan dan percaya bahawa kewujudan bersama titisan udara dan air adalah punca utama yang menyebabkan air mengalir keluar dari bumi dan membentuk mata air serta sungai.

Marcus Vitruvius (abad ke-1 SM) yang merupakan seorang penulis, saintis, dan jurutera Rom yang sangat penting, dalam bukunya *De Architectura* telah memberikan penjelasan tentang proses penurunan hujan

dan proses-proses yang membawa kepada pembentukan mata air di gunung berdasarkan mekanisme penyejatan dan landskap topografi. Penjelasan Vitruvius lebih hampir kepada apa yang diterima hari ini (Karterakis et al., 2007).

Isidore of Seville (560–636), yang mendapat jolakan “sarjana terakhir dunia kuno” (Angelakis, 2012), juga mempunyai tanggapan salah tentang kitaran air semula jadi. Dalam karya berpengaruhnya, *Etymologiae*, beliau percaya bahawa sungai berasal daripada takungan bawah tanah yang luas dan kewujudan saluran yang menghubungkan sungai dengan dasar laut, pandangan umum yang diterima pada zaman itu. Isidore tidak menyedari bahawa sungai diisi semula oleh hujan dan aliran permukaan yang meresap ke dalam tanah. Sebaliknya, beliau berpendapat bahawa air dari sumber bawah tanah yang berhubung dengan laut secara langsung membekalkan aliran sungai, selari dengan pemahaman saintifik yang terhad pada zamannya.

Sumbangan Zaman Pertengahan

Dari zaman keruntuhan empayar Rom hingga awal abad ke-16 Masihi (kira-kira 500M–1500M), satu tempoh masa yang lebih dikenali sebagai Zaman Pertengahan, bidang sains mengalami zaman gelap. Hanya sedikit perhatian diberikan kepada kajian kitaran hidrologi dan teori kuno kewujudan takungan gergasi air bawah tanah dari era Yunani dan Rom masih meliputi pemikiran masyarakat. Menyorot dari kaca mata sejarah, pengaruh pemikiran yang paling kuat pada masa itu adalah daripada ajaran gereja Kristian Katolik. Kitab Bible adalah rujukan utama para pemikir pada era tersebut untuk kebanyakan pemerhatian dan kajian saintifik. Menurut kitab *Ecclesiastes* iaitu salah satu dari kitab Bible (dikenali sebagai *Pengkhutbah* dalam Bible versi Bahasa Melayu), laut adalah sumber semua sungai dan mata air “Semua sungai mengalir ke laut, namun laut tidak penuh: ke tempat dari mana sungai datang, ke situ mereka kembali lagi.” (*Alkitab Versi Borneo*, 2016, Pengkhutbah 1:7).

Ayat ini diterjemah oleh sarjana dan pengikut gereja kontemporari zaman itu sebagai membawa maksud bahawa air dari laut akan kembali ke sungai, dan dipercayai pembawaan air laut kembali ke sungai ini adalah melalui lorong-lorong atau lubang-lubang yang terdapat di bawah dasar laut. Model konseptual kitaran air laut kembali ke punca sungai ini secara umumnya dibina (dengan betul) berdasarkan pembuktian kitaran hidrologi moden; namun secara khususnya interpretasi ini dengan salah menganggap bahawa proses kitaran ini dibantu melalui kehadiran lubang di dasar laut (Adams, 1954). Ini menunjukkan bahawa tafsiran kitab Bible juga seiringan dengan pemikiran falsafah kuno yang tersasar

dari kebenaran mutlak. Oleh kerana kebanyakan sarjana pada masa itu adalah berkaitan dengan gereja, kepercayaan ini menjadi dominan sepanjang zaman pertengahan.

Albertus Magnus (1200–1280), yang dianggap sebagai salah seorang ahli falsafah dan pemikir terhebat Zaman Pertengahan, juga terpengaruh dengan tanggapan salah Aristotelian. Beliau percaya bahawa air diserap ke atmosfera oleh haba matahari dan terkondensasi menjadi hujan, tetapi tidak mengaitkan proses ini dengan peranan lautan dalam kitaran penyejatan dan pengewapan. Sebagai seorang paderi gereja, kepatuhan beliau yang ketat kepada ajaran dan tafsiran gereja menjadi halangan kepada pemahaman yang lebih mendalam tentang kitaran hidrologi.

Pada Zaman Pertengahan, salah faham ini sangat meluas dan turut mempengaruhi beberapa tokoh penting yang masih dikenali hingga ke hari ini. Individu hebat seperti Thomas Aquinas (1225–1274) dan Roger Bacon (1214–1292) juga tidak terlepas daripada termasuk dalam kategori ini. Ada kemungkinan mereka terpedaya dengan penerimaan meluas pengaruh pemikiran Aristotle dan Ptolemy, atau terikat dengan tafsiran Bible yang dominan pada masa tersebut.

Seorang sarjana terkenal pada zaman pertengahan adalah Athanasius Kircher, seorang paderi gereja Jerman yang mengkaji dan mengembangkan teori kitaran hidrologi menerusi bukunya *Mundus Subterraneus*. Menurut pandangannya, bahagian dalam bumi mempunyai banyak laluan bawah tanah yang membawa air ke dalam takungan besar di dalam gunung dan kemudian membekalkannya ke permukaan sebagai mata air. Beliau berhujah bahawa keadaan ini sama sahaja dengan tubuh badan manusia yang mengempam darah ke seluruh badan untuk peredaran darah. Hujah ini ditolak mentah-mentah pada zamannya kerana langsung tidak relevan (Angelakis, 2012). *Mundus Subterraneus* membuktikan kesukaran masyarakat zaman pertengahan untuk memahami kaitan antara hujan dan aliran sungai, dan pada masa itu hujan masih tidak dianggap sebagai sumber utama air sungai.

Kircher juga mengalami dilema yang sama seperti yang dialami oleh Aristotle, iaitu bagaimana menjelaskan aliran sungai yang berterusan mengalir walaupun tiada hujan? Sebagai seorang paderi gereja, Kircher juga berpegang kepada kitab *Ecclesiastes* yang mengisytiharkan bahawa aliran air laut akan kembali ke sungai dan tanah daratan bagi mengekalkan sirkulasi, yang menimbulkan dilema kedua, iaitu bagaimana air laut masin dapat menjadi air tawar di mata air dan sungai di daratan?

Kircher tidak dapat menjawab persoalan pertama, namun beliau cuba menjawab persoalan kedua dengan

mengemukakan hujah bahawa apabila air laut memasuki bahagian bawah tanah bumi, air laut akan mengalami proses distilasi atau penyulingan yang dijana oleh haba dalaman bumi (Rosbjerg & Rodda, 2019).

Satu lagi penjelasan yang lebih kurang sama dengan Kircher untuk kitaran hidrologi telah diberikan oleh J. J. Becher, yang pertama kali dikemukakan dalam buku beliau berjudul *Chemisches Laboratorium*. Menurut pemerhatiannya, bumi menyerupai sebuah alat penyulingan gergasi. Air laut yang melalui dasar lautan ke dalam bumi dipanaskan oleh api bawah tanah dan diwapkan. Dalam perjalanannya ke permukaan, ia dengan mudah memasuki bahagian dalam gunung yang berongga. Oleh kerana gunung-gunung dilitupi salji, suhunya jauh lebih rendah dan oleh itu wap mengembun menjadi air, yang membentuk mata air yang mengalir turun ke cerun gunung dan kembali ke laut (Koutsoyiannis & Mamassis, 2021).

Terdapat dua percanggahan yang ketara bagi teori tersebut:

- a) Anggapan bahawa air naik dari paras laut ke puncak gunung adalah bertentangan dengan sifat semula jadi, kerana biasanya air bergerak dari arah tempat tinggi ke tempat rendah dan bukan sebaliknya.
- b) Jika laut dihubungkan dengan gunung, maka fakta bahawa air laut adalah masin, sementara air sungai dan mata air adalah tawar, adalah satu percanggahan yang ketara.

Usaha untuk menangani isu-isu percanggahan ini adalah bertitik tolak dari campuran spekulasi dan kepercayaan agama Kristian Katolik pada masa itu yang umumnya lemah asas saintifik dan kurang kekuatan pemerhatian berdasarkan bukti. Sebagai contoh, beberapa teori baru diperkenalkan yang mendakwa bahawa sebenarnya permukaan lautan adalah lebih tinggi daripada daratan, dan oleh itu pergerakan air ke gunung adalah munasabah; kepercayaan yang bertaraf karut dan mengundang jenaka. Atau bahawa pergerakan air dari arah rendah ke paras tinggi adalah sejajar dan patuh kepada “firman Tuhan” (Karterakis et al., 2007). Fahaman lain adalah api dari bahagian dalam bumi memanaskan air bawah tanah dan menyebabkan penyejukan ke permukaan, termasuklah di puncak gunung (Bucaille, 2015). Kesemua kefahaman dan pemikiran ini telah dibuktikan salah oleh sains moden.

Renaissance (Zaman Kebangkitan) dan Enlightenment (Zaman Pencerahan)

Era Renaissance di Eropah membawa kepada kebangkitan semula penyelidikan saintifik, dipandu oleh

minat baru dalam pemerhatian empirik dan eksperimen. Leonardo da Vinci (1452–1519) membuat pemerhatian terperinci mengenai pembentukan awan, hujan, dan sistem sungai, serta menyoroti rapat hubungan antara unsur-unsur ini. Beliau merupakan individu pertama yang mencadangkan kewujudan struktur hidrogeologi tanah yang telap dan berlubang pori kecil, terutamanya yang terdapat di kawasan cerun dan lereng. Hujan dan salji yang mencair dari bahagian kemuncak atau bahagian atas rangkaian gunung boleh meresap melalui lapisan telap berpori kecil ini dan kemudiannya dibawa jauh ke bawah permukaan tanah, dan akhirnya mengalir keluar semula sama ada sebagai mata air atau ke laut (Rosbjerg & Rodda, 2019).

Bernard Palissy (1510–1590) adalah sarjana pertama pada zaman Renaissance dan Pencerahan yang mencadangkan bahawa air hujan adalah sumber utama bagi sungai dan aliran, mencabar kepercayaan yang utuh selama ribuan tahun bahawa air sungai adalah berasal dari air laut. Berasal dari Perancis dan menganut fahaman Protestan yang menentang belenggu gereja pada zaman tersebut, beliau mengemukakan teori kitaran hidrologi dan penjelasan saintifik yang lengkap di dalam bukunya *Admirable Discourses* (Kirsop, 1961). Dalam bukunya yang diterbitkan pada tahun 1580 itu, Palissy dengan bijaksana menyingkirkan kekeliruan yang timbul selama ini dengan menggunakan hujah yang kukuh, iaitu menyatakan dengan jelas dan terang bahawa hujan dan salji yang mencair adalah satu-satunya punca dari mana mata air dan sungai mendapat air mereka, "Apabila saya telah menyelidik dengan teliti sumber mata air alami, dan tempat dari mana mereka boleh datang, akhirnya saya faham bahawa mereka tidak boleh datang dari atau dihasilkan oleh apa-apa selain daripada hujan." (Palissy, 1957, hlm. 48).

Palissy menolak fahaman air laut bermigrasi ke daratan melalui lubang-lubang tersorok di bawah tanah yang kemudian muncul menjadi mata air. Pada pandangannya, jika mata air berasal dari air laut yang bergerak ke daratan, maka sepatutnya mata air itu akan menjadi masin. Satu lagi bukti ketajaman pemerhatian Palissy adalah pertanyaan ringkas beliau, iaitu sekiranya mata air pancutan di daratan berasal dari air laut, kenapa mata air ini boleh menjadi surut bila tiba musim panas? (Palissy, 1957).

Satu lagi aspek menarik dalam hasil kerja Palissy, yang menunjukkan pemahamannya yang mendalam tentang alam, adalah penjelasannya yang tepat tentang ketidakselarian tempoh masa antara hujan dan aliran sungai, yang telah menghantui para sarjana dari zaman Aristotle hinggalah Kircher:

“...air hujan yang turun di atas gunung, tanah, dan semua tempat yang condong ke arah sungai

atau mata air, tidak sampai ke sana dengan begitu cepat. Jika memang begitu, semua mata air akan kering pada musim panas: tetapi kerana air yang jatuh ke tanah pada musim sejuk tidak dapat mengalir dengan cepat, tetapi meresap sedikit demi sedikit sehingga mereka telah menjumpai tanah yang tertutup oleh sesuatu, dan apabila mereka telah menjumpai batu, mereka mengikuti kemiringannya, masuk ke sungai. Daripada ini dapat disimpulkan bahawa di bawah sungai-sungai ini terdapat banyak mata air yang berterusan, dan dengan cara ini, tidak dapat mengalir kecuali sedikit demi sedikit, semua mata air dipunca dari hujung satu musim sejuk ke musim sejuk seterusnya.” (Palissy, 1957, hlm. 67-68)

Palissy meninggal dunia di dalam penjara setelah beliau ditangkap oleh tentera diraja dan enggan mengikuti fahaman Katolik yang mendominasi Perancis ketika itu (Deming, 2005).

Kajian beliau diteruskan dan disahkan oleh beberapa ahli sains moden seperti Edme Mariotte (1620–1684) dan Pierre Perrault (1611-1680) di Perancis yang menjalankan kajian kuantitatif yang menyeluruh tentang hujan dan aliran sungai, serta secara langsung menyediakan bukti empirik yang menyokong sifat kitaran hidrologi. Kajian-kajian ini meletakkan asas untuk hidrologi moden dengan memberi penekanan kepada struktur pengukuran dan pemerhatian.

Pemahaman Saintifik Era Moden

Dalam tahun-tahun berikutnya, apabila sains secara beransur-ansur bergerak ke arah pemahaman yang lebih baik dan memasuki era moden, banyak sarjana mula mengkaji topik ini secara lebih mendalam. Pada tahun 1674, Pierre Perrault mempersembahkan usaha eksperimen beliau untuk mengukur kitaran hidrologi. Dalam bukunya, *De l'Origine des Fontaines*, beliau telah menetapkan satu kawasan khusus untuk pengumpulan air hujan, mengira purata hujan yang jatuh ke atas kawasan tersebut dengan menggunakan alat pengukur hujan (tolok hujan), dan kemudiannya mengukur jumlah air yang melalui saluran tertentu di kawasan tersebut. Menurut dapatan beliau, nisbah jumlah hujan kepada aliran sungai adalah 6 berbanding 1, membuktikan bahawa hujan lebih daripada mencukupi untuk membekalkan air kepada mata air dan sungai. Malahan, masih terdapat lebih air yang belum mengalir bagi melengkapkan hidrologi tersebut, membuktikan sebahagian air masih tersimpan di bawah tanah (Nace, 1974).

Eksperimen yang serupa dilakukan beberapa tahun kemudian oleh ahli fizik dan paderi dari Perancis iaitu Edme Mariotte (1620-1684). Kajian beliau memberikan nisbah yang lebih besar iaitu kira-kira 8 berbanding 1 (Deming, 2017).

Langkah penting seterusnya diambil oleh saintis perubatan dan naturalis Itali iaitu Antonio Vallisnieri (1661-1730), yang menghabiskan tempoh masa yang panjang di banjaran Alps untuk mengkaji fenomena penciptaan semulajadi mata air dan sungai. Penemuan terbesarnya adalah konsep penyerapan. Beliau mengamati bahawa walaupun medan salji Monte S. Pellegrino adalah luas, sungai-sungai yang terdapat di daerah berdekatan iaitu Modena adalah kecil dan beraliran lemah. Pemerhatian yang teliti menunjukkan bahawa air yang dihasilkan oleh pencairan salji di bahagian atas gunung mengalir melalui lapisan telap berpori kecil di bawah permukaan bumi dan mengikuti laluan bawah tanah yang tidak kelihatan untuk jarak yang jauh di bawah Modena menuju Bologna. Ini membuktikan bahawa laluan bawah tanah yang dibincangkan semasa Zaman Pertengahan sememangnya wujud, tetapi peranan mereka bukanlah untuk membawa air laut dari lautan ke puncak gunung, tetapi berfungsi untuk memindahkan air secara hukum semula jadi iaitu turun dari atas ke bawah (Luzzini, 2014). Tuntasnya, hanya pada kira-kira tahun 1715 barulah manusia akhirnya mencapai gambaran yang hampir lengkap mengenai kitaran hidrologi.

Menurut dapatan kajian hidrologi moden terkini, kitaran hidrologi, juga dikenali sebagai kitaran air semulajadi, adalah satu proses berterusan yang menggambarkan pergerakan air bawah tanah, daratan dan atmosfera bumi. Dipacu terutamanya oleh tenaga suria, kitaran ini bermula dengan penyejatan air dari permukaan lautan, tasik, dan sungai, yang berubah menjadi wap air. Tumbuhan juga menyumbang kepada proses ini melalui transpirasi, melepaskan wap air ke udara. Apabila wap air naik dan menyejuk, ia mengalami pemeluwapan untuk menjadi awan, yang akhirnya membawa kepada penghasilan hujan, salji, hujan batu, atau hujan beku. Proses semulajadi ini menambah bekalan air di permukaan bumi dan pada masa yang sama ia meresap ke dalam tanah, menyumbang kepada rizab air bawah tanah (Oki & Kanac, 2006).

Air daripada hujan dan salji ini juga boleh menjadi punca aliran permukaan, mengalir di atas tanah dan masuk ke dalam sumber air seperti sungai dan tasik, yang akhirnya sampai ke lautan. Sebahagian daripada air resapan masuk lebih jauh ke dalam tanah, mengisi semula akuifer atau takungan semulajadi air bawah tanah yang boleh kembali ke punca air permukaan melalui mata air. Air permukaan ini penting sebagai daya hidup utama manusia, tumbuhan dan juga haiwan (Ibrahim &

Ibrahim, 2024). Pergerakan air yang berterusan ini adalah penting untuk menyokong kehidupan, mengawal iklim, dan mengekalkan keseimbangan ekosistem semula jadi (Yang et al., 2021). Kitaran hidrologi ini secara langsung penting bagi memastikan pengedaran dan ketersediaan air tawar yang berterusan di seluruh planet.

Al-Quran dan Kitaran Hidrologi

Al-Quran, yang diwahyukan pada awal abad ke-7, mengandungi beberapa ayat yang menerangkan kitaran air dengan cara yang selari dengan pemahaman saintifik moden. Penerangan-penerangan ini, yang terdapat dalam pelbagai surah (bab) dalam *al-Quran*, menyoroti aspek-aspek utama kitaran air semulajadi seperti penyejatan, kondensasi, dan pergerakan air dengan secara tepat dan sempurna.

“Tidakkah engkau memerhatikan, bahawa Allah menurunkan hujan dari langit, lalu dialirkanNya menjadi matair-matair di bumi; kemudian Ia menumbuhkan dengan air itu tanaman-tanaman yang berbagai jenis dan warnanya; kemudian tanaman-tanaman itu bergerak segar (hingga ke suatu masa yang tertentu), selepas itu engkau melihatmu berupa kuning; kemudian Ia menjadikannya hancur bersepai? Sesungguhnya segala yang tersebut itu mengandungi peringatan yang menyedarkan orang-orang yang berakal sempurna.” (The Noble Quran, Terjemahan Abdullah Muhammad Basmeih, 2024, 39:21)

Ayat ini menerangkan mengenai hujan yang turun dari langit dan mengalir melalui bumi, lalu menjadikan mata air. Pada awal kurun ke-7 semasa al-Quran diturunkan di Tanah Arab, dunia masih terkapai-kapai mencari penyelesaian kepada persoalan kitaran air semula jadi, dengan pelbagai teori pelik diutarakan termasuklah kewujudan tasik lubang gergasi di bawah tanah dan juga teori air laut ditolak ke darat menerusi laluan tertentu dalam tanah lalu mewujudkan mata air di permukaan bumi dan juga di kemuncak gunung-ganang. Namun al-Quran secara ringkas menjelaskan bahawa mata air di bumi adalah berasal dari hujan, dan telah dibuktikan secara saintifik (Kresic & Stevanovic, 2009).

“Tidakkah engkau melihat bahawasanya Allah mengarahkan awan bergerak perlahan-lahan, kemudian Dia mengumpulkan kelompok-kelompoknya, kemudian Dia menjadikannya tebal berlapis-lapis? Selepas itu engkau melihat hujan turun dari celah-celahnya. Dan Allah pula menurunkan hujan batu dari langit, dari gunung-

ganang (awan) yang ada padanya; lalu Ia menimpakan hujan batu itu kepada sesiapa yang dikehendakiNya, dan menjauhkannya dari sesiapa yang dikehendakiNya. Sinaran kilat yang terpancar dari awan yang demikian keadaannya, hampir-hampir menyambar dan menghilangkan pandangan.” (The Noble Quran, Terjemahan Abdullah Muhammad Basmeih, 2024, 24:43)

Ayat ini menerangkan mengenai pergerakan awan, penggumpalan, dan pembentukan awan yang berlapis serta bertindih-tindih dan fenomena hujan yang terhasil selepasnya, termasuk hujan batu. Ayat ini juga menyebut bahawa kilat adalah berasal dari pergerakan awan, dan ini juga telah dibuktikan secara saintifik (National Geographic, 2009).

“Allah jualah yang menghantarkan angin, lalu angin itu menggerakkan awan; kemudian Allah menyebarkan awan itu di langit sebagaimana yang dikehendakiNya, dan menjadikannya berkelompok-kelompok; lalu engkau melihat hujan keluar dari celah-celahnya. Maka apabila Allah menurunkan hujan itu mengenai sesiapa yang dikehendakiNya dari hamba-hambanya, mereka serta merta bergembira” (The Noble Quran, Terjemahan Abdullah Muhammad Basmeih, 2024, 30:48)

Ayat ini menyoroti peranan angin dalam menggerakkan awan dan pembentukan awan hujan, serta proses penurunan hujan kepada sesiapa yang dikehendaki Allah. Pada zaman moden ini, bagaimanapun, telah muncul teknologi untuk menurunkan hujan daripada awan yang sebelumnya tidak hujan, yang dikenali juga sebagai proses “pembenihan awan”. Namun, hal ini telah dijelaskan oleh seorang pakar meteorologi Perancis iaitu M.A. Facy dalam *Ensiklopedia Universalis* dalam bab hujan,

“Tidak akan pernah mungkin untuk membuat hujan turun dari awan yang tidak mempunyai ciri-ciri yang sesuai sebagai awan hujan atau yang belum mencapai tahap evolusi (kematangan) yang sesuai. Oleh itu, manusia tidak boleh mempercepatkan proses penurunan hujan melalui cara teknikal, apabila keadaan semula jadi untuk itu tidak wujud. Jika benar hujan dapat dikawal manusia, kemarau akan berakhir - yang jelasnya ia kemarau masih berlaku. Oleh itu, untuk mempunyai kawalan ke atas hujan dan cuaca baik masih kekal sebagai mimpi.” (M.A. Facy, seperti dipetik di dalam Bucaille, 2015, hlm. 177).

Ini membuktikan bahawa ayat al-Quran ini masih kekal benar dan relevan kerana faktor angin dan cuaca lain yang tidak dapat dikawal oleh manusia menyebabkan hujan tersebut akan turun di tempat yang di luar kawalan manusia, ataupun mungkin tidak turun sama sekali.

“Dan Kami turunkan hujan dari langit dengan sukatan yang tertentu, serta Kami tempatkan dia tersimpan di bumi; dan sesungguhnya Kami sudah tentu berkuasa melenyapkannya.” (The Noble Quran, Terjemahan Abdullah Muhammad Basmeih, 2024, 23:18)

Ayat ini menyebut bahawa hujan yang turun ke bumi dan air yang tersimpan dalam bumi adalah dalam kuantiti tertentu yang telah ditetapkan. Kajian hidrologi moden menunjukkan jumlah air yang beredar dalam sirkulasi udara dan tanah adalah tetap dan tidak berubah (Linton, 2008; Van der Ent & Tuinenburg, 2017). Jenis air dalam edaran adalah berubah-ubah sama ada dalam bentuk salji, embun, hujan atau air bawah tanah, namun kuantiti air yang beredar dalam kitaran akan kekal konsisten (Jacob, 2001).

Terdapat lebih kurang 12,900 kilometer padu (km^3) partikel air yang terkandung dalam udara pada satu-satu masa, dan jumlah ini kekal tanpa perubahan luar biasa bagi mengimbangi jumlah air di muka bumi. Sekiranya kesemua partikel air yang terkandung dalam udara ini turun ke bumi serentak, ia akan menenggelamkan muka bumi di seluruh dunia sedalam satu inci atau lebih kurang 2.5 cm (Schneider et al., 2011).

Ayat yang sama menyebut bahawa kuantiti air yang tersimpan dalam bumi adalah kekal. Air hujan yang turun pada kebiasaannya akan diserap ke dalam tanah menerusi lapisan telap dan pori kecil yang terdapat pada tanah. Pembangunan pesat pada masa kini telah menyebabkan permukaan tanah ini dilapisi simen dan konkrit, yang menyebabkan air hujan tidak dapat menyerap masuk ke dalam tanah (Cheng et al., 2022).

Kerana kuantiti air yang tersimpan dalam bawah tanah adalah tetap, ketidakupayaan air untuk menyerap masuk ke dalam bumi akan mengganggu keseimbangan yang telah ditetapkan Allah SWT ke atas alam ini. Ini menyebabkan berlakunya banjir kilat dan banjir mendadak yang kerap berlaku pada masa kini terutamanya di kawasan bandar-bandar. Tangan-tangan manusia sendiri yang mengganggu dan merosakkan keseimbangan alam yang telah ditetapkan oleh Allah SWT, maka manusia perlu mengambil pengajaran dari ayat-ayat al-Quran ini dengan mengubahsuai binaan di tanah kawasan bandar agar air hujan dapat menyerap dengan mudah ke dalam tanah bagi mengelakkan bencana banjir yang berulang.

“Sesungguhnya kami benar-benar telah mencurahkan air (dari langit), kemudian kami belah bumi dengan sebaik-baiknya, lalu Kami tumbuhkan pada biji-bijian di bumi itu, buah anggur serta sayur-sayuran, dan Zaitun serta pohon-pohon kurma, dan taman-taman yang menghijau subur, dan berbagai buah-buahan serta bermacam-macam rumput, untuk kegunaan kamu dan binatang-binatang ternak kamu.” (The Noble Quran, Terjemahan Abdullah Muhammad Basmeih, 2024, 80:25-32)

Ayat ini menyoroti kejadian air hujan di bumi dan bagaimana Allah SWT telah membelah bumi dengan sebaik-baiknya. Ulama Islam silam seperti Ibnu Kathir mentafsirkan ayat ini sebagai membawa makna Allah SWT telah menempatkan air itu di dalam bumi, dan air itu masuk ke dalam lapisan-lapisan dan meresap ke bahagian biji benih yang tersimpan lalu menumbuhkan perpokohan yang meninggi dan bertapak di muka bumi (Ibnu Katsir, 2021). Bahagian pertama ayat al-Quran berkenaan boleh juga membawa maksud air hujan yang turun ke bumi meresap masuk ke dalam belahan bumi menerusi ruang telap dan pori halus tanah dan membolehkan air tersebut disimpan di dalam ruang bawah tanah (MyIslam.org, 2024; (Islamic Foundation UK, 2024). Ini membuktikan kebenaran ayat-ayat al-Quran.

Kesimpulan

Pemahaman tentang kitaran air semula jadi telah berkembang dengan ketara dan luar biasa bermula dari spekulasi awal yang berkisar mengenai falsafah kuno Yunani dan Rom sehinggalah membawa kepada model saintifik terkini yang didasarkan pada teknologi yang canggih. Pemikir zaman awal seperti Plato dan Aristotle meletakkan batu asas penjelasan kitaran air semulajadi melalui pemerhatian mereka berdasarkan ilmu falsafah, walaupun kesimpulan dari pemerhatian mereka telah dibuktikan tersasar dengan kebenaran moden. Zaman Pertengahan menyaksikan sarjana-sarjana kontemporari zaman tersebut bergelut bagi memurnikan pengetahuan dan kajian mereka dengan kekangan pengaruh gereja. Manakala sarjana Renaissance dan Pencerahan mula membebaskan diri mereka dari tekanan gereja, dan mereka bertanggungjawab memperkenalkan kaedah empirikal yang boleh dieksperimentasi dan diuji. Ini telah membuka jalan yang luas untuk penemuan dan pengasasan ilmu hidrologi moden. Al-Quran, yang diwahyukan lebih daripada seribu tahun yang lalu, mengandungi penerangan tentang kitaran air semula jadi yang mempunyai ketepatan luar biasa selari dengan pengetahuan saintifik moden. Penerangan dari sudut proses semula jadi seperti penyejatan, kondensasi, dan

hujan, penekanan hubungan dan kemampuan kitaran air, membuktikan kebenaran ayat-ayat al-Quran yang jauh melangkaui zaman. Kajian lanjut mengenai ayat-ayat al-Quran mengenai fenomena alam semulajadi perlu dilakukan secara berterusan bagi meneroka bidang ilmu yang masih belum sepenuhnya difahami.

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada pihak Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia (KPTM) atas penganugerahan Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS) bertajuk “Kerangka Dasar Halalan Toyyiba dalam Penggunaan Air” bernombor kod FRGS/1/2021/SSIO/USM/02/6 di mana sebahagian daripada dana digunakan bagi melengkapkan kajian ini.

Rujukan

- Adams, F. D. (1954). *The Birth and Development of the Geological Sciences*. Waverly Press Inc.
- Alkitab Versi Borneo*. (2016). Alkitab Versi Bahasa Melayu Borneo Online. <https://www.bible.com/ms> (Versi Asal Diterbitkan 2016).
- Angelakis, A. N. (2012). *Evolution of Water Supply Throughout the Millennia*. Iwa Publishing.
- Aristotle, & Barnes, J. (2014). *Complete Works of Aristotle, Volume 1: the Revised Oxford Translation*. Princeton University Press.
- Bucaille, M. (2015). *The Bible, the Qur'an and Science*. Createspace Independent Publishing Platform.
- Cheng, Z., Georgakakos, K. P., Spencer, C. R., & Banks, R. (2022). Numerical Modeling of Flash Flood Risk Mitigation and Operational Warning in Urban Areas. *Water*, 14(16), 2494. <https://doi.org/10.3390/w14162494>
- Deming, D. (2005). Born to Trouble: Bernard Palissy and the Hydrologic Cycle. *Ground Water*, 0(0), 050914063638001. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.00119.x>
- Deming, D. (2017). Edme Mariotte and the Beginning of Quantitative Hydrogeology. *Groundwater*, 56(2), 350–355. <https://doi.org/10.1111/gwat.12609>
- Duffy, C. J. (2017). The Terrestrial Hydrologic Cycle: An Historical Sense of Balance. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(4), e1216. <https://doi.org/10.1002/wat2.1216>
- Furley, D. J. (1987). *The Greek Cosmologists*. Cambridge University Press.
- Homer. (1991). *The Iliad of Homer*. Oxford University Press, USA.
- Ibrahim, R. A., & Ibrahim, A. Q. (2024). Kriteria Pencemaran Air. *Gading Journal for Social Sciences (e-ISSN 2600-7568)*, 27, 49-57. <https://gadingssuitm.com/index.php/gadingss/article/view/440/370>
- Islamic Foundation UK. (2024). *Surah Abasa 80:1-42 - Towards Understanding the Quran - Quran Translation Commentary - Tafheem ul Quran*. www.islamicstudies.info. <https://www.islamicstudies.info/tafheem.php?sura=80>
- Jacob, D. (2001). The Role of Water Vapour in the Atmosphere. A Short Overview From a Climate Modeller's Point of View. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(6-8), 523–527. [https://doi.org/10.1016/s1464-1895\(01\)00094-1](https://doi.org/10.1016/s1464-1895(01)00094-1)
- Karterakis, S. M., Karney, B. W., Singh, B., & Guergachi, A. (2007). The Hydrologic Cycle: A Complex History With Continuing Pedagogical Implications. *Water Supply*, 7(1), 23–31. <https://doi.org/10.2166/ws.2007.003>
- Katsir, Ibn. (2021). *Terjemahan Tafsir Ibnu Katsir Edisi Lengkap 10 Jilid*. Insan Kamil.
- Kirsop, W. (1961). The Legend of Bernard Palissy. *Ambix*, 9(3), 136–154. <https://doi.org/10.1179/amb.1961.9.3.136>
- Kočandrle, R. (2019). The Cosmology of Anaximenes. *History of Philosophy Quarterly*, 36(2), 101–120. <https://doi.org/10.2307/48563639>
- Koutsoyiannis, D., & Mamassis, N. (2021). From Mythology to Science: The Development of Scientific Hydrological Concepts in Greek Antiquity and Its Relevance to Modern Hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2419–2444. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2419-2021>
- Kresic, N., & Stevanovic, Z. (2009). *Groundwater Hydrology of Springs: Engineering, Theory, Management and Sustainability*. Elsevier Science & Technology.
- Linton, J. (2008). Is the Hydrologic Cycle Sustainable? A Historical–Geographical Critique of a Modern Concept. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(3), 630–649. <https://doi.org/10.1080/00045600802046619>
- Luzzini, F. (2014). An Uncomfortable, Yet Wonderful Journey. Antonio Vallisneri and His Exploration of the Northern Apennines. Dalam *Nel nome di Lazzaro. Saggi di storia della scienza e delle*

istituzioni scientifiche. Pendragon.
<https://iris.unive.it/retrieve/e4239dde-5656-7180-e053-3705fe0a3322/27%20-%20EN%20-%202014%20-%20An%20uncomfortable%2c%20yet%20wonderful%20journey.pdf>

MyIslam.org. (2024). *Surah Abasa Ayat 25 (80:25 Quran) With Tafsir.* My Islam.
<https://myislam.org/surah-abasa/ayat-25/>

Nace, R. L. (1974). Pierre Perrault: The Man and His Contribution To Modern Hydrology. *JAWRA*, 10(4), 633–647. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1974.tb05623.x>

National Geographic. (2009, October 9). *Lightning Facts and Information.* National Geographic.
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/lightning>

Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science*, 313(5790), 1068–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1128845>

Palissy, B. (1957). *The Admirable Discourses of Bernard Palissy.* Diterjemahkan ke Bahasa Inggeris oleh Aure`le La Rocque. University of Illinois Press.

Rosbjerg, D., & Rodda, J. (2019). IAHS: A Brief History of Hydrology. *History of Geo- and Space Sciences*, 10(1), 109–118. <https://doi.org/10.5194/hgss-10-109-2019>

Schneider, S. H., Root, T. L., & Mastrandrea, M. (2011). *Encyclopedia of Climate and Weather.* Oxford University Press.

Stewart, B. A., & Howell, T. A. (2003). *Encyclopedia of water science.* Marcel Dekker.

The Noble Quran. (2024). Terjemahan oleh Abdullah Muhammad Basmeih. Quran.com. <https://quran.com/>

Van der Ent, R. J., & Tuinenburg, O. A. (2017). The Residence Time of Water in the Atmosphere Revisited. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), 779–790. <https://doi.org/10.5194/hess-21-779-2017>

Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological Cycle and Water Resources in a Changing World: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>