



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



Orasi ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



PERJALANAN PANJANG SANG PENJELAJAH WAKTU DALAM PERSPEKTIF SEJARAH BUMI

Profesor Aswan

**Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan
Institut Teknologi Bandung**

**Aula Barat ITB
22 Juli 2023**

Orasi ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

**PERJALANAN PANJANG
SANG PENJELAJAH WAKTU
DALAM PERSPEKTIF SEJARAH BUMI**

Orasi ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

**PERJALANAN PANJANG
SANG PENJELAJAH WAKTU
DALAM PERSPEKTIF SEJARAH BUMI**

Profesor Aswan

Aula Barat ITB
22 Juli 2023



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

ITB  **PRESS**

Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

Orasi ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:

Perjalanan Panjang Sang Penjelajah Waktu dalam Perspektif Sejarah Bumi

Penulis : Prof. Aswan

Reviewer : Prof. Dr. Ir. Yan Rizal, Dipl.Geol.

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2023

ISBN : 978-623-297-310-7



© Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132

+62 22 20469057

www.itbpress.id

office@itbpress.id

Anggota Ikapi No. 043/JBA/92

APPTI No. 005.062.1.10.2018

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Swt. Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, bahwasanya atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Penghargaan dan rasa hormat, serta terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyampaikan orasi ilmiah ini pada Sidang Terbuka Forum Guru ITB.

Pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terima kasih kepada Rektor Institut Teknologi Bandung, Senat Akademik Institut Teknologi Bandung, Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, Dekanat Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung (FITB), guru-guru penulis sejak TK sampai S3, para dosen di KK Paleontologi dan Geologi Kuarter, serta di Program Studi Teknik Geologi FITB, para tenaga kependidikan, para kolega peneliti di perusahaan dan lembaga riset, mahasiswa S1, S2, dan S3 yang banyak membantu dan mendukung penulis hingga dapat meraih jabatan guru besar ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih serta doa tulus kepada almarhum/almarhumah kedua orang tua dan mertua, yang senantiasa mendukung dan mendoakan bagi keberhasilan kiprah penulis berkarier di ITB. Terima kasih yang tak terhingga juga disampaikan untuk istri tercinta, Noor Purwati SR, serta putra-putri penulis: Muhammad Naafi Nooryawan, S.M. dan Shafa Nurfaira yang selalu mendorong dan menjadi sumber semangat dalam mencapai jabatan guru besar serta untuk terus berkarya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Abang dan Kakak penulis di Jakarta beserta keluarga, serta adik-adik dan keluarga di Bandung.

Semoga tulisan ini dapat memberikan pemahaman tentang ilmu paleontologi dalam kaitannya dengan sejarah bumi dan perkembangan kehidupan bagi para pembaca.

Bandung, 22 Juli 2023
Profesor Dr. Aswan, S.T., M.T., IPU

SINOPSIS

Mata kuliah wajib utama yang diajarkan di KK Paleontologi dan Geologi Kwartir – FITB – ITB adalah Paleontologi dan Geologi Sejarah, selain juga ada Mata Kuliah Mikropaleontologi. Penulis selama ini mengampu Mata Kuliah Paleontologi dan Geologi Sejarah. Paleontologi adalah ilmu yang mempelajari tentang sisa-sisa kehidupan masa lampau, berdasarkan bukti-bukti yang bisa ditemukan sekarang, serta aplikasinya dalam geologi secara umum. Sisa atau jejak kehidupan masa lampau ini umumnya berupa fosil yang terdapat dalam batuan sedimen. Fosil sendiri adalah sisa-sisa kehidupan, baik bagian tubuh maupun jejaknya yang berumur lebih tua dari 11.000 tahun yang lalu. Umumnya bagian tubuh yang keras seperti tulang, gigi, atau cangkang yang dapat menjadi fosil. Geologi Sejarah mempelajari tentang sejarah pembentukan bumi, sejak awal terbentuk sampai sekarang, dan perkembangan kehidupan yang menyertainya. Kedua mata kuliah ini tentunya sangat berkaitan erat, karena umumnya sejarah kehidupan di bumi diketahui berdasarkan jejak-jejak kehidupan. Jejak kehidupan dalam hal ini adalah jejak yang terdapat pada masing-masing waktu terbentuknya batuan, di mana fosil didapatkan sebagai bagian dari batuan. Karena itulah tulisan ini menjelaskan mengenai Sejarah Bumi dari waktu ke waktu dan perkembangan kehidupan yang menyertainya. Dalam kaitannya dengan perkembangan kehidupan, dalam tulisan ini banyak dikaitkan dengan bidang Paleontologi Moluska sebagai bidang keahlian penulis. Fauna moluska telah ada di bumi diperkirakan paling tidak sejak 600 juta tahun lalu, dan tetap ada sampai sekarang. Seiring perjalanan waktu yang sangat panjang yang telah dilalui fauna moluska, tentunya juga telah melewati perjalanan sejarah bumi tempat hidupnya dari waktu ke waktu. Berkenaan dengan hal ini maka penulis menggunakan istilah “penjelajah waktu”, untuk mengkiaskan fauna moluska yang banyak dibahas dalam tulisan ini.

Tulisan ini dibagi menjadi 2 bagian besar, yaitu tentang sejarah bumi dan perkembangan kehidupan yang menyertainya dari awal pembentukan bumi sampai awal terdapatnya kehidupan, perkembangan kehidupan pada Masa Paleozoikum dan pada Masa Mesozoikum. Untuk Masa Kenozoikum yang lebih baru, penulis fokus menuliskan tentang perkembangan Ilmu Paleontologi Moluska dan aplikasinya baik yang dilakukan peneliti lain

ataupun dilakukan penulis bersama tim peneliti. Kajian paleontologi moluska dapat diaplikasikan dalam penentuan perubahan muka laut purba, kajian paleogeografi, juga kajian endapan tsunami dan paleotsunami.

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
SINOPSIS.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
1. PENDAHULUAN	1
2. PERKEMBANGAN AWAL BUMI SAMPAI MULAI ADA KEHIDUPAN YANG NYATA/MAKRO (4,5 MILYAR – 530 JUTA TAHUN YANG LALU).....	4
3. PERKEMBANGAN KEHIDUPAN SEJAK ADA KEHIDUPAN MAKRO SAMPAI SEBELUM KEHADIRAN DINOSAURUS (MASA PALEOZOIKUM 540 – 250 JUTA TAHUN YANG LALU)	17
4. KEHIDUPAN PADA MASA DINOSAURUS (MASA MESOZOIKUM 250 JUTA – 65 JUTA TAHUN YANG LALU)	28
5. PALEONTOLOGI MOLUSKA ZAMAN TERSIER DAN KUARTER	38
5.1. Moluska Paleogen	38
5.2. Moluska Neogen.....	39
5.3. Moluska untuk Studi Perubahan Muka Laut.....	40
5.4. Moluska Kuartar untuk Studi Endapan Tsunami dan Paleotsunami ...	42
6. PENUTUP	50
7. UCAPAN TERIMA KASIH	51
DAFTAR PUSTAKA	53
CURRICULUM VITAE	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Ilustrasi bumi sebagai tempat yang nyaman untuk tempat tinggal manusia dan makhluk hidup lainnya. (Sumber: https://www.indiantelevision.com/mam/marketing/mam/on-earth-day-brands-rally-around-our-blue-planet-210423)	1
Gambar 2.	Ilustrasi Skala Waktu Geologi menggambarkan perkembangan kehidupan (sebelah kiri) dari waktu ke waktu (sebelah kanan) (Sumber: https://rashidfaridi.com/2008/04/26/260/).	2
Gambar 3.	Bumi sebagai dunia api saat awal terbentuknya pada 4,5 milyar tahun yang lalu. (Sumber: https://www.peakpx.com/en/hd-wallpaper-desktop-kxrzg).....	4
Gambar 4.	Permukaan bumi pada masa awal setelah pembentukannya yang selalu dihujani oleh benda angkasa. (Sumber: History.com).....	5
Gambar 5.	Bumi yang permukaannya diselimuti oleh uap air (4,1 milyar tahun lalu) akibat proses pendinginan magma/lava di permukaannya. (Sumber: History.com)	5
Gambar 6.	Pada 4 milyar tahun yang lalu permukaan bumi hampir seluruhnya ditutupi air samudra yang luas, saat itu belum ada benua yang luas seperti sekarang, hanya terdapat beberapa pulau gunungapi kecil yang muncul ke permukaan (Sumber: History.com).....	6
Gambar 7.	Contoh benda/batu dari luar angkasa (asteroid/meteoroid) yang jatuh ke bumi di mana sekitar 5%-nya terdiri atas air (Gambar: https://www.findworldedu.com/2020/australia-bound-asteroid-sample-may-reveal-lifes-origins.html).	6
Gambar 8.	Air laut menerobos ke dalam rekahan aktivitas magmatik di lantai samudra, mengencerkan magma dan membentuk jenis batuan baru bersifat granitis yang lebih tahan terhadap erosi air laut. (Sumber: History.com).	8
Gambar 9.	Bumi dengan beberapa benua yang luas di permukaannya pada 2,5 milyar tahun yang lalu. (Sumber: History.com).	8
Gambar 10.	Sinar matahari mulai dapat mencapai dasar laut dangkal yang terbentuk di tepi-tepi benua yang luas pada 2,5 milyar tahun yang lalu. (Sumber: History.com)	9
Gambar 11.	Stromatolit, jejak awal kehidupan di bumi yang masih bisa ditemukan sekarang di beberapa bagian laut dangkal menyebar di seluruh dunia (Sumber: History.com).....	10
Gambar 12.	Koloni stromatolit pada saat masih hidupnya diamati di bawah mikroskop (atas) yang kemudian mengeras menjadi batu (bawah) (Sumber: History.com). Stromatolit dianggap menjadi	

	bukti kehidupan yang pertama mendiami bumi, dan diyakini menjadi nenek moyang semua makhluk hidup yang pernah mendiami bumi sampai sekarang.	10
Gambar 13.	Samudera bumi kita yang awalnya berwarna hijau pucat karena belum ada oksigen pada 2,2 milyar tahun lalu (kiri) menjadi biru akibat proses oksigenasi di bumi mulai 1,5 milyar tahun lalu sampai sekarang (Sumber: History.com).....	11
Gambar 14.	Pergerakan benua-benua yang sudah terbentuk di permukaan kearah selatan bumi yang dimulai pada 1,5 milyar tahun lalu, membentuk super benua Rodinia pada posisi kutub selatan bumi di 1 milyar tahun yang lalu. (Sumber: History.com)	12
Gambar 15.	Posisi Rodinia di Kutub Selatan telah menyebabkan pembentukan es yang tidak terkendali di kutub selatan karena tertahannya pergerakan arus hangat dari wilayah ekuator ke selatan. Pada 700 juta tahun lalu bumi kita terselimuti oleh es setebal 1,6 km yang disebut sebagai <i>snow ball earth</i> . (Sumber: History.com).....	13
Gambar 16.	Aktivitas kegunungapian akibat pemisahan benua-benua pada sekitar 650 juta tahun lalu, telah menyebabkan es tebal yang menutupi bumi mencair. Pencairan es dimulai pada bagian bumi yang lebih hangat, yaitu di daerah sepanjang ekuator, dan bergerak ke masing-masing kutub utara dan kutub selatan pada 630 juta tahun lalu. (Sumber: History.com)	14
Gambar 17.	Gambaran kehidupan di dasar laut pada Zaman Kambrium (zaman ini dimulai pada 540 sampai 490 juta tahun lalu) , mulai terdapat kehidupan makro yang dapat langsung dilihat oleh mata tanpa perlu alat bantu, seperti kaca pembesar atau mikroskop. Fauna moluska (sejenis ubur-ubur pada bagian atas gambar) dan Trilobit (fauna dari kelompok Artropoda/hewan yang berbuku-buku pada bagian bawah gambar). Trilobit sangat melimpah pada Zaman Kambrium, ditandai oleh banyak fosil Trilobit (Gambar 18) yang ditemukan pada batuan berumur Kambrium di dunia. (https://www.pinterest.com/pin/325666616786477382/)	15
Gambar 18.	Fosil Trilobit yang banyak dijumpai pada batuan berumur Kambrium. (https://www.grisda.org/the-cambrian-explosion-1).....	16
Gambar 19.	Gambaran fauna dari Filum Moluska seperti ubur-ubur modern (makhluk hidup yang bergerak tanpa mata), diyakini sudah ada jutaan tahun sebelum adanya kehidupan pada Zaman Kambrium (mulai 540 juta tahun lalu) yang dapat dilihat pada Gambar 17. (Sumber: BBC MMV)	16
Gambar 20.	Gambaran rekonstruksi peta super benua Pangea pada Masa Paleozoikum, dengan batas-batas negara sekarang pada	

	posisinya masing-masing saat itu. (https://www.visualcapitalist.com/incredible-map-of-pangea-with-modern-borders)	18
Gambar 21.	Euripterid (kalajengking raksasa purba) digambarkan sedang memburu mangsa ikan primitif <i>Cephalaspis</i> di dasar laut Masa Paleozoikum. Euripterid adalah salah satu makhluk hidup yang pertama kali bisa hidup di darat karena memiliki bagian tubuh yang sebagian terdiri dari rangka yang keras dan kuat sehingga tahan terhadap radiasi panas sinar matahari. (https://nationalgeographic.grid.id/read/132948621/terropteris-xiushanensis-kalajengking-laut)	19
Gambar 22.	Fosil Euripterid pada batuan yang terbentuk pada Masa Paleozoikum. (https://www.fossilguy.com/gallery/invert/arthropod/eurypterid/index.htm)	19
Gambar 23.	Ilustrasi <i>Cephalaspis</i> , ikan primitif tak berahang yang hidup di Masa Paleozoikum. <i>Cephalaspis</i> diyakini merupakan makhluk bertulang belakang yang pertama hidup di bumi. (https://www.artstation.com/artwork/Arvr2o)	20
Gambar 24.	Ilustrasi hewan amfibi yang keluar dari air laut dan pertama kali berjalan di darat pada Masa Paleozoikum. Amfibi di darat berjalan dengan sirip karena belum mempunyai kaki. Lama kelamaan sirip depan dan sirip belakang amfibi berubah menjadi kaki yang memudahkan untuk berjalan jauh di daratan yang kering dan keras. (Sumber: https://courses.lumenlearning.com/wm-nmbiology2/chapter/amphibians/)	20
Gambar 25.	<i>Orthocone</i> hewan berbentuk seperti cumi-cumi bercangkang tebal dan keras dengan ukuran raksasa (memiliki panjang lebih dari 5 meter). Pada gambar ini <i>Orthocone</i> diilustrasikan sedang memangsa kalajengking laut purba (<i>Eurypterid</i>) dengan panjang sekitar 1 meter. Fosil <i>Orthocone</i> dan <i>Eurypterid</i> ditemukan pada batuan berumur Ordovisium (Paleozoikum awal atau sekitar 450 juta tahun lalu). (Sumber: https://walkingwith.fandom.com/wiki/Orthocone?file=CamerocerasInfoBox.jpg).	21
Gambar 26.	Ilustrasi <i>Dunkleosteus</i> (ikan berperisai) di mana kulitnya sangat keras seperti kuku yang tebalnya 6 cm dan memiliki rahang sekeras baja. Dengan ukuran raksasa (panjang lebih dari 4 meter). Fosil <i>Dunkleosteus</i> ditemukan pada batuan berumur Devon (Zaman Devon setara dengan Paleozoikum tengah atau sekitar 360 juta tahun lalu) (Sumber: https://www.fossilguy.com/gallery/vert/placoderm/dunkleosteus/index.htm)	21

Gambar 27. Ilustrasi kondisi daratan (bagian benua) berawa pada Zaman Karbon yang dipenuhi oleh hutan dengan tanaman tingkat tinggi (https://www.fossilguy.com/sites/ambridge/fern-fossils.htm).	22
Gambar 28. Lapisan batubara yang terbentuk dan terdapat sebagai sisipan pada batuan berumur Karbon di Newark Castle, Inggris. (https://www.flickr.com/photos/14508691@N08/5187818627).	22
Gambar 29. Perbandingan ukuran capung raksasa dari genus <i>Meganeura</i> (hasil rekonstruksi dari fosil yang ditemukan pada batuan berumur Karbon pada gambar kiri) dengan ukuran tubuh manusia (gambar kanan). (Sumber: https://www.geologyin.com/2018/01/the-largest-insect-ever-existed-was.html dan https://ecosystemsinthesky.com/blog/six-wings-and-giants-the-earliest-fliers-and-largest-insects-that-ever-lived)	23
Gambar 30. Ilustrasi keadaan lingkungan pada Zaman Karbon (sekitar 300 juta tahun lalu), berupa daratan yang lembap dipenuhi oleh tumbuhan rawa <i>lycopod</i> . Beberapa hewan raksasa yang terdapat pada saat itu, yaitu kaki seribu dengan panjang sekitar 1 m pada bagian tengah gambar, dan lalat capung dengan panjang 15 cm pada bagian kanan bawah gambar. (Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Giant-arthropods-in-Pennsylvanian-wetlands)	24
Gambar 31. <i>Mantle plume</i> , terpisahnya sebagian massa magma dari mantel bumi (gambar kiri) lalu bergerak dan menerobos ke luar permukaan bumi (gambar kanan) melalui bagian bumi yang berupa daratan/benua (Sumber: History.com).	25
Gambar 32. Ilustrasi semburan magma panas dari mantel bumi (gambar atas) di seluruh permukaan benua yang sekarang menjadi Siberia (gambar bawah) pada 250 juta tahun yang lalu. Kejadian ini mengakibatkan kepunahan 95% kehidupan yang ada pada saat itu (Sumber: History.com).	25
Gambar 33. Masa-masa kepunahan besar makhluk hidup di bumi, berdasarkan skala waktu geologi. (IUGS International Stratigraphic Chart, 2000 dan https://www.lpi.usra.edu/science/kring/Chicxulub/).	26
Gambar 34. Beberapa juta tahun setelah kejadian <i>mantle plume</i> , Siberia digambarkan sebagai benua yang hitam/gosong pada 240 juta tahun yang lalu. (Sumber: History.com).	26
Gambar 35. Foto batuan hasil pembekuan magma dari kejadian <i>mantle plume</i> di Siberia (gambar atas) yang disebut sebagai <i>Siberian Traps</i> , dan gambar bawah menunjukkan peta penyebaran batuanya di sekitar wilayah Siberia, Rusia.	

	(athenapub.com/aria1/PAL/siberia1.html dan https://earthlogs.org/tag/siberian-traps)	27
Gambar 36.	Dinosaurus pada Masa Mesozoikum menguasai daratan dan udara. (https://www.quora.com/Why-is-the-Triassic-barely-mentioned-compared-to-the-Succeeding-Dinosaur)	29
Gambar 37.	Dinosaurus juga menguasai lautan pada Masa Mesozoikum. (https://www.secretsofuniverse.in/history-of-life-12-triassic-period)	29
Gambar 38.	Ilustrasi super benua Pangea pada awal Masa Mesozoikum, di mana benua-benua penyusunnya mulai saling terpisah-pisah. (https://www.researchgate.net/figure/Simplified-map-of-Late-Triassic-Pangea-showing-locations-of-key-Triassic-Jurassic_fig1_237242683)	30
Gambar 39.	Fauna Ammonit yang terdapat melimpah di lautan selama Masa Mesozoikum. Pada bagian atas dari Ammonit terdapat fauna Belemnit yang mirip cumi-cumi sekarang. (https://www.flickr.com/photos/unforth/3192584772)	30
Gambar 40.	Fosil Ammonit dengan bentuk cangkang dan sutura (garis ornamentasi pada permukaan cangkang) yang menarik (Aswan, 2023).	31
Gambar 41.	Fosil Ammonit terbesar yang pernah ditemukan dengan ukuran diameter setinggi tubuh manusia. (foto koleksi: Achmad Darul, foto diambil di Fakultät Für Geowissenschaften, Institut Für Geologie, Mineralogie Und Geophysik, Ruhr-Universität Bochum, Kota Bochum, Jerman)	31
Gambar 42.	Fosil Belemnit dari Klas Cephalopoda yang ditemukan pada batuan berumur Mesozoikum, tepatnya masih menempel pada batupasir yang terbentuk pada Zaman Trias atau sekitar 200 juta tahun yang lalu. (Sumber https://www.fossilera.com/fossils/two-jurassic-belemnite-fossils-germany).	32
Gambar 43.	Lapisan tipis batuan berwarna putih (ditunjuk di foto) yang kaya akan unsur Iridium berumur 65 juta tahun di Trinidad (terletak di Laut Karibia,). Kandungan Iridium yang tinggi mengindikasikan pengaruh besar dari hantaman benda angkasa ke bumi pada saat pembentukan lapisan batuannya. Lapisan ini sebagai penanda kepunahan 75% makhluk hidup pada saat itu termasuk dinosaurus. Mamalia adalah salah satu hewan yang selamat dari kepunahan ini dan dapat meneruskan kehidupan pada masa berikutnya. (Sumber: https://www.canoncitydailyrecord.com/2013/05/09/beneath-our-feet-k-t-impact/)	33
Gambar 44.	Ilustrasi situasi di permukaan bumi, beberapa saat sebelum asteroid menghantam dan membuat bencana kepunahan di	

	lokasi yang sekarang menjadi Semenanjung Yukatan, Meksiko pada 65 juta tahun yang lalu. (Sumber: https://www.forbes.com/sites/jamiecartereurope/2020/06/29/climate-change-killed-the-dinosaurs).	34
Gambar 45.	Ilustrasi situasi di bawah permukaan laut, pada saat asteroid menghantam dan membuat bencana kepunahan di bumi pada 65 juta tahun yang lalu. Kepunahan yang terjadi termasuk makhluk hidup yang hidup di laut. (Sumber: https://pixels.com/featured/k-t-extinction-event-julius-t-csotonyiscience-photo-library.html).....	34
Gambar 46.	Jejak Kaldera Chixculub di Semenanjung Yukatan, Meksiko. Lokasi kaldera pada gambar kiri, dan gambaran stuktur bawah permukaan dari kaldera pada gambar sebelah kanan. Kaldera ini terbentuk akibat hantaman asteroid ke bumi pada 65 juta tahun lalu yang pengaruhnya memusnahkan 75% kehidupan yang ada pada saat itu. (Sumber: https://massexinction.princeton.edu/chicxulub/2-impact-controversary).....	35
Gambar 47.	Beberapa efek langsung bencana akibat hantaman asteroid ke bumi yang bersifat regional. (Sumber: National Geographic (1989))	35
Gambar 48.	Beberapa efek bencana jangka panjang (bulan sampai tahun) akibat hantaman asteroid ke bumi. (Sumber: National Geographic (1989))	36
Gambar 49.	Ilustrasi kebakaran global setelah hantaman benda angkasa ke bumi pada 65 juta tahun lalu. Kebakaran global ini merupakan salah satu akibat langsung hantaman benda angkasa yang memicu kepunahan kehidupan pada saat, salah satunya kepunahan dinosaurus. (Sumber: https://www.worldatlas.com/articles/the-timeline-of-the-mass-extinction-events-on-earth.html).....	36
Gambar 50.	Ilustrasi kejadian gelombang besar tsunami akibat hantaman benda angkasa ke bumi pada 65 juta tahun lalu. Tsunami ini merupakan salah satu akibat langsung hantaman benda angkasa yang memicu kepunahan makhluk hidup pada saat itu, salah satu yang punah pada saat itu adalah dinosaurus. (Sumber: https://sciencephotogallery.com/featured/dinosaur-extinction-claus-lunau.html)	37
Gambar 51.	Diagram perkembangan jumlah kehidupan dari waktu ke waktu dalam juta tahun (sumbu mendatar). Diagram ini menunjukkan terjadinya kepunahan 75% makhluk hidup akibat bencana hantaman asteroid ke bumi pada 65 juta tahun yang lalu.	

(Sumber: https://www.google.com/search?q=75%25+K-T+extinction+graphic&tbm)	37
Gambar 52. Rekonstruksi sistem Samudra Tethys yang menerus ke timur sampai ke Pulau Jawa. Pada peta berdasarkan Piccoli dkk. (1991) ini juga dapat dilihat penyebaran fosil dari genus <i>Ampullonatica</i> (lingkaran merah), sebagai salah satu elemen fauna moluska Tethys.....	39
Gambar 53. <i>Ampullonatica sartonoi</i> sebagai penamaan spesies baru untuk genus <i>Ampullonatica</i> yang berasal dari unit batuan Formasi Nanggulan di Jawa Tengah (Aswan dkk., 2004). <i>Ampullonatica sartonoi</i> merupakan fauna Tethys di mana kelompok genus ini juga terdapat pada area sistem Tethys di Eropa.	39
Gambar 54. Biostratigrafi Neogen Pulau Jawa berdasarkan fosil-fosil moluska penunjuk yang disusun oleh Oostingh pada tahun 1938. Oostingh (1938) juga membuat nama-nama jenjang stratigrafi tersendiri pada masing-masing umur, yang berasal dari nama-nama tempat di Pulau Jawa.	40
Gambar 55. Fosil moluska yang terdapat pada Formasi Nyalindung di daerah Cideng, Sukabumi, Jawa Barat. (Aswan dan Sufiati, 2022).....	41
Gambar 56. Rekonstruksi perubahan muka laut pada Kala Miosen Tengah berdasarkan kajian asosiasi fosil moluska yang terdapat pada Formasi Nyalindung di Sungai Cijarian, Nyalindung, Sukabumi, Jawa Barat. (Aswan dan Ozawa, 2006).....	42
Gambar 57. Cangkang moluska yang utuh (dalam lingkaran kuning garis putus-putus) pada endapan tsunami Pangandaran tahun 2006 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Foto koleksi pribadi Aswan).	43
Gambar 58. Moluska gastropoda utuh pada endapan tsunami 2006 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Aswan dan Rizal, 2021).....	44
Gambar 59. Pecahan cangkang moluska pipih (dalam lingkaran merah garis putus-putus) pada endapan badai Agustus 2021 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Foto koleksi pribadi Aswan).	44
Gambar 60. Cangkang moluska berbentuk pipih (dalam lingkaran merah garis putus-putus) pada bagian bawah endapan badai yang terbentuk akibat badai yang terjadi pada bulan Agustus 2022 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Foto koleksi pribadi Aswan).	45
Gambar 61. Anggota KK Paleontologi dan Geologi Kuartar-FITB-ITB, sebagai tim peneliti endapan tsunami dan paleotsunami pada tahun 2019 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat.	45
Gambar 62. Beberapa koleksi fosil moluska air tawar di Laboratorium Paleontologi, Program Studi Teknik Geologi – FITB – ITB. Koleksi fosil moluska ini diambil dari beberapa tempat di Indonesia.....	47

Gambar 63. Fosil moluska air tawar (lingkaran garis putus-putus pada bagian atas foto) didapatkan berasosiasi dengan fosil tulang vertebrata (lingkaran garis putus-putus pada bagian bawah foto). Kedua fosil ini masih tertanam dalam batumannya.	47
Gambar 64. Penulis pada waktu melakukan ekskavasi sepasang fosil gading Stegodon (gajah purba) pada tahun 2018 di Jawa Barat.	48
Gambar 65. Hasil rekonstruksi salah satu fosil gading Stegodon (gajah purba) sepanjang 3,5 m di Museum Geologi Bandung.	48
Gambar 66. Suasana peresmian <i>display</i> sepasang fosil gading Stegodon (gajah purba) oleh Rektor ITB di Program Studi Teknik Geologi – FITB – ITB pada tahun 2019.	49

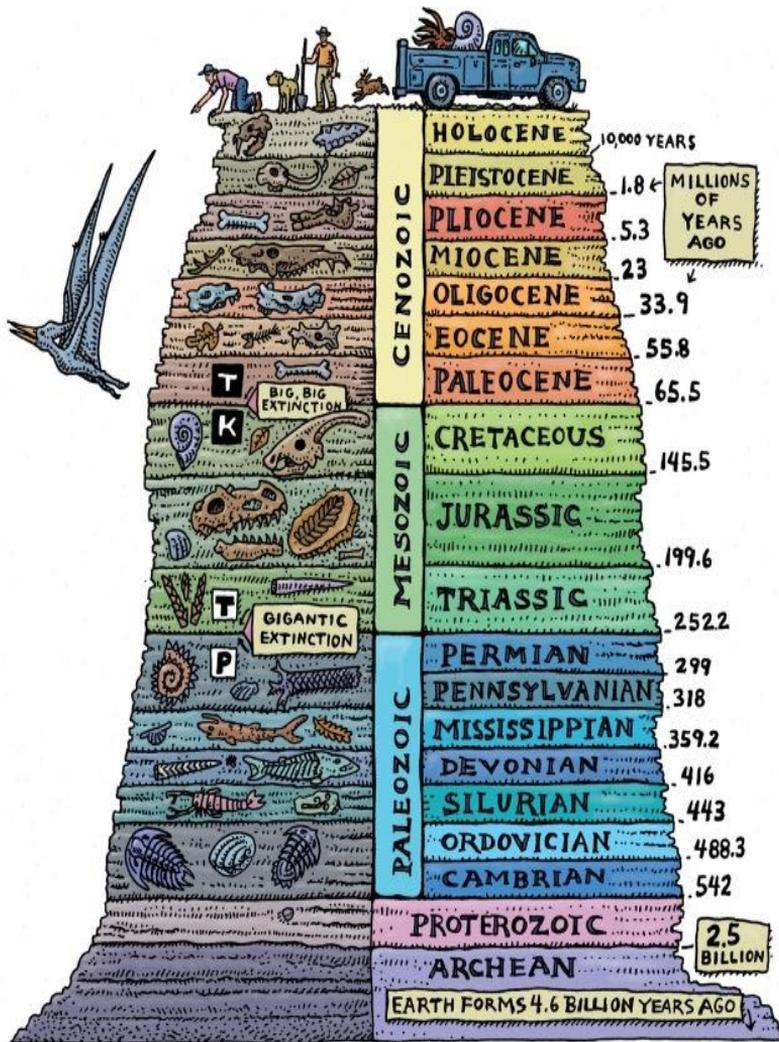
1. PENDAHULUAN

Perkembangan kehidupan di bumi tidak terlepas dari perjalanan sejarah bumi itu sendiri. Mungkin tidak banyak yang tahu bahwa fisik bumi sudah mulai ada sejak 4,5 milyar tahun yang lalu (Danielson dan Denecke, 1986). Perkembangan ilmu pengetahuan kebumihan dan teknologi telah menyingkap tabir bahwa bumi telah mengalami beberapa kali perubahan penampakan permukaan yang sangat signifikan, di antaranya pernah sebagai dunia api di awal terbentuknya, kemudian berubah menjadi dunia air (hampir seluruh permukaan bumi ditutupi oleh samudra yang sangat luas), bola salju (seluruh permukaan bumi diselubungi oleh es setebal 1 mil/ 1,6 km), juga bumi pernah menjadi tempat yang sangat polutif juga beracun dan lainnya, sampai akhirnya sekarang bumi menjadi tempat yang paling nyaman didiami oleh makhluk hidup termasuk kita manusia. Sampai saat ini di jagad raya, bumi (Gambar 1) dianggap menjadi satu-satunya planet yang bisa dijadikan tempat tinggal yang nyaman.



Gambar 1. Ilustrasi bumi sebagai tempat yang nyaman untuk tempat tinggal manusia dan makhluk hidup lainnya. (Sumber: <https://www.indiantelevision.com/mam/marketing/mam/on-earth-day-brands-rally-around-our-blue-planet-210423>)

Perkembangan ilmu radioaktif pada awal abad ke-20 yang digunakan untuk senjata perang, juga ternyata membawa dampak positif dalam perkembangan ilmu kebumihan. Para ahli kebumihan memanfaatkan teknologi radioaktivitas untuk menentukan waktu-waktu kejadian sejarah bumi yang terekam dalam batuan, termasuk waktu awal pembentukan bumi. Prinsip dari penentuan umur batuan berdasarkan unsur radioaktif ini, yaitu dengan mengetahui waktu peluruhannya.



Gambar 2. Ilustrasi Skala Waktu Geologi menggambarkan perkembangan kehidupan (sebelah kiri) dari waktu ke waktu (sebelah kanan) (Sumber: <https://rashidfaridi.com/2008/04/26/260/>).

Perkembangan bumi dari waktu ke waktu juga telah memengaruhi perkembangan kehidupan di bumi, dari bentuk yang awalnya sangat sederhana menjadi sangat kompleks pada masa-masa berikutnya sampai sekarang. Awal kehidupan di bumi diperkirakan sudah mulai ada sejak mulai terdapatnya air di bumi, yaitu sekitar 100 juta tahun umur bumi atau sekitar 4,4 milyar tahun yang lalu.

Berdasarkan sejarah bumi yang panjang ini, maka dalam ilmu geologi dikenal sistem pembagian waktu yang disebut sebagai Skala Waktu Geologi (Gambar 2). Skala waktu geologi pembagian utamanya didasarkan atas perkembangan kehidupan yang ditandai oleh kemunculan dan kepunahan

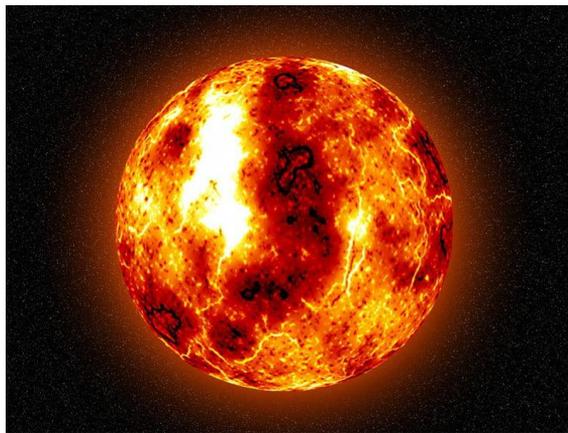
mahluk hidup tertentu (Namowitz dan Stone, 1981). Skala waktu geologi juga sangat berguna dalam geologi karena digunakan untuk mengelompokkan kejadian-kejadian geologi di bumi secara bersistem dalam ruang dan waktu. Skala waktu geologi juga digunakan sebagai standar internasional berdasarkan fakta-fakta rekaman kejadiannya yang terdapat pada batuan (misalnya: fosil).

Kehidupan yang nyata di bumi mulai dapat diamati sejak 570 juta tahun lalu dengan ditemukannya fosil-fosil mahluk hidup yang memiliki bagian tubuh yang keras seperti cangkang dan kerangka. Tentu saja mahluk hidup yang memiliki bagian tubuh yang keras akan lebih mudah terawetkan menjadi fosil yang bisa kita amati sekarang. Tapi para ahli sejarah perkembangan kehidupan yakin bahwa berjuta-juta tahun sebelumnya sudah ada kehidupan, yaitu kehidupan fauna dari Filum Moluska (hewan bertubuh lunak yang pada masa itu belum ada yang memiliki cangkang) seperti ubur-ubur.

Sesuai judul orasi ilmiah ini, yang dimaksudkan sebagai “sang penjelajah waktu” adalah fauna dari Filum Moluska yang dapat bertahan menjadi mahluk yang hidup di bumi dari waktu ke waktu, bahkan diperkirakan sudah mendiami bumi sejak waktu enam ratusan juta tahun lalu. Fauna moluska mulai hidup di bumi bahkan jauh sebelum keberadaan dinosaurus yang pernah menjadi mahluk penguasa bumi. Fauna moluska bahkan terus dapat bertahan di bumi menjelajahi waktu pada waktu dinosaurus punah di 65 juta tahun yang lalu. Fauna moluska terus dapat bertahan menjadi mahluk penghuni bumi sampai sekarang, bahkan dalam jumlah yang sangat banyak menyebar di banyak tempat di permukaan bumi kita. Kaitan antara kehidupan fauna moluska masa lalu dengan dinamika global bumi inilah, yang menjadi bidang ilmu pengetahuan yang dipelajari penulis yang disebut sebagai Paleontologi Moluska.

2. PERKEMBANGAN AWAL BUMI SAMPAI MULAI ADA KEHIDUPAN YANG NYATA/MAKRO (4,5 MILYAR – 530 JUTA TAHUN YANG LALU)

Banyak yang meyakini umur bumi adalah 4,5 milyar tahun. Umur bumi ini didasarkan atas awal mula fisik bumi ada. Pada awal terbentuknya, fisik bumi ini berdasarkan teori termodinamika adalah merupakan bola api (*world of fire*) yang sangat panas karena seluruh bagiannya, termasuk permukaannya terdiri dari lava yang bersifat pijar (Gambar 3). Suhu permukaan bumi pada saat itu diyakini oleh sebagian para ahli hampir sama dengan suhu permukaan matahari sekarang. Lava pijar pada bagian permukaan bumi ini kemudian pelan-pelan mendingin melewati waktu ratusan juta tahun setelah awal terbentuknya.



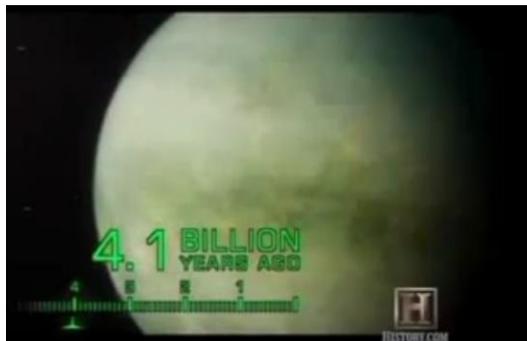
Gambar 3. Bumi sebagai dunia api saat awal terbentuknya pada 4,5 milyar tahun yang lalu. (Sumber: <https://www.peakpx.com/en/hd-wallpaper-desktop-kxrzg>).

Sejak saat bumi baru terbentuk, permukaan bumi selalu dihujani oleh benda angkasa yang menghantam bumi (Gambar 4), hal ini karena bumi kita belum mempunyai selubung seperti lapisan atmosfer sekarang. Hujan benda angkasa di permukaan bumi ini terus terjadi sampai beberapa milyar tahun sejak terbentuknya bumi. Tanpa adanya lapisan atmosfer yang melindungi bumi pada saat itu, maka benda angkasa yang jatuh ke bumi ukurannya bisa sangat bervariasi, dari ukuran yang sangat kecil sampai ukuran yang sangat besar. Ukuran benda angkasa yang jatuh ke bumi ini bahkan bisa saja sebesar bumi itu sendiri. Benda-benda angkasa yang jatuh ke bumi ini dengan berjalannya waktu lama kelamaan menjadi bagian dari batuan penyusun

lapisan terluar bumi, dan bisa saja sebagian melebur menjadi lava/magma akibat kondisi yang panas di permukaan bumi. Pada saat permukaan bumi mulai mendingin maka selama proses pendinginan lava, banyak menghasilkan uap (Gambar 5) yang kemudian menjadi bahan untuk terbentuknya air yang terdapat di bumi.



Gambar 4. Permukaan bumi pada masa awal setelah pembentukannya yang selalu dihujani oleh benda angkasa. (Sumber: History.com)



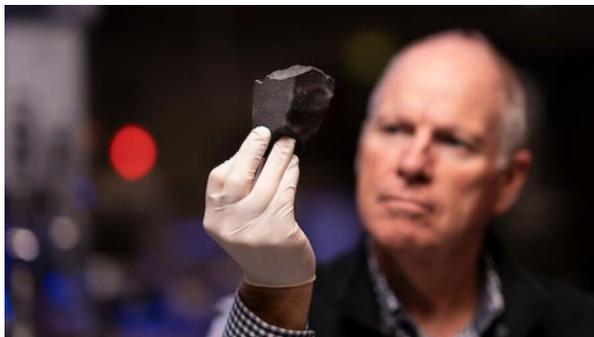
Gambar 5. Bumi yang permukaannya diselimuti oleh uap air (4,1 milyar tahun lalu) akibat proses pendinginan magma/lava di permukaannya. (Sumber: History.com)

Perubahan tampilan bumi yang sangat berbeda dimulai pada 4 milyar tahun yang lalu, di mana hampir seluruh permukaan ditutupi oleh air berupa samudra yang luas (Gambar 6), di mana awalnya permukaan bumi diselimuti oleh lava yang pijar. Dikarenakan permukaan bumi yang hampir seluruhnya tertutupi oleh air, maka pada masa ini bumi disebut sebagai *water world* atau dunia air. Menjadi pertanyaan yang awalnya sulit dijawab, yaitu dari mana air yang sangat banyak pada masa itu berasal? Kalau sumber air di bumi hanya dari uap yang dihasilkan akibat pendinginan lava saja, tentunya tidak akan cukup menjadi sebanyak air samudra yang menyelimuti sebagian besar

permukaan bumi pada saat itu. Jawaban datang dari para ahli benda angkasa yang menyatakan bahwa sumber air yang banyak itu berasal dari benda/batu dari luar angkasa (asteroid) yang menghantam bumi selama ratusan juta tahun sejak awal bumi terbentuk. Para ahli benda angkasa tersebut menyatakan bahwa dari setiap massa benda angkasa yang sampai ke bumi, 5% nya terdiri dari air (Gambar 7).



Gambar 6. Pada 4 milyar tahun yang lalu permukaan bumi hampir seluruhnya ditutupi air samudra yang luas, saat itu belum ada benua yang luas seperti sekarang, hanya terdapat beberapa pulau gunungapi kecil yang muncul ke permukaan (Sumber: History.com).



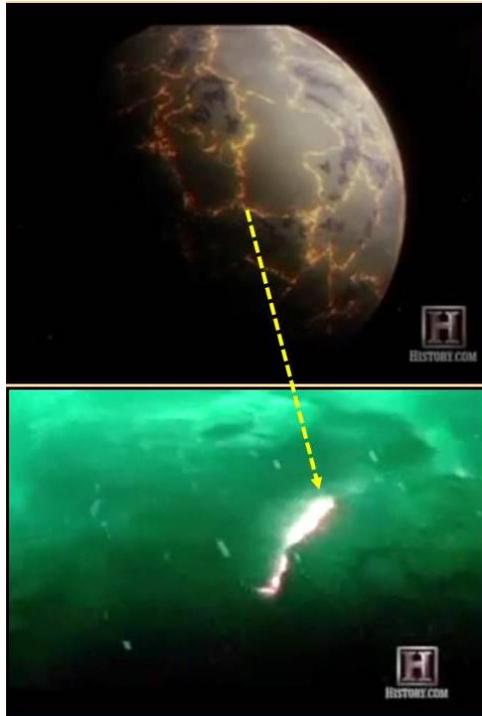
Gambar 7. Contoh benda/batu dari luar angkasa (asteroid/meteoroid) yang jatuh ke bumi di mana sekitar 5%-nya terdiri atas air (Gambar: <https://www.findworldedu.com/2020/australia-bound-asteroid-sample-may-reveal-lifes-origins.html>).

Pada waktu bumi mulai mendingin maka uap air dan karbondioksida yang menyatu di udara menghasilkan atmosfer kabut yang tebal, hal ini memicu terbentuknya petir yang mengakibatkan terjadinya hujan pertama kalinya di bumi. Proses hujan ini kemudian terjadi berulang-ulang selama jutaan tahun, sehingga air yang terkumpul akhirnya dapat membentuk samudra yang luas dan mendominasi permukaan bumi pada 4 milyar tahun yang lalu.

Walaupun di bumi kita pada 4 milyar tahun lalu sudah terdapat banyak air, tetapi kondisi bumi belum bisa mendukung berkembangnya kehidupan. Suhu bumi yang masih panas (suhu rata-rata bumi sekitar 200 °C), serta atmosfer yang didominasi karbondioksida pekat yang sangat mematkan, tentunya sangat menghambat perkembangan kehidupan. Belum tersedianya oksigen juga mengakibatkan warna samudra yang kaya akan zat besi ini menjadi hijau karat (Gambar 6), bukan berwarna hijau atau biru seperti warna laut atau samudra pada umumnya saat sekarang. Walaupun pada saat itu ada bagian-bagian gunung api bawah laut yang menyembul ke permukaan, tetapi karena jenis batumannya tidak tahan terhadap erosi air laut mengakibatkan daratan tidak bisa terbentuk luas. Sifat batuan yang tidak tahan menghadapi erosi air laut ini, menghasilkan tepian daratan (bagian dari gunungapi bawah laut yang menyembul ke permukaan) langsung dibatasi oleh samudra yang dalam, atau dengan kata lain belum ada paparan laut dangkal pada saat itu. Daratan sempit yang langsung berbatasan dengan laut dalam ini sangat tidak mendukung perkembangan kehidupan pada saat itu, karena sinar matahari tidak bisa mencapai dasar laut. Hal ini berbeda kondisinya dengan paparan laut dangkal yang ada sekarang, di mana sinar matahari bisa mencapai dasar laut dan dapat mendukung perkembangan kehidupan.

Perkembangan bumi terus berlanjut semakin mendekati kesiapan untuk bisa mendukung perkembangan kehidupan. Jauh di dasar kedalaman samudra rekahan-rekahan aktivitas vulkanik ternyata tetap mengeluarkan lava yang pijar ke dasar samudra. Melalui rekahan inilah air samudra dapat menerobos masuk dan bercampur dengan magma yang masih pijar di bawah permukaan dasar samudra (Gambar 8), menghasilkan magma tipe baru dengan berat jenis yang lebih ringan. Hasil pembekuan magma dengan berat jenis lebih ringan ini menghasilkan batuan granitis yang lebih tahan terhadap erosi air laut/samudra, dibandingkan batuan bersifat basaltis yang sudah ada sebelumnya. Sifat batuan granitis yang lebih tahan terhadap erosi air apabila membeku di permukaan, lama kelamaan membentuk daratan yang semakin lama semakin luas menjadi benua (Gambar 9). Pembentukan benua-benua seiring berjalannya waktu telah mengubah wajah permukaan bumi tidak lagi terlalu didominasi oleh air samudra. Benua-benua yang mulai terbentuk di sekitar 3,5 milyar tahun lalu ini, dikelilingi oleh laut dangkal di sekitarnya karena sifat batuan pembentuknya yang lebih tahan terhadap erosi air laut/samudra. Bumi kita dengan kondisi ini semakin siap untuk mendukung

perkembangan kehidupan, karena dengan terdapatnya banyak laut dangkal akan memungkinkan sinar matahari mencapai dasar laut (Gambar 10). Sinar matahari yang bisa mencapai dasar laut ini, memungkinkan organisme sederhana yang sudah ada pada masa itu untuk melakukan fotosintesa. Fotosintesa dalam hal ini tentunya sebagai salah satu kunci perkembangan kehidupan yang ada di bumi.



Gambar 8. Air laut menerobos ke dalam rekahan aktivitas magmatik di lantai samudra, mengencerkan magma dan membentuk jenis batuan baru bersifat granitis yang lebih tahan terhadap erosi air laut. (Sumber: History.com).



Gambar 9. Bumi dengan beberapa benua yang luas di permukaannya pada 2,5 milyar tahun yang lalu. (Sumber: History.com).

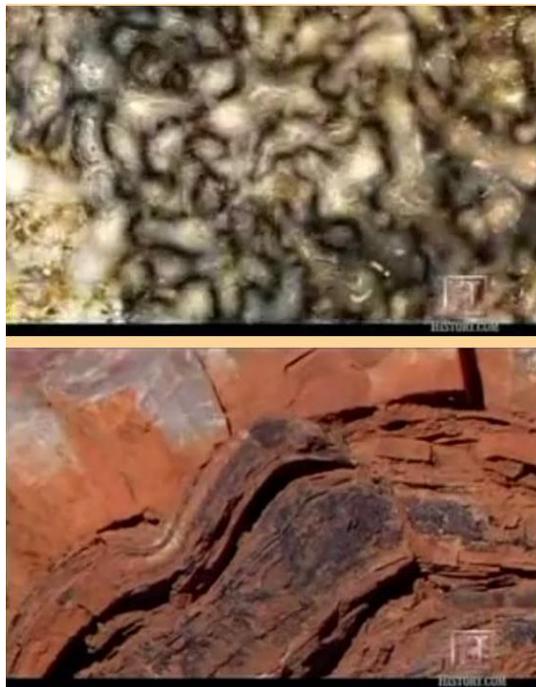


Gambar 10. Sinar matahari mulai dapat mencapai dasar laut dangkal yang terbentuk di tepi-tepi benua yang luas pada 2,5 milyar tahun yang lalu. (Sumber: History.com)

Salah satu hasil terpenting dari proses fotosintesa bagi perkembangan kehidupan adalah oksigen. Organisme laut dangkal penghasil oksigen dari sinar matahari, dan telah membuat bumi bertransformasi adalah apa yang disebut sebagai Stromatolit (Gambar 11). Stromatolit dihasilkan dari lendir hasil metabolisme bakteri dan algae yang mengeras dan menjadi batuan (Gambar 12). Bakteri dan algae dalam hal ini hidupnya berkoloni, sehingga pengerasan dari hasil metabolismenya secara perlahan dan memakan waktu bertahun-tahun dapat membentuk gundukan batuan. Dengan kehadiran Stromatolit yang mulai melimpah di sekitar 2,5 milyar tahun lalu ini, maka samudera dan atmosfer perlahan mulai mengalami oksigenasi sehingga laut dan langit bumi kita perlahan mulai berubah menjadi biru (Gambar 13). Proses penggantian karbondioksida menjadi oksigen di atmosfer ini terus terjadi sampai pada 1,5 milyar tahun lalu, dan menjadikan bumi dan langit kita benar-benar menjadi biru. Melalui waktu selama lebih dari 2 milyar tahun, proses fotosintesa dari Stromatolit telah menghasilkan lebih dari 20 juta milyar ton oksigen yang dipompakan di sekitar laut dangkal dan ke atmosfer. Stromatolit yang jejak kehidupan masa lampaunya dapat ditemukan sebagai fosil ini, dapat dipelajari metabolisme hidupnya berdasarkan yang masih hidup di laut dangkal pada masa sekarang. Stromatolit yang menjadi salah satu perintis kehidupan di bumi ini, juga diyakini merupakan satu-satunya nenek moyang semua makhluk hidup yang sekarang terdapat di bumi.



Gambar 11. Stromatolit, jejak awal kehidupan di bumi yang masih bisa ditemukan sekarang di beberapa bagian laut dangkal menyebar di seluruh dunia (Sumber: History.com).



Gambar 12. Koloni stromatolit pada saat masih hidupnya diamati di bawah mikroskop (atas) yang kemudian mengeras menjadi batu (bawah) (Sumber: History.com). Stromatolit dianggap menjadi bukti kehidupan yang pertama mendiami bumi, dan diyakini menjadi nenek moyang semua makhluk hidup yang pernah mendiami bumi sampai sekarang.

Terbentuknya benua-benua di muka bumi memang telah memberikan pengaruh baik terhadap perkembangan kehidupan, yaitu dengan memicu terjadinya oksigenasi. Tapi dengan terbentuknya benua-benua di permukaan bumi, ternyata pada beberapa juta tahun kemudian memberikan efek kejutan besar pada perkembangan kehidupan. Kehidupan yang sudah ada dan sangat sederhana dengan perkembangan yang sangat lambat, tiba-tiba mendapat kejutan sebagai akibat dari terbentuknya benua-benua ini.

Dalam beberapa milyar tahun berikutnya setelah benua-benua terbentuk, mulai terjadi pergeseran benua-benua akibat pergerakan dari dalam bumi. Kepingan-kepingan benua ini saling berinteraksi dan bergerak untuk mengatur posisinya masing-masing. Hal ini yang kemudian menjadi pemicu dimulainya siklus kebencanaan di bumi kita.



Gambar 13. Samudera bumi kita yang awalnya berwarna hijau pucat karena belum ada oksigen pada 2,2 milyar tahun lalu (kiri) menjadi biru akibat proses oksigenasi di bumi mulai 1,5 milyar tahun lalu sampai sekarang (Sumber: History.com).

Pergerakan kepingan-kepingan benua ini secara lambat tapi pasti mengumpul di Kutub Selatan. Penyatuan benua-benua ini menghasilkan super benua yang disebut sebagai Rodinia (Gambar 14). Rodinia tidak hanya gersang dan tidak berpenghuni, tetapi juga segera membuat kejutan yang besar di bumi kita. Kejutan bencana yang kemudian memberikan pengaruh yang sangat besar bagi perkembangan kehidupan. Letak Rodinia yang berada di Kutub Selatan telah menghalangi aliran arus hangat dari ekuator ke arah Kutub Selatan. Hal ini telah menyebabkan pendinginan dan pembentukan es yang tidak terkendali di Kutub Selatan. Pembentukan es yang semakin meluas telah menahan efek panas sinar matahari ke bumi, karena langsung dipantulkan oleh permukaan es. Kondisi permukaan bumi yang semakin

mendingin juga memicu pembentukan es yang semakin melebar ke arah ekuator dari Kutub Utara. Lama kelamaan es yang terbentuk terus meluas menyelubungi permukaan bumi, bahkan pada 700 juta tahun lalu pembentukan es ini mencapai puncaknya dengan ketebalan sampai lebih dari 1,5 km (Gambar 15). Kondisi bumi yang diselubungi es tebal ini disebut juga sebagai dunia bola salju (*snow ball earth*). Kondisi *snow ball earth* ini berlangsung terus selama ratusan juta tahun. Hal ini menyebabkan kehidupan organisme sederhana yang hanya berada di laut (belum ada kehidupan di daratan), terperangkap dalam kegelapan di bawah lapisan es yang tebal dan membekukan dalam waktu yang sangat panjang. Kondisi gelap dan dingin yg lama ini kemudian diyakini sebagai penyebab bencana kepunahan kehidupan pertama yang terjadi di planet bumi. Kejadian ini mengakibatkan kemenerusan kehidupan di bumi menjadi berada di ujung tanduk.



Gambar 14. Pergerakan benua-benua yang sudah terbentuk di permukaan kearah selatan bumi yang dimulai pada 1,5 milyar tahun lalu, membentuk super benua Rodinia pada posisi kutub selatan bumi di 1 milyar tahun yang lalu. (Sumber: History.com)



Gambar 15. Posisi Rodinia di Kutub Selatan telah menyebabkan pembentukan es yang tidak terkendali di kutub selatan karena tertahannya pergerakan arus hangat dari wilayah ekuator ke selatan. Pada 700 juta tahun lalu bumi kita terselimuti oleh es setebal 1,6 km yang disebut sebagai *snow ball earth*. (Sumber: History.com)

Walaupun telah membentuk super benua Rodinia, tetapi seiring dengan perjalanan waktu jauh di bawah lapisan es yang tebal mulai terjadi aktivitas vulkanik yang bersifat masif. Aktivitas vulkanik ini adalah sebagai akibat gerakan saling berpisah dari kepingan-kepingan benua-benua yang membentuk Rodinia. Pergerakan yang perlahan tapi pasti ini mulai membuat Rodinia terpecah-pecah menjadi benua-benua kecil yang bergerak saling menjauh. Aktivitas vulkanik yang luas dan masif di tepi-tepi benua yang berpisah-pisah ini (Gambar 16), telah menyebabkan pemanasan global dan efek rumah kaca di bumi. Suhu bumi yang memanas pada saat itu juga memberikan efek lain yang besar, yaitu sedikit demi sedikit mencairkan es tebal yang telah menyelimuti bumi selama hampir 70 juta tahun.

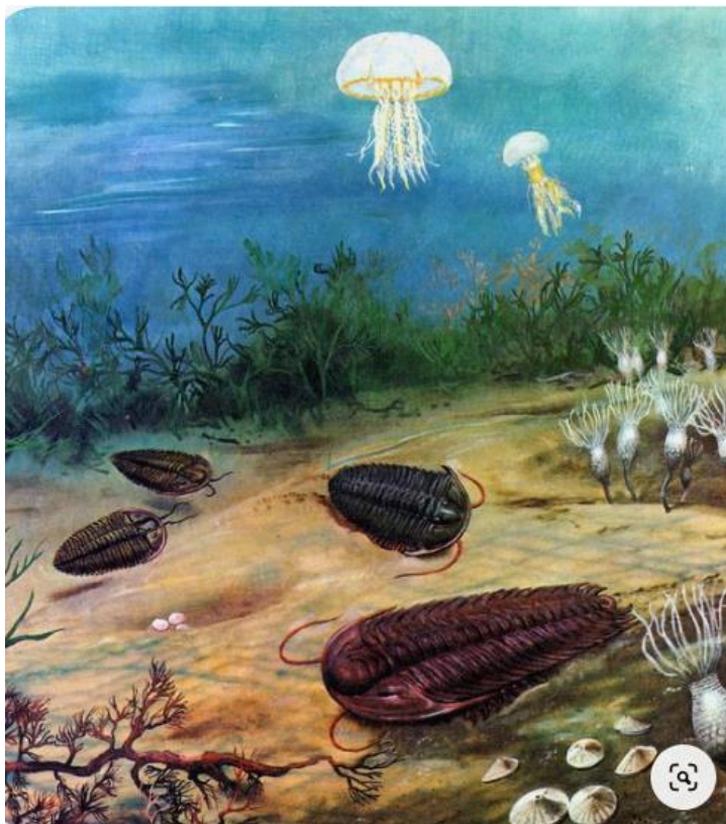
Proses pemisahan benua-benua yang awalnya membentuk super benua Rodinia ini, selain mencairkan es yang menjadi penyelubung bumi selama puluhan juta tahun, tetapi juga ternyata memberikan efek yang besar terhadap perkembangan kehidupan. Benua-benua yang bergerak saling menjauh ini ternyata kembali memberi harapan bagi kehidupan, karena kembali membentuk banyak wilayah laut dangkal. Laut dangkal di tepi-tepi benua telah memungkinkan kembali terjadinya proses fotosintesa, dan juga telah memicu loncatan perkembangan kehidupan yang jauh lebih kompleks dan berkembang.



Gambar 16. Aktivitas kegunungapian akibat pemisahan benua-benua pada sekitar 650 juta tahun lalu, telah menyebabkan es tebal yang menutupi bumi mencair. Pencairan es dimulai pada bagian bumi yang lebih hangat, yaitu di daerah sepanjang ekuator, dan bergerak ke masing-masing kutub utara dan kutub selatan pada 630 juta tahun lalu. (Sumber: History.com)

Sekali lagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi berhasil mengungkapkan bahwa paling tidak di sekitar 540 juta tahun yang lalu, di bumi kita sudah terdapat kehidupan yang jauh lebih maju. Walaupun di daratan pada saat itu belum memungkinkan adanya kehidupan, tetapi di laut-laut dangkal perkembangan kehidupan sudah jauh lebih pesat. Pada periode

yang disebut sebagai Zaman Kambrium ini, di laut terdapat makhluk hidup yang memiliki ukuran makro/besar (dapat dilihat langsung oleh mata manusia tanpa alat bantu lensa pembesar), juga ada yang sudah memiliki rangka, cangkang, bahkan mata yang primitif (Gambar 17). Karena sudah memiliki bagian tubuh yang keras seperti rangka dan cangkang, maka banyak yang bisa terawetkan menjadi fosil dan bisa kita amati sampai sekarang seperti fosil Trilobit (Gambar 18). Walaupun kehidupan yang nyata ini diketahui paling tidak sudah ada pada 540 juta tahun yang lalu, tetapi makhluk lunak tak bermata yang termasuk Filum Moluska sudah jadi penghuni bumi melewati waktu jutaan tahun sebelumnya (Gambar 19).



Gambar 17. Gambaran kehidupan di dasar laut pada Zaman Kambrium (zaman ini dimulai pada 540 sampai 490 juta tahun lalu) , mulai terdapat kehidupan makro yang dapat langsung dilihat oleh mata tanpa perlu alat bantu, seperti kaca pembesar atau mikroskop. Fauna moluska (sejenis ubur-ubur pada bagian atas gambar) dan Trilobit (fauna dari kelompok Artropoda/hewan yang berbuku-buku pada bagian bawah gambar). Trilobit sangat melimpah pada Zaman Kambrium, ditandai oleh banyak fosil Trilobit (Gambar 18) yang ditemukan pada batuan berumur Kambrium di dunia. (<https://www.pinterest.com/pin/325666616786477382/>)



Gambar 18. Fosil Trilobit yang banyak dijumpai pada batuan berumur Kambrium. (<https://www.grisda.org/the-cambrian-explosion-1>).



Gambar 19. Gambaran fauna dari Filum Moluska seperti ubur-ubur modern (mahluk hidup yang bergerak tanpa mata), diyakini sudah ada jutaan tahun sebelum adanya kehidupan pada Zaman Kambrium (mulai 540 juta tahun lalu) yang dapat dilihat pada Gambar 17. (Sumber: BBC MMV)

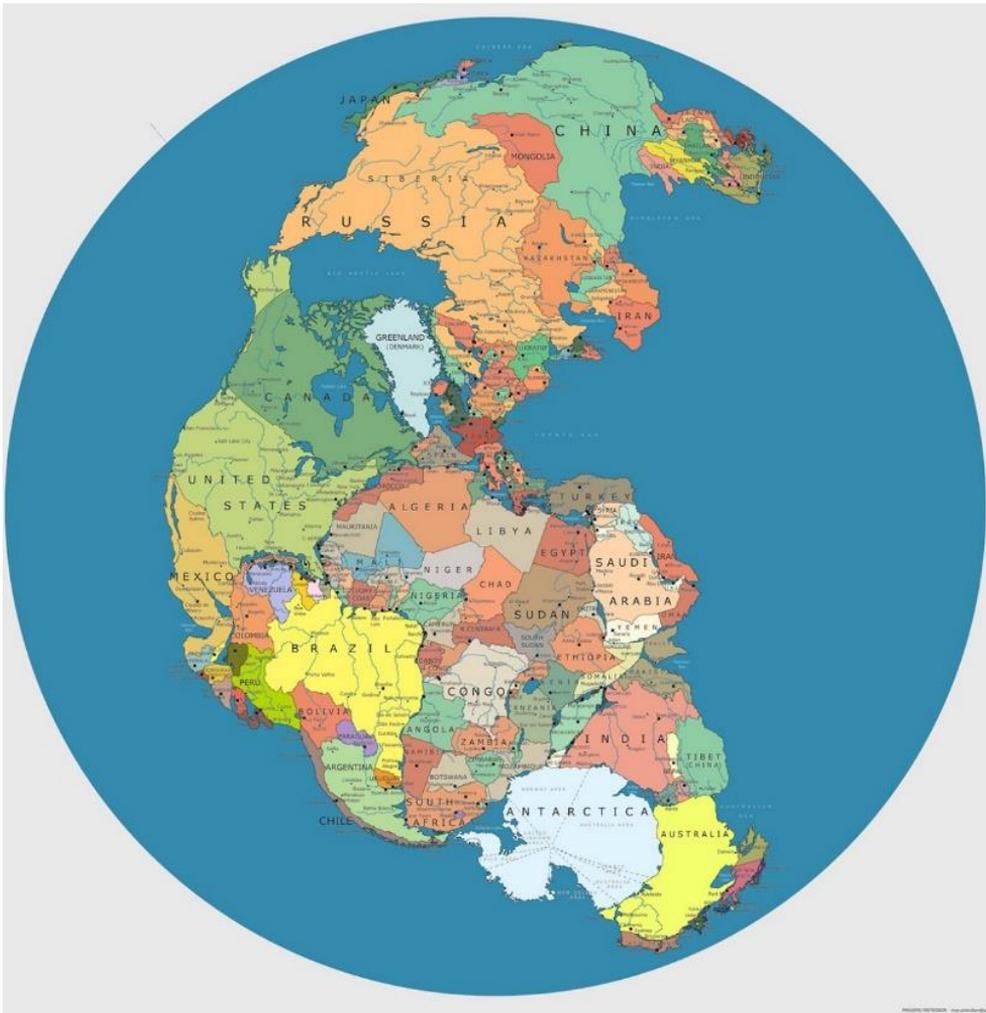
3. PERKEMBANGAN KEHIDUPAN SEJAK ADA KEHIDUPAN MAKRO SAMPAI SEBELUM KEHADIRAN DINOSAURUS (MASA PALEOZOIKUM 540 – 250 JUTA TAHUN YANG LALU)

Sejak berakhirnya fenomena *snow ball earth* yang diikuti oleh perkembangan kehidupan yang cepat, kehidupan terus berlanjut dan berkembang selama ratusan juta tahun berikutnya. Evolusi kehidupan terus bertambah kompleks sampai sebelum kehadiran Dinosaurus pertama di bumi pada 250 juta tahun lalu.

Kepingan benua di bumi setelah berakhirnya kejayaan super benua Rodinia, ternyata dalam hitungan ratusan juta tahun kembali saling bergerak dengan kecenderungan untuk saling bersatu. Pergerakan benua-benua pada akhirnya kembali membentuk super benua yang baru. Penyatuan kembali benua-benua ini membentuk super benua baru yang disebut Pangea (Gambar 20). Selama perjalanan waktu pembentukan Pangea juga diikuti dengan perkembangan kehidupan. Salah satu fase perkembangan kehidupan yang penting, yaitu mulai adanya makhluk hidup amfibi yang bisa pindah hidup ke darat pada 400 juta tahun lalu. Inilah waktu pertama kalinya ada makhluk bertulang belakang yang bisa melepaskan diri dari air, di mana sebelumnya kehidupan hanya ada di bawah air laut. Hal ini tentunya juga didukung oleh sudah terbentuknya lapisan ozon di atmosfer yang dapat menahan radiasi sinar matahari yang mencapai permukaan, dan melindungi makhluk hidup yang keluar dari air laut untuk dapat hidup di darat.

Pada awal Masa Paleozoikum, makhluk hidup yang bisa keluar dari air hanya dari kelompok kalajengking raksasa purba (Euripterid) yang termasuk ke dalam hewan yang berbuku-buku (Filum Artropoda) (Gambar 21 dan 22). Euripterid bisa keluar dari air untuk sementara waktu karena hampir seluruh tubuhnya terdiri dari rangka yang keras. Makhluk hidup lain yang banyak terdapat di laut pada masa itu adalah ikan primitif tak berahang yang disebut *Cephalaspis* (Gambar 23). *Cephalaspis* merupakan salah satu hewan yang terperangkap di laut pada masa itu, karena memiliki jaringan kulit yang lunak pada bagian luar tubuhnya. Namun setelah adanya lapisan ozon, makhluk hidup lain seperti amfibi yang memiliki kulit yang lunak di bagian luar tubuhnya pun bisa bermigrasi ke daratan untuk sementara waktu (Gambar

24). Kemampuan hidup di darat ini semakin lama semakin berkembang, bahkan lama kelamaan beberapa makhluk hidup yang ada sudah bisa meninggalkan air untuk hidup di darat selamanya. Perkembangan kehidupan di darat ini ditandai oleh evolusi kulit yang tahan terhadap kondisi yang kering, bahkan telur amfibi ini pun lama-kelamaan berevolusi sehingga memiliki cangkang yang keras dan tidak perlu lagi diletakkan di air sampai akhirnya menetas.



Gambar 20. Gambaran rekonstruksi peta super benua Pangea pada Masa Paleozoikum, dengan batas-batas negara sekarang pada posisinya masing-masing saat itu. (<https://www.visualcapitalist.com/incredible-map-of-pangea-with-modern-borders>)



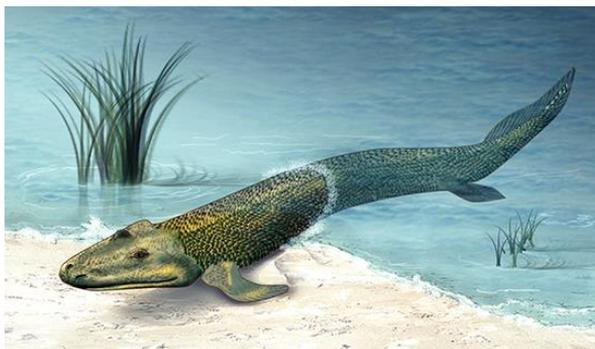
Gambar 21. Euripterid (kalajengking raksasa purba) digambarkan sedang memburu mangsa ikan primitif *Cephalaspis* di dasar laut Masa Paleozoikum. Euripterid adalah salah satu makhluk hidup yang pertama kali bisa hidup di darat karena memiliki bagian tubuh yang sebagian terdiri dari rangka yang keras dan kuat sehingga tahan terhadap radiasi panas sinar matahari. (<https://nationalgeographic.grid.id/read/132948621/terropterus-xiushanensis-kalajengking-laut>)



Gambar 22. Fossil Euripterid pada batuan yang terbentuk pada Masa Paleozoikum. (<https://www.fossilguy.com/gallery/invert/arthropod/eurypterid/index.htm>)



Gambar 23. Ilustrasi *Cephalaspis*, ikan primitif tak berahang yang hidup di Masa Paleozoikum. *Cephalaspis* diyakini merupakan makhluk bertulang belakang yang pertama hidup di bumi. (<https://www.artstation.com/artwork/Arvr2o>)



Gambar 24. Ilustrasi hewan amfibi yang keluar dari air laut dan pertama kali berjalan di darat pada Masa Paleozoikum. Amfibi di darat berjalan dengan sirip karena belum mempunyai kaki. Lama kelamaan sirip depan dan sirip belakang amfibi berubah menjadi kaki yang memudahkan untuk berjalan jauh di daratan yang kering dan keras. (Sumber: <https://courses.lumenlearning.com/wm-nmbiology2/chapter/amphibians/>)

Beberapa kejadian penting selama periode ini adalah pada Zaman Devon (mulainya kehidupan di darat), Zaman Karbon (kondisi oksigen dengan konsentrasi yang tinggi di atmosfer bumi menjadikan makhluk hidup yang ada jadi berukuran raksasa) dan Zaman PERM (kepunahan di akhir Paleozoikum).

Pada Awal Paleozoikum dikarenakan masih terbatasnya kesempatan hidup di darat, maka yang jauh lebih maju adalah hasil evolusi kehidupan di laut. Perkembangan evolusi kehidupan di laut antara lain ditandai oleh munculnya *Orthocone* (Gambar 25) pada Zaman Ordovisium (450 juta tahun yang lalu) dan *Dunkleosteus* (Gambar 26) pada Zaman Devon (350 juta tahun lalu). *Orthocone* berupa makhluk yang menyerupai cumi sekarang, tetapi memiliki cangkang yang keras berbentuk kerucut seperti kebanyakan bentuk siput modern. Uniknya hewan ini cangkangnya bisa mencapai ukuran

panjang lebih dari 5 meter. Hewan lainnya yang unik adalah ikan raksasa *Dunkleosteus* yang kulitnya sangat keras seperti baja dan sering digambarkan memiliki ukuran sebesar rumah.



Gambar 25. *Orthocone* hewan berbentuk seperti cumi-cumi bercangkang tebal dan keras dengan ukuran raksasa (memiliki panjang lebih dari 5 meter). Pada gambar ini *Orthocone* diilustrasikan sedang memangsa kalajengking laut purba (*Eurypterid*) dengan panjang sekitar 1 meter. Fosil *Orthocone* dan *Eurypterid* ditemukan pada batuan berumur Ordovisium (Paleozoikum awal atau sekitar 450 juta tahun lalu). (Sumber: <https://walkingwith.fandom.com/wiki/Orthocone?file=CamerocerasInfobox.jpg>).



Gambar 26. Ilustrasi *Dunkleosteus* (ikan berperisai) di mana kulitnya sangat keras seperti kuku yang tebalnya 6 cm dan memiliki rahang sekeras baja. Dengan ukuran raksasa (panjang lebih dari 4 meter). Fosil *Dunkleosteus* ditemukan pada batuan berumur Devon (Zaman Devon setara dengan Paleozoikum tengah atau sekitar 360 juta tahun lalu) (Sumber: <https://www.fossilguy.com/gallery/vert/placoderm/dunkleosteus/index.htm>)

Zaman lain di Masa Paleozoikum yang juga unik adalah Zaman Karbon (antara 345 s.d. 280 juta tahun yang lalu). Sesuai nama zamannya, pada batuan berumur Karbon ini banyak ditemukan batubara/karbon. Dikarenakan pada

zaman ini benua-benua yang ada saling bergerak dalam proses bersatu menjadi super benua, menyebabkan banyak terbentuk rawa-rawa dan laut dangkal di antara tepian benua yang bertemu. Konsentrasi oksigen yang tinggi di udara memicu seringnya kejadian hujan pada zaman ini dibandingkan zaman-zaman sebelumnya. Pelapukan batuan di banyak bagian benua akibat iklim dengan curah hujan yang tinggi, juga telah menghasilkan banyak wilayah luas di beberapa bagian benua menjadi hamparan tanah yang subur. Kondisi ini memicu perkembangan kehidupan flora sehingga dapat terbentuk tanaman tingkat tinggi dan hutan di darat (Gambar 27). Kondisi daratan yang umumnya berupa rawa-rawa menyebabkan tanaman yang mati tidak membusuk karena segera terselimuti air rawa. Timbunan tanaman mati ini setelah mengalami proses penimbunan melalui waktu yang panjang, maka lama kelamaan membentuk batubara (Gambar 28).



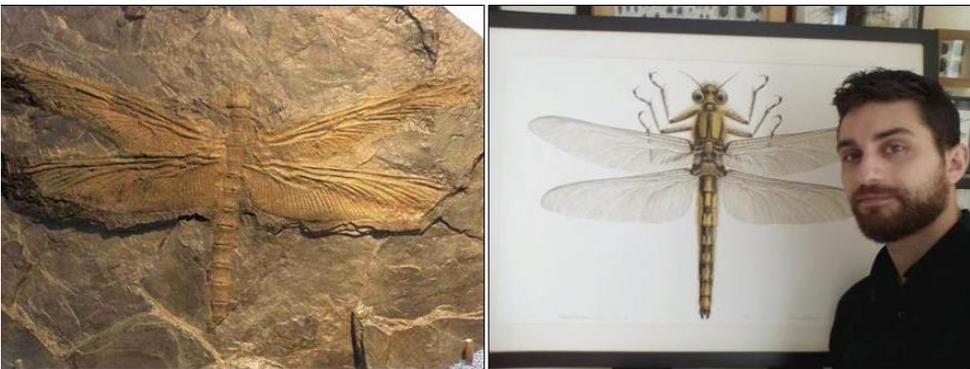
Gambar 27. Ilustrasi kondisi daratan (bagian benua) berawa pada Zaman Karbon yang dipenuhi oleh hutan dengan tanaman tingkat tinggi (<https://www.fossilguy.com/sites/ambridge/fern-fossils.htm>).



Gambar 28. Lapisan batubara yang terbentuk dan terdapat sebagai sisipan pada batuan berumur Karbon di Newark Castle, Inggris. (<https://www.flickr.com/photos/14508691@N08/5187818627>).

Kondisi daratan pada Zaman Karbon ini selain menghasilkan tanaman tingkat tinggi dan hutan yang sebelumnya tidak ada di daratan, juga memberikan efek yang signifikan pada makhluk hidup lainnya. Akibat kondisi daratan dan iklim yang mendukung bagi kehidupan ini, menyebabkan daratan pada Zaman Karbon dipenuhi oleh “monster raksasa”. “Monster raksasa” Zaman Karbon yang ditemukan sebagai fosil antara lain: capung raksasa yang panjang kepakannya mencapai hampir 1,5 meter (Gambar 29), kaki seribu dengan panjang sekitar 1 m, dan lalat capung dengan panjang sekitar 15 cm (Gambar 30).

Kondisi yang sangat mendukung bagi perkembangan kehidupan ini juga diyakini akibat kadar oksigen yang sangat tinggi di udara. Oksigen tentunya merupakan salah satu faktor utama yang dibutuhkan untuk keberlangsungan proses metabolisme makhluk hidup. Makhluk hidup dalam hal ini termasuk hewan dan tumbuhan yang sudah banyak hidup dan berkembang di daratan. Proses metabolisme yang didukung oleh kadar oksigen yang tinggi di udara bumi pada saat itu, lama kelamaan ternyata juga memicu evolusi semua makhluk hidup yang ada pada saat itu. Evolusi yang kebanyakan terjadi pada saat itu ada membesarkan diri atau tubuhnya. Seperti dijelaskan sebelumnya mengenai kadar oksigen yang tinggi di udara pada saat itu dipicu awalnya oleh banyaknya tumbuhan di darat, selain juga akibat tertahannya karbondioksida pada batubara yang terbentuk sehingga hanya sedikit karbondioksida yang dilepaskan ke udara.

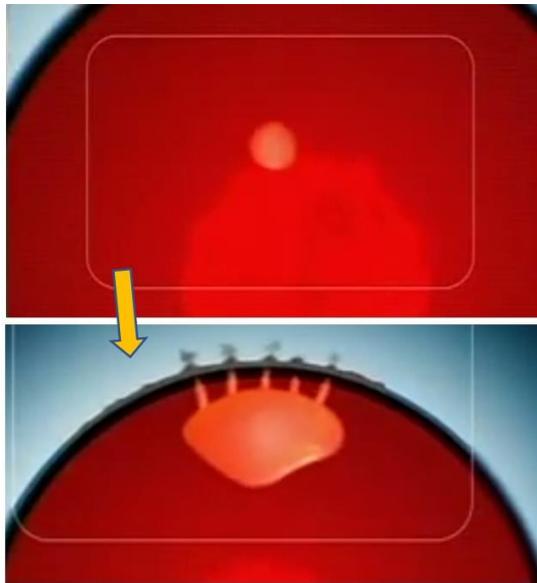


Gambar 29. Perbandingan ukuran capung raksasa dari genus *Meganeura* (hasil rekonstruksi dari fosil yang ditemukan pada batuan berumur Karbon pada gambar kiri) dengan ukuran tubuh manusia (gambar kanan). (Sumber: <https://www.geologyin.com/2018/01/the-largest-insect-ever-existed-was.html> dan <https://ecosystemsintthesky.com/blog/six-wings-and-giants-the-earliest-fliers-and-largest-insects-that-ever-lived>)



Gambar 30. Ilustrasi keadaan lingkungan pada Zaman Karbon (sekitar 300 juta tahun lalu), berupa daratan yang lembap dipenuhi oleh tumbuhan rawa *lycopod*. Beberapa hewan raksasa yang terdapat pada saat itu, yaitu kaki seribu dengan panjang sekitar 1 m pada bagian tengah gambar, dan lalat capung dengan panjang 15 cm pada bagian kanan bawah gambar. (Sumber: <https://www.researchgate.net/figure/Giant-arthropods-in-Pennsylvanian-wetlands>)

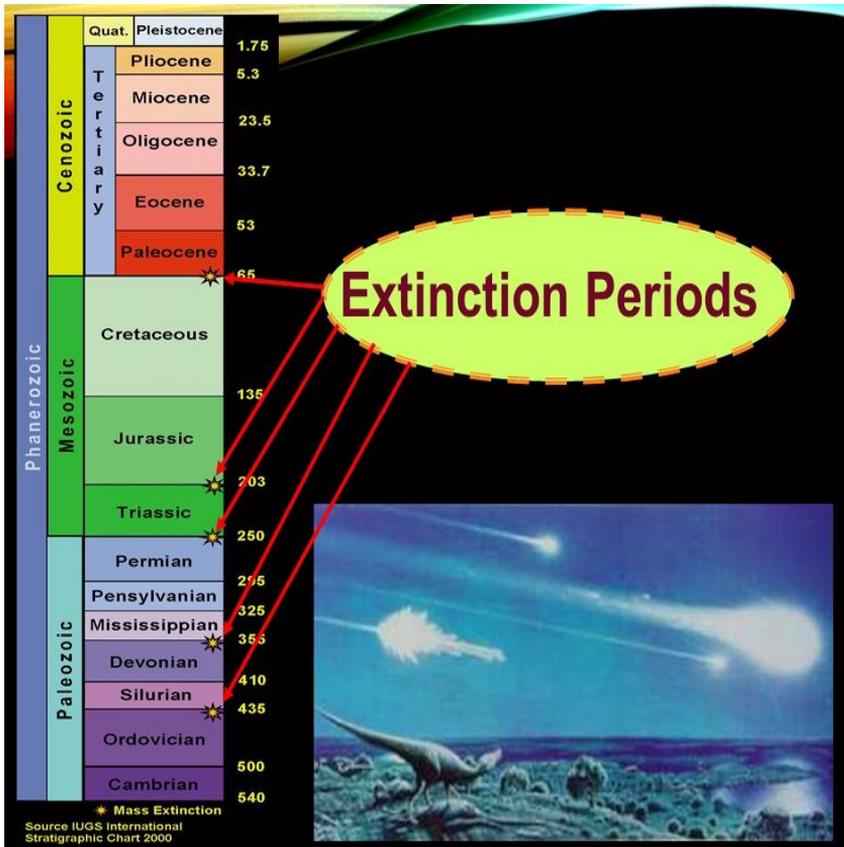
Perkembangan kehidupan di Masa Paleozoikum berakhir pada sekitar 250 juta tahun yang lalu atau bersesuaian dengan akhir Zaman Perm. Peristiwa *mantle plume* di benua yang sekarang menjadi Siberia telah mengakibatkan terjadinya kepunahan besar di bumi. *Mantle plume* adalah kejadian di mana massa magma yang sangat besar dan sangat panas dari bagian mantel bumi yang dalam, tiba-tiba bergerak dan menembus lalu menghancurkan permukaan bumi yang diterobosnya (Gambar 31). Erupsi magma mantel ini berlangsung selama sekitar 1 juta tahun, menyebabkan bumi menjadi panas dan polusi serta membuat udara di seluruh permukaan bumi menjadi beracun (Gambar 32). Kejadian yang tidak dapat dipastikan penyebabnya ini telah mengakibatkan kepunahan besar kedua di bumi (Gambar 33), 95% kehidupan yang sudah dibangun selama hampir 300 juta tahun musnah/punah. Peristiwa besar dalam sejarah perkembangan kehidupan di bumi ini, telah membuat Siberia menjadi benua yang hitam/gosong selama beberapa juta tahun berikutnya (Gambar 34). Sisa-sisa kejadian yang berkaitan dengan aktivitas vulkanisme masa lalu ini tetap dapat diamati sampai sekarang di Siberia, yang biasa disebut sebagai Siberian Traps (Gambar 35). Faktor lain yang juga diyakini memicu kepunahan di akhir Masa Paleozoikum adalah perubahan iklim ekstrem panas dan ekstrem dingin yang sangat cepat (dalam kisaran 2 juta tahun sekali) yang terjadi sebelum bencana *mantle plume* terjadi. Perubahan panas dan dingin di akhir Masa Paleozoikum adalah dalam kisaran 2 juta tahun sekali, sementara kecepatan perubahan panas dan dingin pada masa awal dan pertengahan Masa Paleozoikum adalah 10 – 30 juta tahun sekali (Dott dan Batten, 1988).



Gambar 31. *Mantle plume*, terpisahnya sebagian massa magma dari mantel bumi (gambar kiri) lalu bergerak dan menerobos ke luar permukaan bumi (gambar kanan) melalui bagian bumi yang berupa daratan/benua (Sumber: History.com).



Gambar 32. Ilustrasi semburan magma panas dari mantel bumi (gambar atas) di seluruh permukaan benua yang sekarang menjadi Siberia (gambar bawah) pada 250 juta tahun yang lalu. Kejadian ini mengakibatkan kepunahan 95% kehidupan yang ada pada saat itu (Sumber: History.com).



Gambar 33. Masa-masa kepunahan besar makhluk hidup di bumi, berdasarkan skala waktu geologi. (IUGS International Stratigraphic Chart, 2000 dan <https://www.lpi.usra.edu/science/kring/Chicxulub/>).



Gambar 34. Beberapa juta tahun setelah kejadian *mantle plume*, Siberia digambarkan sebagai benua yang hitam/gosong pada 240 juta tahun yang lalu. (Sumber: History.com)



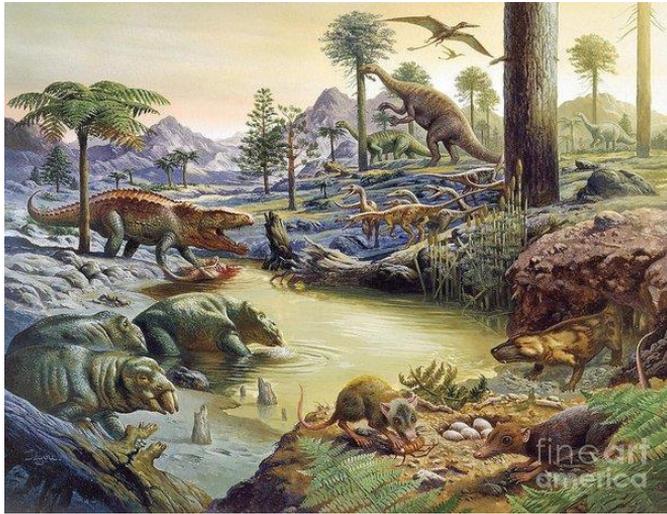
Map of Siberian Traps volcanic region



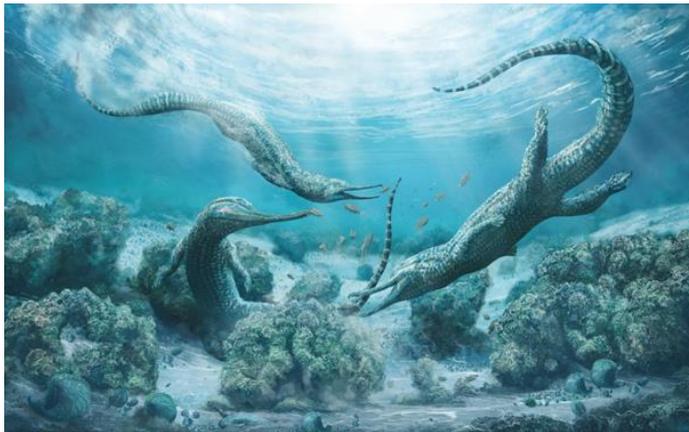
Gambar 35. Foto batuan hasil pembekuan magma dari kejadian *mantle plume* di Siberia (gambar atas) yang disebut sebagai *Siberian Traps*, dan gambar bawah menunjukkan peta penyebaran batuanannya di sekitar wilayah Siberia, Rusia. (athenapub.com/aria1/PAL/siberia1.html dan <https://earthlogs.org/tag/siberian-traps/>)

4. KEHIDUPAN PADA MASA DINOSAURUS (MASA MESOZOIKUM 250 JUTA – 65 JUTA TAHUN YANG LALU)

Setelah melalui periode kepunahan di akhir Paleozoikum, makhluk hidup yang masih tersisa segera menata kembali kehidupannya untuk meneruskan kelangsungannya di muka bumi. Seperti merayakan kebebasannya dari kepunahan yang pernah mengancam, fauna reptil yang masih tersisa di permukaan bumi segera berevolusi membesarkan dirinya. Hanya dalam beberapa juta tahun saja kelompok fauna ini sudah menjadi kelompok dinosaurus dan menjadi reptil terbesar yang pernah mendiami bumi. Perkembangan yang pesat dari kelompok dinosaurus pada Masa Mesozoikum ini, menyebabkan kelompok hewan ini menjadi penguasa bumi pada saat itu. Pada Masa Mesozoikum ini, dinosaurus menjadi penguasa di daratan dan udara (Gambar 36) serta di air/samudra (Gambar 37). Proses evolusi yang relatif cepat dalam hitungan waktu geologi ini, ternyata sangat didukung oleh kondisi geologi bumi pada saat itu. Benua-benua yang pernah bersatu membentuk super benua Pangea pada Zaman Karbon, mulai saling berpisah kembali (Gambar 38) menuju posisinya sekarang. Pemisahan benua-benua ini mengakibatkan kejadian vulkanisme di antara tepian benua yang memisah. Hasil pelapukan dari produk vulkanisme ini menjadikan banyak bagian benua menjadi subur untuk ditumbuhi tanaman. Lalu tumbuhan yang melimpah pada masa itu melalui proses fotosintesis telah menghasilkan pula oksigen yang berlebih di udara. Tumbuhan dan oksigen yang melimpah tersedia inilah menjadi faktor pendukung utama evolusi reptil pada waktu itu bisa menjadi dinosaurus yang berukuran besar. Tentunya tubuh yang besar memerlukan tumbuhan sebagai bahan makanan (untuk dinosaurus pemakan tumbuhan) dan oksigen yang banyak pula. Demikian mengikuti juga untuk evolusi dinosaurus pemakan daging, tersedia banyak mangsa dari dinosaurus pemakan tumbuhan. Faktor lain yang memicu evolusi yang cepat dari dinosaurus adalah sifatnya yang berdarah hangat/suam-suam kuku (bukan berdarah panas dan bukan berdarah dingin). Sifat inilah yang dianggap sesuai dengan kondisi iklim pada saat itu yang juga dianggap sebagai iklim yang beruap atau dalam bahasa Inggris disebut *steamy climate*.



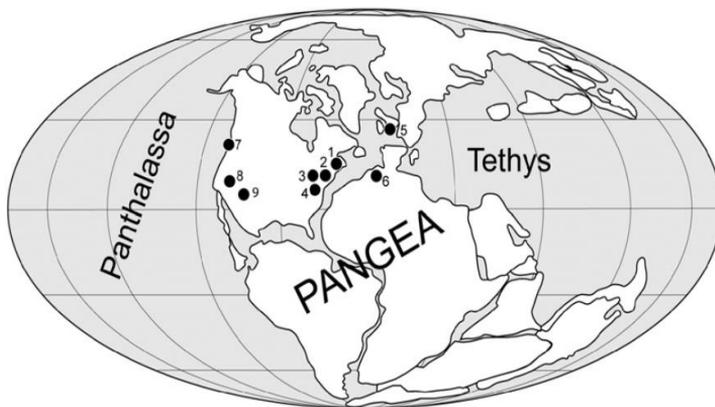
Gambar 36. Dinosaurus pada Masa Mesozoikum menguasai daratan dan udara.
(<https://www.quora.com/Why-is-the-Triassic-barely-mentioned-compared-to-the-Succeeding-Dinosaur>)



Gambar 37. Dinosaurus juga menguasai lautan pada Masa Mesozoikum.
(<https://www.secretsofuniverse.in/history-of-life-12-triassic-period>)

Kejayaan dinosaurus pada Masa Mesozoikum, juga diikuti oleh perkembangan pesat dari fauna moluska terutama dari kelompok Ammonit. Ammonit adalah fauna moluska dari Kelas Cephalopoda berbentuk seperti cumi-cumi, tapi memiliki cangkang yang umumnya berbentuk planispiral (berputar dalam dua dimensi). Fauna moluska laut (Gambar 39) ini umumnya juga memiliki garis ornamentasi yang menarik pada bagian luar cangkangnya, yang disebut sebagai sutura. Karena bentuk cangkangnya dan sutura-nya yang menarik, fosil Ammonit sering juga dijadikan perhiasan (Gambar 40). Dalam geologi dan paleontologi, bentuk sutura Ammonit yang berubah-ubah dari

waktu ke waktu sebagai hasil evolusi ini, sering digunakan sebagai fosil penunjuk umur batuan tempat ditemukannya. Bentuk cangkangnya yang unik berbentuk planispiral, berbeda dengan bentuk fauna moluska yang terdapat secara melimpah di masa-masa yang lain. Fauna dari kelompok ini bisa mencapai ukuran diameter cangkang sepanjang ukuran tinggi manusia (Gambar 41). Salah satu kelompok Kelas Cephalopoda yang lain yang juga banyak ditemukan pada batuan berumur Mesozoikum adalah Belemnit yang bentuknya faunanya lebih mirip cumi-cumi sekarang. Ilustrasi fauna Belemnit dapat dilihat pada bagian atas Gambar 39, dan fosilnya dapat dilihat pada Gambar 42.



Gambar 38. Ilustrasi super benua Pangea pada awal Masa Mesozoikum, di mana benua-benua penyusunnya mulai saling terpisah-pisah. (https://www.researchgate.net/figure/Simplified-map-of-Late-Triassic-Pangea-showing-locations-of-key-Triassic-Jurassic_fig1_237242683)



Gambar 39. Fauna Ammonit yang terdapat melimpah di lautan selama Masa Mesozoikum. Pada bagian atas dari Ammonit terdapat fauna Belemnit yang mirip cumi-cumi sekarang. (<https://www.flickr.com/photos/unforth/3192584772>)



Gambar 40. Fossil Ammonit dengan bentuk cangkang dan sutura (garis ornamentasi pada permukaan cangkang) yang menarik (Aswan, 2023).



Gambar 41. Fossil Ammonit terbesar yang pernah ditemukan dengan ukuran diameter setinggi tubuh manusia. (foto koleksi: Achmad Darul, foto diambil di Fakultät Für Geowissenschaften, Institut Für Geologie, Mineralogie Und Geophysik, Ruhr-Universität Bochum, Kota Bochum, Jerman)



Gambar 42. Fosil Belemnit dari Klas Cephalopoda yang ditemukan pada batuan berumur Mesozoikum, tepatnya masih menempel pada batupasir yang terbentuk pada Zaman Trias atau sekitar 200 juta tahun yang lalu. (Sumber <https://www.fossilera.com/fossils/two-jurassic-belemnite-fossils-germany>).

Kejayaan dinosaurus yang berukuran sangat besar dan sangat kuat serta menguasai bumi selama hampir 200 juta tahun sejak 250 juta tahun lalu ini, ternyata berakhir pada 65 juta tahun lalu. Hasil penelitian paleontologi di seluruh dunia menunjukkan bahwa fosil-fosil dinosaurus tiba-tiba menghilang pada batuan yang berumur lebih muda dari 65 juta tahun. Selama bertahun-tahun kepunahan dinosaurus ini menjadi misteri bagi para ahli paleontologi dan geologi di dunia. Sampai pada tahun 1980 para ahli kebumiharian menemukan adanya lapisan tipis batuan dengan kandungan unsur Iridium tinggi, yang tepat berumur 65 juta tahun (Gambar 43). Iridium yang tinggi biasanya ditemukan pada batuan yang berasal dari luar angkasa yang disebut juga sebagai asteroid. Berdasarkan hal ini, maka dapat disimpulkan bahwa penyebab kepunahan dinosaurus (baik yang hidup di darat maupun yang hidup di laut) berasal dari luar bumi, atau akibat hantaman asteroid (benda/batu dari luar angkasa) ke bumi (Gambar 44 dan 45). Batuan yang terbentuk di bumi sebenarnya juga umumnya mengandung unsur jarang Iridium ini, tetapi hanya ditemukan dalam jumlah yang sedikit atau konsentrasi yang sangat rendah. Hal lain yang mendukung teori kepunahan akibat hantaman benda angkasa ini, adalah ditemukannya jejak hantaman benda angkasa di Semenanjung Yukatan, Meksiko (Gambar 46). Jejak kaldera yang disebut sebagai Kaldera Chixculub yang sudah terkubur ini memiliki diameter sekitar 180 km dan berdasarkan perhitungan absolut umur kaldera

ini tepat 65 juta tahun. Berdasarkan perhitungan diameter kaldera, maka dapat disimpulkan bahwa diameter benda angkasa yang menghantam bumi pada saat itu paling tidak mencapai 11 km. Beberapa efek utama dari hantaman benda angkasa ini, yang menyebabkan berakhirnya masa Planet Dinosaurus adalah (Gambar 47 dan 48):

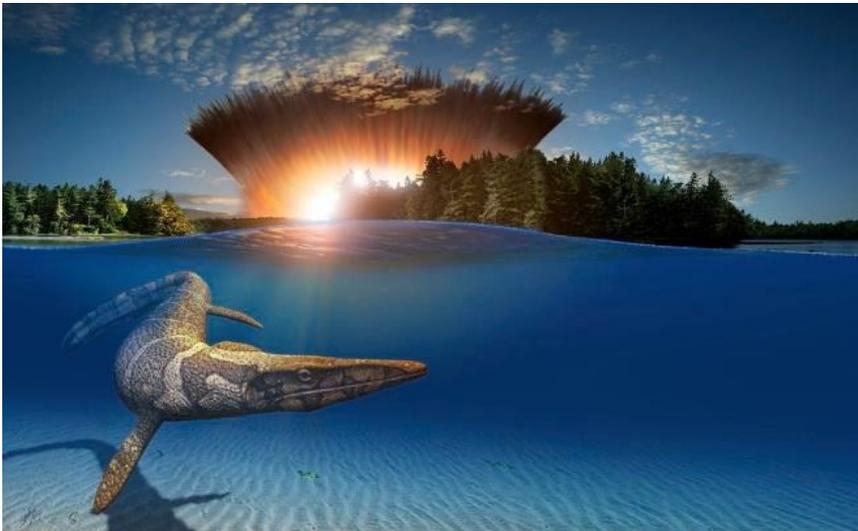
1. Suhu bumi yang menjadi sangat panas sebagai akibat hantaman benda angkasa.
2. Gelombang kejut yang terjadi beberapa detik setelah hantaman.
3. Terbentuknya awan panas yang menyelimuti bumi.
4. Kebakaran dan gempa bumi global (Gambar 49).
5. Kejadian hujan asam yang bersifat global.
6. Tsunami dan pergerakan tanah (Gambar 50).
7. Pendinginan global beberapa hari setelah peristiwa hantaman asteroid ke bumi.



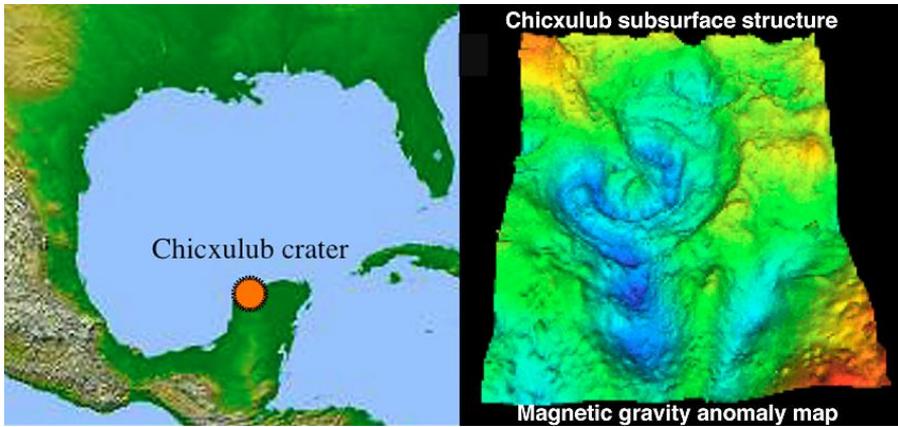
Gambar 43. Lapisan tipis batuan berwarna putih (ditunjuk di foto) yang kaya akan unsur Iridium berumur 65 juta tahun di Trinidad (terletak di Laut Karibia,). Kandungan Iridium yang tinggi mengindikasikan pengaruh besar dari hantaman benda angkasa ke bumi pada saat pembentukan lapisan batuanya. Lapisan ini sebagai penanda kepunahan 75% makhluk hidup pada saat itu termasuk dinosaurus. Mamalia adalah salah satu hewan yang selamat dari kepunahan ini dan dapat meneruskan kehidupan pada masa berikutnya. (Sumber: <https://www.canoncitydailyrecord.com/2013/05/09/beneath-our-feet-k-t-impact/>).



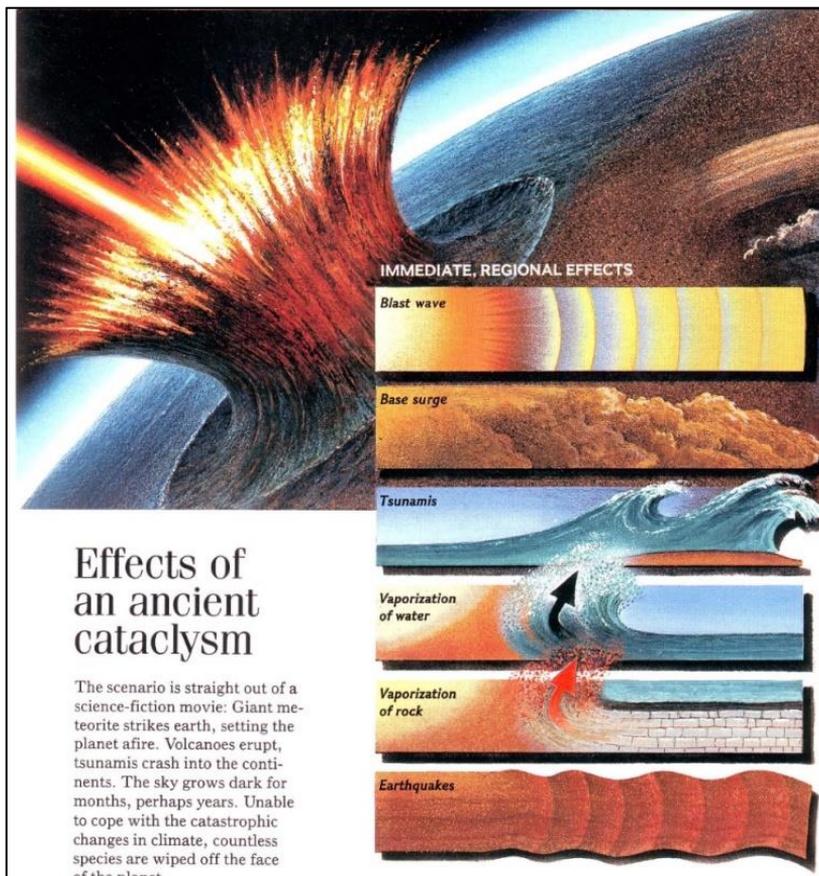
Gambar 44. Ilustrasi situasi di permukaan bumi, beberapa saat sebelum asteroid menghantam dan membuat bencana kepunahan di lokasi yang sekarang menjadi Semenanjung Yukatan, Meksiko pada 65 juta tahun yang lalu. (Sumber:<https://www.forbes.com/sites/jamiecartereurope/2020/06/29/climate-change-killed-the-dinosaurs>).



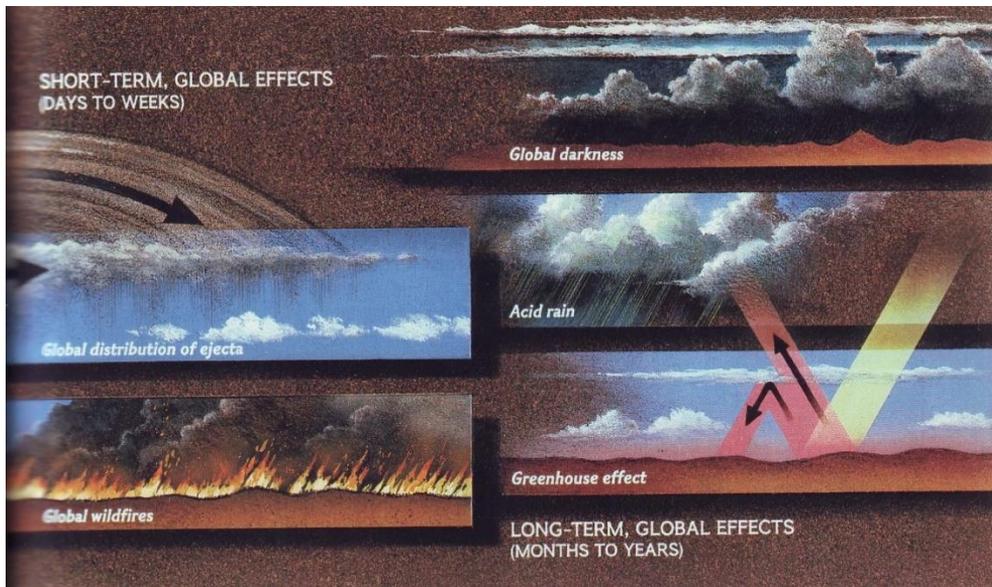
Gambar 45. Ilustrasi situasi di bawah permukaan laut, pada saat asteroid menghantam dan membuat bencana kepunahan di bumi pada 65 juta tahun yang lalu. Kepunahan yang terjadi termasuk makhluk hidup yang hidup di laut. (Sumber:<https://pixels.com/featured/k-t-extinction-event-julius-t-csotonyiscience-photo-library.html>).



Gambar 46. Jejak Kaldera Chixculub di Semenanjung Yukatan, Meksiko. Lokasi kaldera pada gambar kiri, dan gambaran stuktur bawah permukaan dari kaldera pada gambar sebelah kanan. Kaldera ini terbentuk akibat hantaman asteroid ke bumi pada 65 juta tahun lalu yang pengaruhnya memusnahkan 75% kehidupan yang ada pada saat itu. (Sumber: <https://massexinction.princeton.edu/chicxulub/2-impact-controversary>).



Gambar 47. Beberapa efek langsung bencana akibat hantaman asteroid ke bumi yang bersifat regional. (Sumber: National Geographic (1989))



Gambar 48. Beberapa efek bencana jangka panjang (bulan sampai tahun) akibat hantaman asteroid ke bumi. (Sumber: National Geographic (1989))



Gambar 49. Ilustrasi kebakaran global setelah hantaman benda angkasa ke bumi pada 65 juta tahun lalu. Kebakaran global ini merupakan salah satu akibat langsung hantaman benda angkasa yang memicu kepunahan kehidupan pada saat, salah satunya kepunahan dinosaurus. (Sumber: <https://www.worldatlas.com/articles/the-timeline-of-the-mass-extinction-events-on-earth.html>)

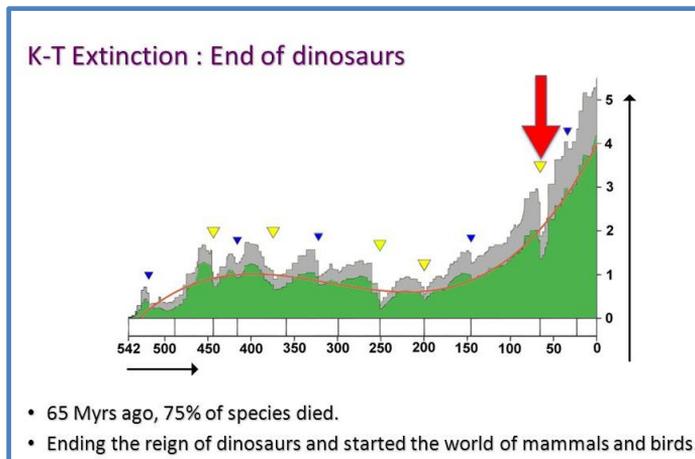
Bencana besar yang terjadi di akhir Mesozoikum ini, telah menyebabkan 75% kehidupan yang sudah sangat maju dan berkembang pada saat itu mengalami kepunahan (Gambar 51). Salah satu fauna yang terdapat melimpah pada saat itu dan juga ikut punah adalah fauna moluska dari

kelompok Ammonit, sedangkan salah satu yang selamat dari kepunahan adalah fauna dari kelompok mamalia.

Mamalia yang ada pada Masa Mesozoikum tidak dapat berkembang secara evolusi dengan baik dan umumnya berukuran kecil. Hal ini diperkirakan akibat dominasi dinosaurus yang tentunya menjadikan mamalia sebagai mangsanya. Diyakini bahwa pada Masa Mesozoikum mamalia hidup di lubang akar pohon yang justru menyelamatkannya pada waktu bencana kepunahan di akhir Mesozoikum terjadi.



Gambar 50. Ilustrasi kejadian gelombang besar tsunami akibat hantaman benda angkasa ke bumi pada 65 juta tahun lalu. Tsunami ini merupakan salah satu akibat langsung hantaman benda angkasa yang memicu kepunahan makhluk hidup pada saat itu, salah satu yang punah pada saat itu adalah dinosaurus. (Sumber: <https://sciencephotogallery.com/featured/dinosaur-extinction-claus-lunau.html>)



Gambar 51. Diagram perkembangan jumlah kehidupan dari waktu ke waktu dalam juta tahun (sumbu mendatar). Diagram ini menunjukkan terjadinya kepunahan 75% makhluk hidup akibat bencana hantaman asteroid ke bumi pada 65 juta tahun yang lalu. (Sumber: <https://www.google.com/search?q=75%25+K-T+extinction+graphic&tbnm>)

5. PALEONTOLOGI MOLUSKA ZAMAN TERSIER DAN KUARTER

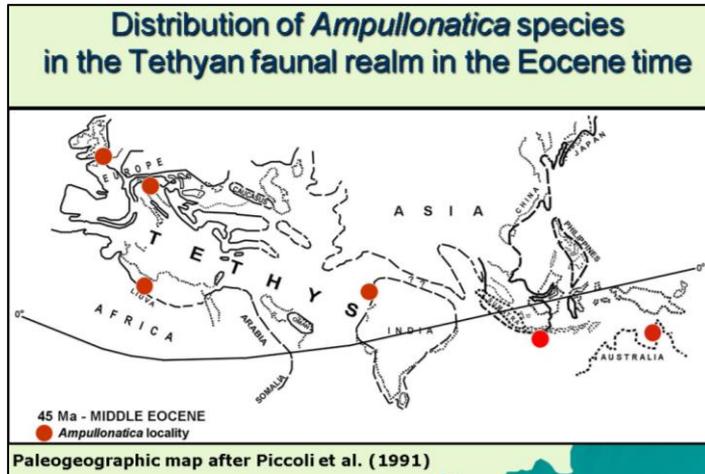
5.1. Moluska Paleogen

Penelitian moluska Paleogen (Sub Zaman Tersier awal) pernah dilakukan pada kumpulan fosil moluska yang berasal dari unit batuan yang termasuk dalam Formasi Nanggulan. Formasi Nanggulan dianggap berumur Eosen (sekitar 40 juta tahun yang lalu) berdasarkan kandungan fosil moluskanya. Penyebaran Formasi Nanggulan berada di sekitar daerah Nanggulan, dekat Yogyakarta, Jawa Tengah.

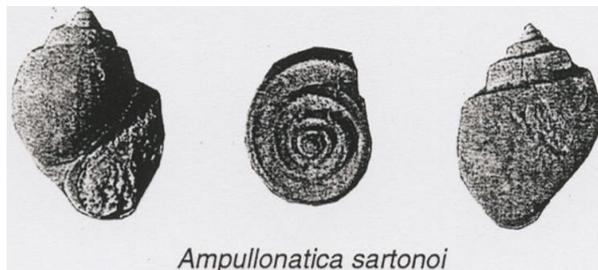
Kumpulan fosil moluska ini telah membuktikan bahwa sistem Samudra Tethys menerus selama Paleogen ke arah timur setelah sisa-sisa samudra ini mulai mengering di Eropa. Tethys awalnya adalah lautan yang memisahkan super benua Pangea menjadi dua bagian utama, yaitu Laurasia di utara dan Gondwana di selatan. Namun setelah pemisahan bagian-bagian benua Pangea bertambah jauh, maka lama kelamaan laut Tethys bertambah luas dan menjadi samudera. Hasil penelitian fosil moluska dari Formasi Nanggulan ini, telah membuktikan bahwa sistem Tethys yang menerus ke timur juga mencapai laut dangkal yang berada di sekitar Pulau Jawa pada Kala Eosen (Gambar 52). Hal ini didasarkan atas kesamaan fosil moluska Formasi Nanggulan dengan fosil moluska dari beberapa cekungan di Eropa yang berumur sedikit lebih tua dari umur batuan Formasi Nanggulan. Salah satu fosil moluska dari Formasi Nanggulan yang diteliti berhasil diberikan nama spesies baru yang berasal dari nama Profesor Sartono, yaitu *Ampullonatica sartonoi* (Gambar 53) pada Aswan dkk. (2004). Profesor Sartono adalah salah satu pendiri Laboratorium Paleontologi di ITB.

Hasil penelitian pada batuan yang lebih muda di Pulau Jawa, juga mengindikasikan bahwa sistem samudra Tethys masih terus berkembang di sekitar perairan laut dangkal di Indonesia. Jejak sistem Tethys ini di Indonesia tetap ada pada umur yang lebih muda (sekitar 12 juta tahun lalu), walaupun Tethys di Eropa sudah mengering beberapa puluh juta tahun sebelumnya. Indikasi ini ditunjukkan dengan ditemukannya fosil-fosil moluska yang sangat mirip dengan fosil-fosil yang ditemukan di sisa-sisa Tethys di Eropa yang berumur jauh lebih tua. Fosil-fosil yang dianggap sebagai bagian laut Tethys

ini, dianggap sebagai hasil evolusi dari fosil-fosil sistem Tethys yang lebih tua yang sudah ada perairan Indonesia sebelumnya.



Gambar 52. Rekonstruksi sistem Samudra Tethys yang menerus ke timur sampai ke Pulau Jawa. Pada peta berdasarkan Piccoli dkk. (1991) ini juga dapat dilihat penyebaran fosil dari genus *Ampullonatica* (lingkaran merah), sebagai salah satu elemen fauna moluska Tethys.

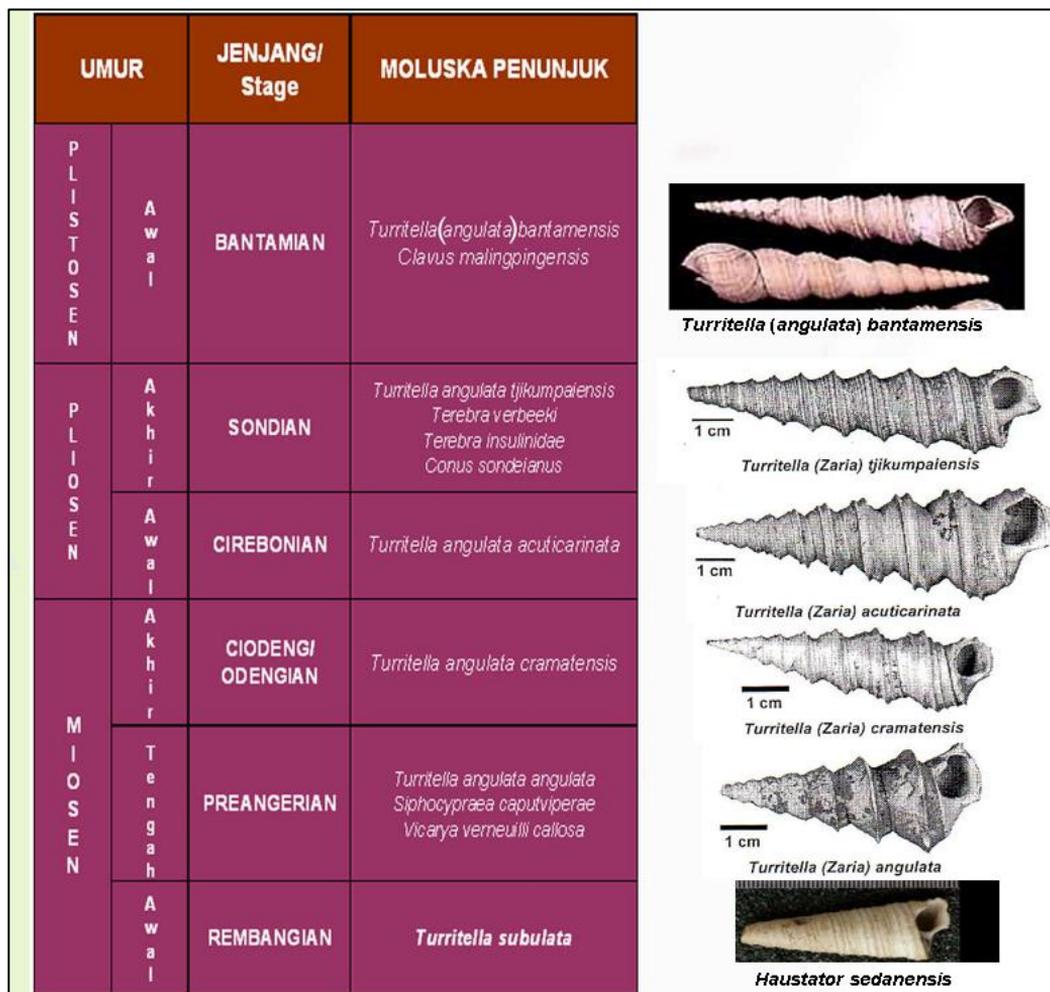


Gambar 53. *Ampullonatica sartonoii* sebagai penamaan spesies baru untuk genus *Ampullonatica* yang berasal dari unit batuan Formasi Nanggulan di Jawa Tengah (Aswan dkk., 2004). *Ampullonatica sartonoii* merupakan fauna Tethys di mana kelompok genus ini juga terdapat pada area sistem Tethys di Eropa.

5.2. Moluska Neogen

Biostratigrafi moluska Neogen (sub-Zaman Tersier yang lebih muda) di Pulau Jawa pernah disusun oleh Oostingh pada tahun 1938. Biostratigrafi fosil moluska ini, memiliki kesebandingan dengan jenjang Neogen yang umum digunakan dalam skala waktu geologi internasional. Dengan adanya kesebandingan ini, maka jenjang Neogen fosil moluska menjadi mudah digunakan secara luas, terutama apabila menemukan fosil indeks yang digunakan oleh Oostingh (1938). Pada setiap jenjang yang dibuat oleh Oostingh (1938) terdapat fosil indeks dari genus *Turritella* (Gambar 54). Sampai

sekarang jenjang Neogen Jawa yang pernah dibuat Oostingh (1938) ini masih banyak digunakan karena belum ada lagi yang meneliti untuk menyusun jenjang Neogen Jawa ini.

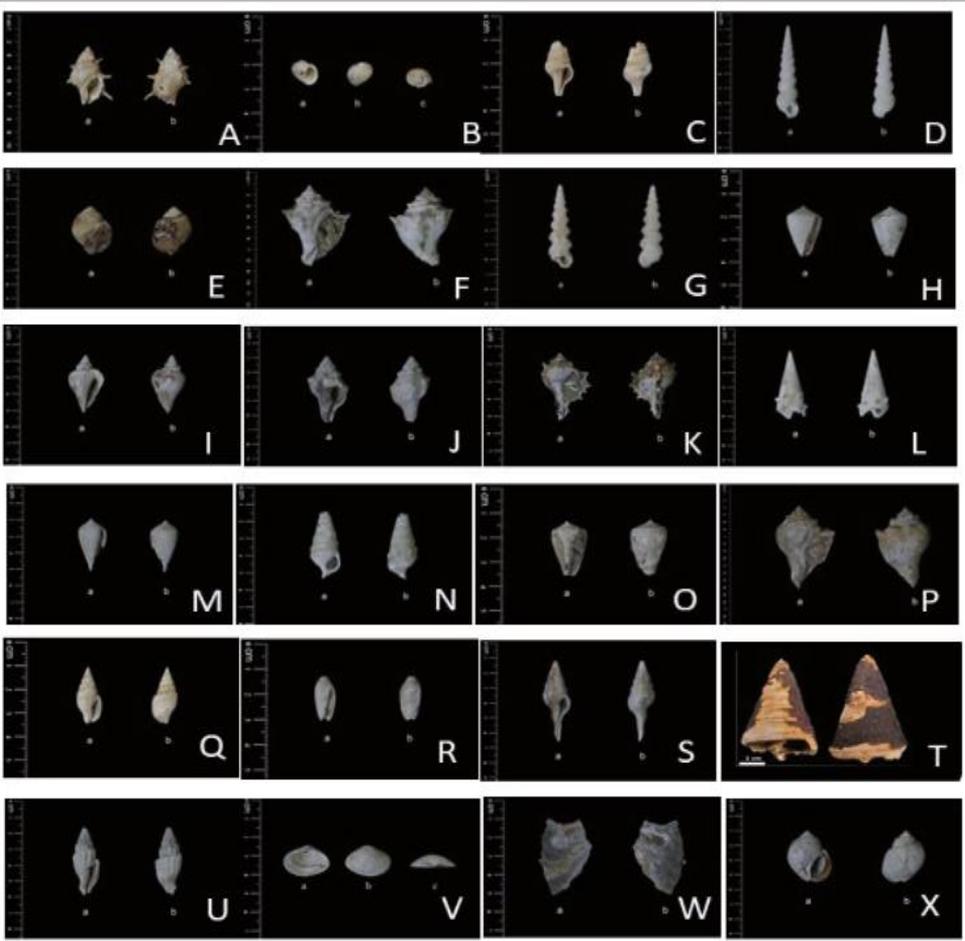


Gambar 54. Biostratigrafi Neogen Pulau Jawa berdasarkan fosil-fosil moluska penunjuk yang disusun oleh Oostingh pada tahun 1938. Oostingh (1938) juga membuat nama-nama jenjang stratigrafi tersendiri pada masing-masing umur, yang berasal dari nama-nama tempat di Pulau Jawa.

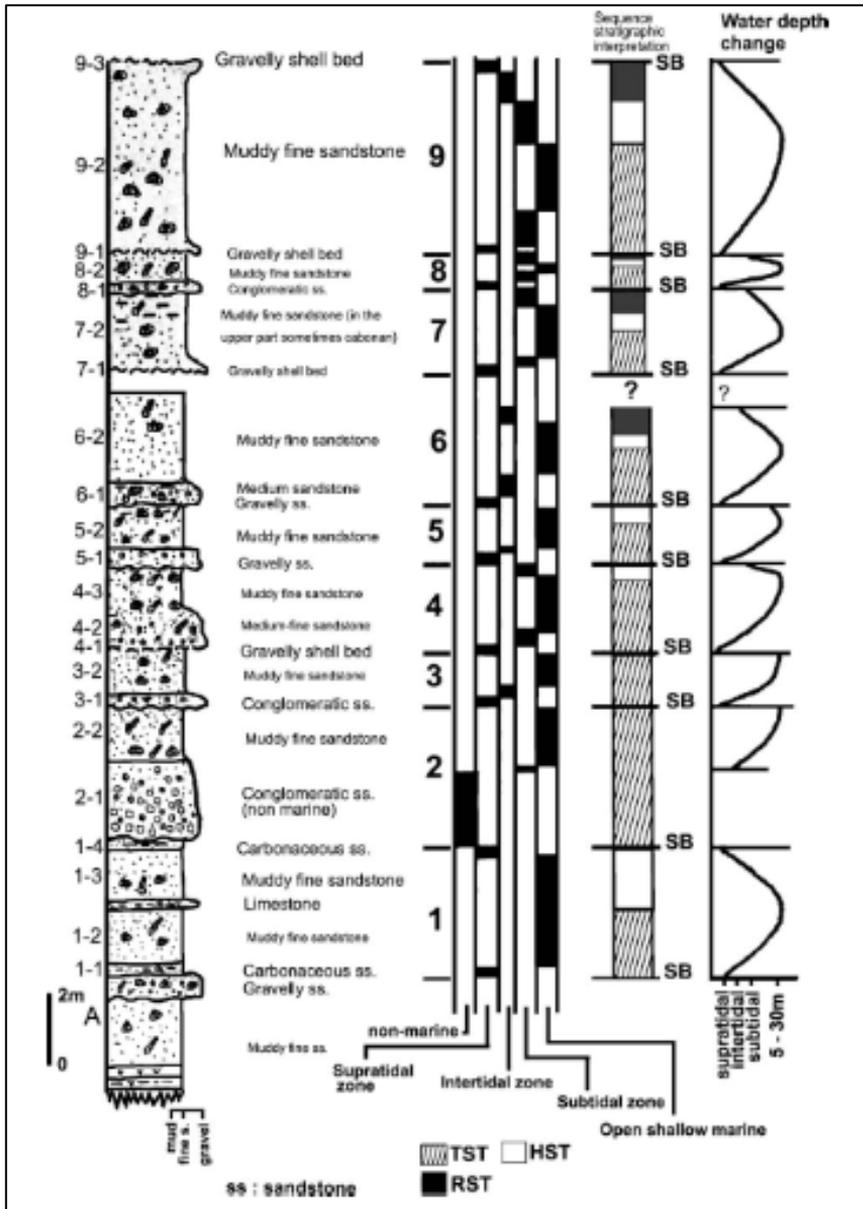
5.3. Moluska untuk Studi Perubahan Muka Laut

Aplikasi lain dari Studi Paleontologi Moluska adalah untuk merekonstruksi perubahan muka laut selama pengendapan lapisan-lapisan batuan dalam suatu unit tertentu. Informasi perubahan muka laut dari waktu ke waktu merupakan aspek yang penting dalam geologi karena implikasinya bisa

sangat luas. Hasil kajian perubahan muka laut pada masa lalu dapat memberikan informasi tentang perubahan iklim, perubahan kuat arus yang bekerja pada saat batuan diendapkan, perubahan asosiasi batuan sedimen yang diendapkan bahkan sampai aspek tektonik. Beberapa penelitian perubahan muka laut berdasarkan asosiasi kandungan fosil moluska yang terdapat pada batuanannya, pernah dilakukan pada Formasi Nyalindung di Jawa Barat (Aswan dan Ozawa (2006) serta Aswan dan Sufiati (2022)). Beberapa fosil moluska yang digunakan dalam kajian perubahan muka laut dapat dilihat pada Gambar 55 dan ilustrasi hasil perubahan muka laut pada Gambar 56.



Gambar 55. Fosil moluska yang terdapat pada Formasi Nyalindung di daerah Cideng, Sukabumi, Jawa Barat. (Aswan dan Sufiati, 2022)

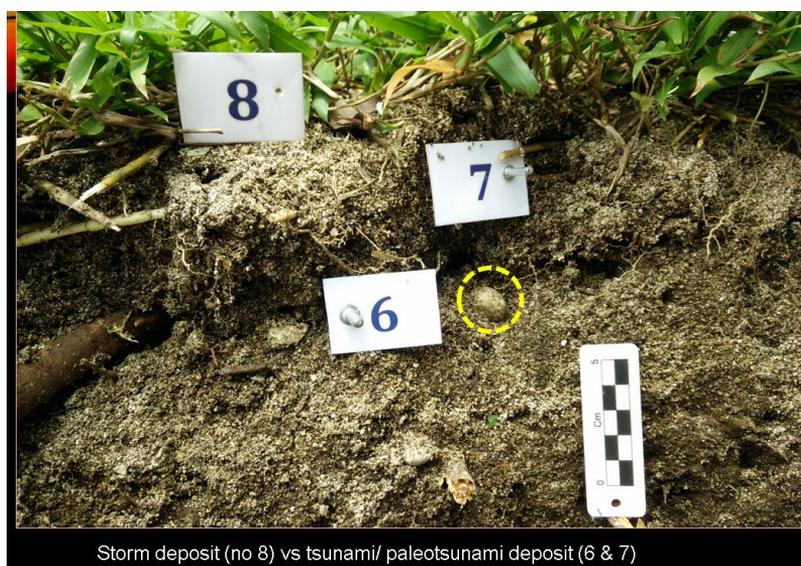


Gambar 56. Rekonstruksi perubahan muka laut pada Kala Miosen Tengah berdasarkan kajian asosiasi fosil moluska yang terdapat pada Formasi Nyalindung di Sungai Cijarian, Nyalindung, Sukabumi, Jawa Barat. (Aswan dan Ozawa, 2006)

5.4. Moluska Kuartar untuk Studi Endapan Tsunami dan Paleotsunami

Endapan paleotsunami adalah sedimen hasil kejadian tsunami pada masa lalu yang kejadian tsunaminya tidak terekam atau tidak tercatat dalam sejarah.

Hasil studi ini suatu saat nanti diharapkan dapat digunakan untuk memprediksi interval kejadian tsunami di suatu wilayah tertentu. Studi endapan paleotsunami tentunya sangat berkaitan dengan studi tentang endapan tsunami yang terjadi dan bisa diamati pada masa sekarang. Hasil studi endapan tsunami sekarang dapat dijadikan acuan dalam penentuan endapan paleotsunami. Permasalahan yang dihadapi selama ini dalam penentuan endapan tsunami, adalah kemiripan hasil deskripsinya dengan endapan badai yang juga banyak terdapat di daerah pantai. Hasil kajian cangkang fauna moluska (termasuk fosil moluska yang terdapat dalam endapan paleotsunami) yang terdapat dalam endapan tsunami, ternyata cukup membantu dalam membedakannya. Pada endapan tsunami, umum ditemukan cangkang moluska yang masih utuh (Gambar 57 dan 58), sedangkan pada endapan badai umumnya cangkang moluska yang ditemukan berupa pecahannya yang berbentuk pipih (Gambar 59 dan 60). Beberapa hasil penelitian tentang endapan tsunami dan endapan paleotsunami di Jawa dan Lombok sudah pernah dipublikasikan dalam Aswan dkk. (2017), Rizal dkk. (2017), Aswan dan Rizal (2021) dan Rizal dkk. (2019). Gambar 61 adalah dokumentasi anggota KK Paleontologi dan Geologi Kwartir-FITB-ITB sebagai tim peneliti endapan tsunami dan paleotsunami pada tahun 2019 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat.



Gambar 57. Cangkang moluska yang utuh (dalam lingkaran kuning garis putus-putus) pada endapan tsunami Pangandaran tahun 2006 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Foto koleksi pribadi Aswan).



Gambar 58. Moluska gastropoda utuh pada endapan tsunami 2006 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Aswan dan Rizal, 2021).



Gambar 59. Pecahan cangkang moluska pipih (dalam lingkaran merah garis putus-putus) pada endapan badai Agustus 2021 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Foto koleksi pribadi Aswan).



Gambar 60. Cangkang moluska berbentuk pipih (dalam lingkaran merah garis putus-putus) pada bagian bawah endapan badai yang terbentuk akibat badai yang terjadi pada bulan Agustus 2022 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat (Foto koleksi pribadi Aswan).



Gambar 61. Anggota KK Paleontologi dan Geologi Kwartir-FITB-ITB, sebagai tim peneliti endapan tsunami dan paleotsunami pada tahun 2019 di Pantai Karapyak, Pangandaran, Jawa Barat.

Dalam geologi kejadian tektonik global pada perbatasan waktu Kala Pliosen dan Kala Pleistosen sangat penting artinya. Peristiwa tektonik global ini terjadi sekitar 2 juta tahun yang lalu dan prosesnya bisa memakan waktu

sampai 1 juta tahun, bahkan pada beberapa tempat kejadian ini masih menerus sampai sekarang. Kejadian tektonik ini umumnya berupa pengangkatan dan pembentukan struktur geologi seperti lipatan dan sesar, yang melibatkan batuan yang terbentuk pada Zaman Kuarter (Kala Pleistosen atau lebih tua). Penyebab kepunahan pada zaman ini juga sering dikaitkan dengan puncak zaman es (zaman glasial) yang menandakan suhu bumi yang sangat dingin, sehingga beberapa makhluk hidup yang tidak bisa bertahan terhadap cuaca dingin atau tidak bisa beradaptasi akan mati dan punah.

Peristiwa pengangkatan pada periode tektonik ini bersifat global, melibatkan hampir seluruh tempat di seluruh dunia. Pengangkatan dalam hal ini mengakibatkan banyak batuan yang sudah terbentuk di bawah laut kemudian menjadi daratan. Juga akibat peristiwa tektonik ini maka kebanyakan batuan yang terbentuk pada Zaman Kuarter menjadi endapan atau batuan *non marine* (bukan diendapkan di laut). Endapan/batuan yang terbentuk pada zaman ini umumnya adalah endapan air tawar yang diendapkan di sungai atau danau. Karena merupakan endapan air tawar, maka fosil moluska yang terkandung di dalam batuan tersebut adalah fosil moluska air tawar. Contoh-contoh fosil moluska air tawar dapat dilihat pada Gambar 62. Fosil moluska air tawar yang berumur Kuarter ini, telah banyak diteliti dan sering digunakan untuk menentukan apakah batuan tertentu terbentuk di laut atau di air tawar (sungai atau danau). Karena merupakan endapan sungai, maka fosil moluska air tawar sering berasosiasi dengan fosil vertebrata (Gambar 63). Fosil vertebrata ini dianggap faunanya (pada saat masih hidup) pernah hidup disepanjang sungai pada masa lalu, di mana air sungai sebagai sumber air minumnya. Gambar 64 adalah foto penulis pada saat kegiatan ekskavasi fosil pasangan gading Stegodon (gajah purba) di mana di lokasi ini juga banyak ditemukan fosil moluska air tawar. Gambar 65 adalah hasil rekonstruksi salah satu gadingnya di Museum Geologi Bandung, dan Gambar 66 pada saat peresmian oleh rektor ITB di Prodi Teknik Geologi – FITB – ITB pada tahun 2019.



Gambar 62. Beberapa koleksi fosil moluska air tawar di Laboratorium Paleontologi, Program Studi Teknik Geologi – FITB – ITB. Koleksi fosil moluska ini diambil dari beberapa tempat di Indonesia.



Gambar 63. Fosil moluska air tawar (lingkaran garis putus-putus pada bagian atas foto) didapatkan berasosiasi dengan fosil tulang vertebrata (lingkaran garis putus-putus pada bagian bawah foto). Kedua fosil ini masih tertanam dalam batuanannya.



Gambar 64. Penulis pada waktu melakukan ekskavasi sepasang fosil gading Stegodon (gajah purba) pada tahun 2018 di Jawa Barat.



Gambar 65. Hasil rekonstruksi salah satu fosil gading Stegodon (gajah purba) sepanjang 3,5 m di Museum Geologi Bandung.



Gambar 66. Suasana peresmian *display* sepasang fosil gading Stegodon (gajah purba) oleh Rektor ITB di Program Studi Teknik Geologi – FITB – ITB pada tahun 2019.

Beberapa kajian paleontologi moluska dari beberapa tempat di Pulau Jawa dan Sumatra yang pernah dipublikasikan antara lain Sufiati (2012) di Banten, Sufiati (2013) di Bumiayu dan Cirebon, Aswan dkk. (2013) di Sumedang, Aswan dkk. (2015) di Cekungan Bobotsari, Purwokerto dan sekitarnya, Aswan dkk. (2016) di Cekungan Sumatra Tengah, Aswan dkk. (2017) berupa kajian umur dari beberapa endapan pengandung fosil moluska di Pulau Jawa, Aswan dkk. (2018) di Sungai Cisaat di Bumiayu, serta Sari dkk. (2019) di Bayah, Banten.

6. PENUTUP

Semoga dengan adanya tulisan ini, dapat memberikan pemahaman tentang sejarah terbentuknya bumi dari awal sampai sekarang. Juga diharapkan dapat memahami perkembangan kehidupan yang menyertai perjalanan sejarah bumi, sejak awal adanya kehidupan sampai sekarang. Pemahaman tentang peristiwa-peristiwa yang pernah terjadi selama sejarah bumi berlangsung juga dapat memberikan pemahaman yang lebih bijak bagi kita, terutama dalam menyikapi kejadian-kejadian kebumian yang kita alami sekarang. Hal lainnya juga diharapkan dengan adanya tulisan ini dapat memberikan pemahaman tentang beragam kegunaan kajian tentang fosil/fauna moluska baik untuk bidang geologi dan bidang ilmu lainnya.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya panjatkan puji syukur kehadirat Allah Swt., bahwasannya atas segala karunia-Nya yang telah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan, dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Ucapan dan rasa terima kasih yang tak terhingga bagi kedua orang tua yang telah berpulang, Ayahanda H. Abdurrachman dan Ibunda Hj. Nurtjaya Kasim, serta Bapak dan Ibu mertua (H. Atjep Sachrun dan Hj. Titet Irawati) , atas semua pengorbanan, didikan, dorongan, dan doa yang tak pernah putus sehingga penulis dapat meraih capaian kehidupan yang benar-benar patut disyukuri. Semoga Allah Swt. senantiasa mencurahkan rahmat-Nya dan diberikan tempat yang layak di sisi-Nya. Selanjutnya, penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada guru-guru penulis yang telah mendidik dan mentransfer ilmu pengetahuan yang sangat berguna dari tingkat dasar Taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi (S3), secara khusus saya sampaikan terimakasih kepada yang terhormat Prof. Dr. Ir. Yahdi Zaim dan Ibu atas perhatian dan dukungannya dalam pencapaian Guru Besar ini.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan apresiasi dan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada Pimpinan Senat FITB ITB Prof. Dr. Ir. Eddy A. Subroto dan seluruh anggota senat, Dekan FITB: Dr. Irwan Meilano beserta jajaran Wakil Dekan: Agus M Ramdhan, Ph.D. (WDA) dan Dr. rer. nat. Mutiara Putri (WDS). Juga kepada para pemberi rekomendasi: Prof. Dr. Ir. Yahdi Zaim, Prof. Dr. Emmy Suparka, Prof. Ir. Benyamin Sapiie, Ph.D., Prof. Dr. Tati Suryati Syamsudin, MS DEA, Prof. John-Paul Zonneveld (Alberta University, Kanada), Prof. Dr. E. S. Margianti, SE., MM. (Rektor Universitas Gunadarma, Jakarta), dan Prof. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., IPU (Rektor Universitas Bakrie, Jakarta). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para pakar penilai karya Ilmiah: Prof. Dr. Ir. Yahdi Zaim, Prof. Dr. Emmy Suparka, Prof. Dr. Ir. Eddy A. Subroto, dan Prof. Ir. Benyamin Sapiie, Ph.D. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para kolega baik dari perusahaan dan lembaga penelitian yang telah banyak memberikan ide dan materi dalam penulisan karya ilmiah.

Terima kasih juga disampaikan untuk semua kolega dosen dan tenaga kependidikan di Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian - ITB khususnya Prodi Teknik Geologi terutama Kaprodi Dr. Eng. Mirzam Abdurrachman dan Dr. Eng. Ir. Asep Saepuloh, serta rekan-rekan di Kelompok Keahlian Paleontologi dan Geologi Kwartar Prof. Dr. Ir. Yahdi Zaim, Prof. Dr. Rubiyanto Kapid, Prof. Dr. Yan Rizal, Dr. Khoiril Anwar Maryunani, Dr. Mika Rizki Puspaningrum, Dr. Maria Sekar Proborukmi, Dr. Reynaldi Fifariz, Dr. Agus Trihascaryo, Nadila Novandaru, dan Benyamin Perwira Shidqi. Tidak lupa ucapan terima kasih disampaikan untuk Indri, Esti, Sunarya, Pipit, Andys, serta M. Rifky Ghifari dan Nur Rochim yang telah dan selalu siap membantu baik di prodi ataupun di lapangan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih atas semangat dan dukungan dari rekan-rekan x/Kaprodrunner, Alumni GL ITB '87 dan GEA khususnya GEA-CRS, SD PPSP IKIP Bandung, SMPN 2 Bandung, SMAN 5 Bandung, dan POT '98 Monbusho.

Ucapan terima kasih yang sangat khusus dan istimewa untuk keluarga tercinta: istri Noor Purwati SR, putra Muhammad Naafi Nooryawan, S. M., serta putri Shafa Nurfaira, juga tak lupa ucapan terima kasih untuk seluruh anggota keluarga besar Batusangkar dan Medan serta sanak saudara dimana pun berada atas doa dan dukungannya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Abang dan Kakak penulis beserta keluarga di Jakarta, serta Adik-adik dan keluarga di Bandung yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk dapat mencapai gelar ini.

Akhir kata, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas semua perhatian, bantuan, doa, dan kerja samanya dalam pencapaian akademik ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswan, Ozawa, T., dan Zaim, Y., 2004, A new species of *Ampullonatica* from the Eocene Nanggulan Formation, Central Jawa, Indonesia and its implication for Paleogene Tethyan biogeography. *Buletin Geologi*, Vol. 36, No. 1, hal. 15-20.
- Aswan dan Ozawa, T., 2006, Milankovitch 41 000-year cycles in lithofacies and molluscan content in the tropical Middle Miocene Nyalindung Formation, Jawa, Indonesia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* Vol. 235, hal 382-405.
- Aswan, Rijani, S., Rizal, Y., 2013. Shell Bed Identification of Kaliwangu Formation and Its Sedimentary Cycle Significance, Sumedang, West Java. *Indonesia Journal of Geology*. 8 (1), hal 1-11.
- Aswan, Zaim, Y., Rizal, Y., Prasetyo, U. W., 2015. Molluscan Evidence for Slow Subsidence in The Bobotsari Basin During The Plio-Pleistocene, and Implications for Petroleum Maturity. *Journal of Mathematical and Fundamental Science*. Vol. 47 (2), hal 185-204.
- Aswan, Graha, S., Suryadi, D., Wiguna, T., dan Qivayanti, S. I., 2016, Oligocene Cyclic Sedimentation Deduced from Taphonomic Analysis of Molluscs in Lacustrine Deposits of the Pematang Group, Pesada Well, Central Sumatra Basin. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, Vol. 48, No. 1. hal 66-81.
- Aswan, Sufiati, E., Kistiani, D., Abdurrahman, I. Y., Santoso, W. D., Rudyawan, A., Oo, T. Z., 2017. Late Miocene Molluscan Stage of Java Insight from New Field Studies. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 71
- Aswan, Yahdi Zaim, Yan Rizal, I. Nyoman Sukanta, Suci Dewi Anugrah, Agus Tri Hascaryo, Indra Gunawan, Tatok Yatimantoro, Weniza Hidayanti, Purnomo Hawati, Wahyu Dwijo Santoso, dan Nur Rochim, 2017, Age Determination of Paleotsunami Sediments Around Lombok Island, Indonesia, and Identification of Their Possible Tsunamigenic Earthquakes. *Earthquakes Science*, Vol. 30 Issue 2, hal 107 – 113.
- Aswan, Sufiati, E., Rudyawan, A., Kistiani, D., Oo, T. Z., 2018. Depositional Environmental Evolution of Kalibiuk Formation Based on Paleontological Molluscan Study, Cisaat River Section, Bumiayu, Central Jawa, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 162
- Aswan dan Sufiati, E., 2021. Depositional Environmental Evolution of Nyalindung Formation based on Paleontology Molluscan Study, Ciodeng Area, Sukabumi, West Jawa, Indonesia. *RISSET Indonesian Journal of Geology and Mining*, Vol. 31 (2), hal 117-130.

- Aswan dan Yan Rizal, 2021. Identification of Suspected Paleotsunami Deposits Study from Karapyak Beach, Pangandaran Area, West Jawa, Indonesia. *Bulletin of The Marine Geology*, Vol. 36 (2), hal 75 – 84.
- Danielson, E. W., dan Denecke, E. J., 1986, *Earth Science*, Collier Macmillan Publishers, London, hal 380-410.
- Dott, R. H., dan Batten, R. L., 1988, *Evolution of The Earth*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, hal 111-113.
- Namowitz, S. N., dan Stone, D. B., 1981, *Earth Science*, D. C. Heath and Company, Lexington, hal 486 – 531.
- Oostingh, C.H, 1938. Mollusken als gidsfossielen voor het Neogen in Nederlandsch-Indie Handel. 8e Ned. Ind. Natuur. Congr., Surabaya, hal 508–516.
- Piccoli, G., Sartori, S., Franchino, A., Pedron, R., Claudio, L., dan Natale, A. R., 1991, *Mathematical Model of Faunal Spreading in Benthic Palaeobiogeography (applied to Cenozoic Tethyan Molluscs)*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 86, Issues 1-2, hal 139-196.
- Rizal, Y., Aswan, Zaim, Y., Santoso, W. D., Rochim, N., Anugrah, S. D., Wijayanto, Gunawan, I., Yatomantoro, T., Hidayanti, Rahayu, R. H., dan Priyobudi, 2017, *Tsunami Evidence in South Coast Java, Case Study: Tsunami Deposit along South Coast of Cilacap*”, *IOP Conference Series :Earth and Environmental Science*, Vol.71, hal 1-12.
- Rizal, Y., Aswan, Zaim, Y., Puspaningrum, M. R., Santoso, W. D., dan Rochim, N., 2019, *Late Miocene to Pliocene Tsunami Deposits in Tegal Buleud, South Sukabumi, West Jawa, Indonesia*. *Modern Applied Science*, Vol. 13, No. 12.
- Sufiati, E., 2012, *Koleksi Museum Geologi Fosil Moluska Holotype dari Banten, Jawa Barat*. Badan Geologi, ESDM.
- Sufiati, E., 2013, *Koleksi Museum Geologi Fosil Moluska Holotype dari Bumiayu dan Cirebon, Jawa*. Badan Geologi, ESDM.
- Sari, R. A. P., Winantris, Fauzielly, L., Jayanti, A. G. R., Aswan, Wibowo, U. P., 2019. *Depositional Environmental Changes of Cimanceuri Formation Based on Mollusk Assemblages in Bayah, Banten Province*. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment , and Technology*. Vol. 4 (2), hal 66-75.

Internet

- <https://www.indiantelevision.com/mam/marketing/mam/on-earth-day-brands-rally-around-our-blue-planet-210423>
- <https://rashidfaridi.com/2008/04/26/260/>
- <https://www.peakpx.com/en/hd-wallpaper-desktop-kxrzg>
- <https://history.com>

<https://www.findworldedu.com/2020/australia-bound-asteroid-sample-may-reveal-lifes-origins.html>
<https://www.pinterest.com/pin/325666616786477382/>
<https://www.grisda.org/the-cambrian-explosion-1>
[https:// BBC MMV](https://www.bbc.com/news/science-environment-56111111)
<https://www.visualcapitalist.com/incredible-map-of-pangea-with-modern-borders>
<https://nationalgeographic.grid.id/read/132948621/terropterus-xiushanensis-kalajengking-laut>
<https://www.fossilguy.com/gallery/invert/arthropod/eurypterid/index.htm>
<https://www.artstation.com/artwork/Arvr2o>
<https://courses.lumenlearning.com/wm-nmbiology2/chapter/amphibians/>
<https://walkingwith.fandom.com/wiki/Orthocone?file=CamerocerasInfobox.jpg>
<https://www.fossilguy.com/gallery/vert/placoderm/dunkleosteus/index.htm>
<https://www.fossilguy.com/sites/ambridge/fern-fossils.htm>
<https://www.flickr.com/photos/14508691@N08/5187818627>
<https://www.geologyin.com/2018/01/the-largest-insect-ever-existed-was.html>
<https://ecosystemsinthesky.com/blog/six-wings-and-giants-the-earliest-fliers-and-largest-insects-that-ever-lived>
<https://www.researchgate.net/figure/Giant-arthropods-in-Pennsylvanian-wetlands>
<https://www.lpi.usra.edu/science/kring/Chicxulub/athenapub.com/aria1/PAL/siberia1.html> dan
<https://earthlogs.org/tag/siberian-traps>
<https://www.quora.com/Why-is-the-Triassic-barely-mentioned-compared-to-the-Succeeding-Dinosaur>
<https://www.secretsofuniverse.in/history-of-life-12-triassic-period>
https://www.researchgate.net/figure/Simplified-map-of-Late-Triassic-Pangea-showing-locations-of-key-Triassic-Jurassic_fig1_237242683
<https://www.flickr.com/photos/unforth/3192584772>
<https://www.fossilera.com/fossils/two-jurassic-belemnite-fossils-germany>
<https://www.canoncitydailyrecord.com/2013/05/09/beneath-our-feet-k-t-impact/>
<https://www.forbes.com/sites/jamiecartereurope/2020/06/29/climate-change-killed-the-dinosaurs>
<https://pixels.com/featured/k-t-extinction-event-julius-t-csotonyiscience-photo-library.html>

<https://massextinction.princeton.edu/chicxulub/2-impact-controversary>
<https://www.worldatlas.com/articles/the-timeline-of-the-mass-extinction-events-on-earth.html>
<https://sciencephotogallery.com/featured/dinosaur-extinction-claus-lunau.html>
<https://www.google.com/search?q=75%25+K-T+extinction+graphic&tbm>

CURRICULUM VITAE



Nama : Prof. Dr. Aswan, S.T., M.T., IPU
Tempat/tgl lahir : Bandung, 26 Juni 1969
Kel. Keahlian : Paleontologi dan Geologi Kwartar
Alamat Kantor : Jl. Ganesha 10, Bandung
Nama Istri : Noor Purwati SR
Nama Anak : 1. Muhammad Naafi Nooryawan
2. Shafa Nurfaira

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Program Profesi Insinyur (Ir.), Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, 2020.
- Doctor of Science (Dr.), Graduates School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan, 2006
- Magister Teknik (M.T.), Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, 1997
- Sarjana Teknik (S.T.), Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, 1993

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

- Staf Pengajar Program Studi Teknik Geologi FITB ITB, 1995-sekarang
- Ketua Laboratorium Paleontologi-Program Studi Teknik Geologi FITB ITB, 2021-sekarang
- Ketua Program Studi Sarjana Teknik Geologi FITB ITB, 2016-2020
- Ketua KK Paleontologi dan Geologi Kwartar FITB ITB, 2021-sekarang
- Ketua Satgas Penyusun Rencana Strategis Tahun 2020-2024 FITB-ITB, 2020
- Ketua Gugus Kendali Mutu Tahun 2021 dan 2022 FITB ITB, 2022 - 2023

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- Penata Muda, III/a 1 Desember 1995
- Penata Muda Tk. 1, III/b 1 Oktober 2000
- Penata, III/c 1 Oktober 2005
- Penata Tk. 1, III/d 1 April 2009
- Pembina, IV/a 1 April 2011

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya 1 Juni 1997
- Asisten Ahli 1 Agustus 1999
- Lektor 1 Agustus 2005
- Lektor Kepala 1 Oktober 2008
- Profesor/Guru Besar 1 Mei 2022

V. KEGIATAN PENELITIAN

- Paleontologi Moluska Tersier
- Paleontologi Moluska Kuarter
- Paleontologi Fosil Jejak
- Kajian Endapan Tsunami dan Paleotsunami
- Kajian Geoarkeologi
- Kajian Batas Tersier dan Kuarter di Jawa Bagian Barat
- Kajian Perbandingan Endapan Tsunami dan Endapan Badai

VI. PUBLIKASI

a. Dalam jurnal internasional ber-referee dan diakui

- **Aswan**, Ozawa, T., dan Zaim, Y., 2004, A new species of *Ampullonatica* from the Eocene Nanggulan Formation, Central Jawa, Indonesia and its implication for Paleogene Tethyan biogeography. *Buletin Geologi*, Vol. 36, No. 1, hal 15-20
- **Aswan** dan Ozawa, T., 2006, Milankovitch 41 000-year cycles in lithofacies and molluscan content in the tropical Middle Miocene Nyalindung Formation, Jawa, Indonesia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 235, hal 382-405.
- **Aswan**, Suparka, E., Rijani, S., Sundari, D., dan Patriani, E. Y., 2009, Asymmetrical condition of the Bogor Basin (West Jawa, Indonesia) during the Middle Miocene to Pliocene based on taphonomic study of shellbed and its sequence architecture. *Bulletin of The Geological Survey of Japan*, Vol. 59, No. 7/8, hal 319-325.
- **Aswan**, Zaim, Y., Rizal, Y., dan Pradana, A. K. A., 2009, Source Rocks Evaluation on Brown Shale, Pematang Group, Central Sumatera Basin: Detail Sedimentary Cycles Analysis Based on Thaphonomic Study of Lacustrine Mollusca. *Bulletin of the Tethys Geological Society, Cairo*, Vol. 4, hal 55-62.

- Zaim, Y., Ciochon, R. L., Polanski, J. M., Grine, F. E., Bettis III, E. A., Rizal, Y., Franciscus, R. G., Larick, R. R., Heizler, M., **Aswan**, Eaves, K. L., dan Marsh, H. E., 2011, New 1.5 million-year-old *Homo erectus* maxilla from Sangiran (Central Java, Indonesia), *Journal of Human Evolution*, Vol. 61, Issue 4, hal 363-376.
- Zonneveld, J. P., Zaim, Y., Rizal, Y., Ciochon, R. L., Bettis III, E. A., **Aswan**, dan Gunnell, G. F., 2011, Oligocene Shorebird Footprints, Kandi, Ombilin Basin, Sumatra. *Ichnos*, Vol. 18. hal 221-227.
- Zonneveld, J. P., Zaim, Y., Rizal, Y., Ciochon, R. L., Bettis III, E. A., **Aswan**, dan Gunnell, G. F., 2012, Oligocene Shorebird Footprints, Kandi, Ombilin Basin, Sumatra. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 45, hal 106-113.
- **Aswan**, Zaim, Y., Rizal, Y., dan Prasetyo, U., 2015, Molluscan Evidence for Slow Subsidence in the Bobotsari Basin during the Plio-Pleistocene, and Implications for Petroleum Maturity. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences, ITB*, Vol. 47, No. 2, hal 185-204.
- **Aswan**, Graha, S., Suryadi, D., Wiguna, T., dan Qivayanti, S. I., 2016, Oligocene Cyclic Sedimentation Deduced from Taphonomic Analysis of Molluscs in Lacustrine Deposits of the Pematang Group, Pesada Well, Central Sumatra Basin. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences, ITB*, Vol. 48, No. 1. hal 66-81.
- Murray, A. M., Zaim, Y., Rizal, Y., **Aswan**, Gunnell, G. F. dan Ciochon, R. L., 2015, A Fossil Gourami (Teleostei, Anabantoidei) from Probable Eocene Deposits of the Ombilin Basin, Sumatra, Indonesia. *Journal of Vertebrate Paleontology*, Vol. 35, Issue 2.
- **Aswan**, Yahdi Zaim, Yan Rizal, I. Nyoman Sukanta, Suci Dewi Anugrah, Agus Tri Hascaryo, Indra Gunawan, Tatok Yatimantoro, Weniza Hidayanti, Purnomo Hawati, Wahyu Dwijo Santoso, dan Nurochim, 2017, Age Determination of Paleotsunami Sediments Around Lombok Island, Indonesia, and Identification of Their Possible Tsunamigenic Earthquakes. *Earthquakes Science*, Vol. 30 Issue 2, hal 107 – 113.
- **Aswan**, Sufiati, E., Kistiani, D., Abdurrahman, I. Y., Santoso, W. D., Rudyawan, A., dan Oo, T. Z., 2017, Late Miocene Molluscan Stage of Jawa Insight from New Field Studies. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 71, Issue 1.
- **Aswan**, Abdurrachman, M., Fitriana, B. S., Mustofa, M. F., Santoso, W. D., Rudyawan, A., Rahayu, W. D., Hamdani, A., Rohiman, Y. dan Oo, T. Z.,

- 2017, Paleoenvironmental Study of Miocene Sediments from JTB-1 and NRM-1 wells, in West Ogan Komerling Block, Meraksa Area, South Sumatra Basin. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 71, Issue 1.
- Rizal, Y., **Aswan**, Zaim, Y., Santoso, W. D., Rochim, N., Anugrah, S. D., Wijayanto, Gunawan, I., Yatomantoro, T., Hidayanti, Rahayu, R. H., dan Priyobudi, 2017, Tsunami Evidence in South Coast Java, Case Study: Tsunami Deposit along South Coast of Cilacap. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol.71, hal 1-12.
 - **Aswan**, Sufiati, E., Rudyawan, A., Kistiani, D., dan Oo, T. Z., 2018, Depositional Environmental Evolution of Kalibiuk Formation based on Paleontological Molluscan Study, Cisaat River section, Bumiayu, Central Java, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 162, Issue 1.
 - **Aswan**, Rudyawan, A., dan Oo, T. Z., 2018, Ichnofossils Study of Paleocene Sediment Source Rock Cores from Bintuni Basin, West Papua, Eastern Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 162, Issue 1.
 - Rizal, Y., **Aswan**, Zaim, Y., Puspaningrum, M. R., Santoso, W. D., dan Rochim, N., 2019, Late Miocene to Pliocene Tsunami Deposits in Tegal Buleud, South Sukabumi, West Java, Indonesia. *Modern Applied Science*, Vol. 13, No. 12.
 - Rizal, Y., Westaway, K. E., Zaim, Y., van den Bergh, G. D., Bettis III, E. A., Morwood, M. J., Huffman, O. F., Grün, R., Boyau, R. J., Bailey, R. M., Sidarto, Westaway, M. C., Kurniawan, I., Moore, M. W., Storey, M., Aziz, F., Suminto, Zhao, J., Aswan, Sipola, M. E., Larick, R., Zonneveld, J. P., Scott, R., Putt, S., dan Ciochon, R. L., 2020, Last appearance of *Homo erectus* at Ngandong, Java, 117,000–108,000 years ago. *Nature*.
 - **Aswan** dan Rizal, Y., 2021. Identification of Suspected Paleotsunami Deposits Study from Karapyak Beach, Pangandaran Area, West Jawa, Indonesia. *Bulletin of The Marine Geology*, Vol. 36 (2), hal 75 – 84.
 - **Aswan** dan Sufiati, E., 2021. Depositional Environmental Evolution of Nyalindung Formation based on Paleontology Molluscan Study, Ciodeng Area, Sukabumi, West Java, Indonesia. *RISSET Indonesian Journal of Geology and Mining*, Vol. 31 (2), hal 117-130.
 - Basilia, P., Miskiewicz, J. J., Nganvongpanit, K., Zaim, Y., Rizal, Aswan, Y., Puspaningrum, M. R., Trihascaryo, A., Price, G. J., van der Geer, A. A.

- E., dan Louys, J., 2022, Bone Histology in a Fossil Elephant (*Elephas maximus*) from Pulau Bangka, Indonesia. *Historical Biology*, Publisher Taylor and Francis Ltd.
- Putra; P. S., **Aswan**, Maryunani, K. A., Eko, Y., Hari, N. S., Rikza, N. F., , Amanda, Irma; Dida, Naidania; E., Jakah; dan Amar, 2022, Characterization of Sedimentary Features of the 2018 Palu Tsunami Event, Sulawesi, Indonesia. *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 179, hal 1561–1582.
 - Ardi, R.D.W., **Aswan**, Maryunani, K.A., Yulianto, E., Putra, P.S., dan Nugroho, S.H., 2023, Sea Surface Paleoproductivity Reconstruction Based on Foraminiferal Accumulation Rate in The Western Savu Strait Since the Last Glacial Maximum (~23 ka BP). *The Mining – Geology – Petroleum Engineering Bulletin*, Vol. 38 (1), hal 167-178.

b. Dalam jurnal nasional ber-referee dan diakui

- **Aswan**, Ozawa, T., dan Zaim, Y., 2004, A new species of *Ampullonatica* from the Eocene Nanggulan Formation, Central Jawa, Indonesia and its implication for Paleogene Tethyan biogeography. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 36, No. 1, hal. 15-20.
- **Aswan**, 2009, System Tracts Determination Based on Molluscan Shell Association of The Nyalindung Formation (Middle Miocene), Sukabumi, West Jawa); In Terms of Sequence Stratigraphy. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 39, No. 3, hal 147-166.
- **Aswan**, Yahdi Zaim, Yan Rizal, dan Iyep Sopandi, 2009, Sedimentary Cycle of Cijulang Formation, Tambaksari Area, Ciamis, West Jawa Based on Molluscan Fossils. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 39, No.1, hal 27-32.
- Yan Rizal, Yahdi Zaim, **Aswan**, Christine Hertler, dan Novi Triany, 2009, Geologi dan Paleontologi Vertebrata Daerah Jembarwangi dan sekitarnya Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 39 No. 2, hal 95-116.
- Zaim, Y., Rizal, Y., dan **Aswan**, 2009, Paleontologi Vertebrata Fosil Ikan Paus dan Geologi Daerah Surade, Jampang-Jawa Barat, *Buletin Geologi ITB*, Vol. 39 No. 2, hal 77-84.
- Kabul, Y. A., **Aswan**, Purwasatriya, E. B., 2012, Studi Formasi Pemali Daerah Besuki dan Sekitarnya, Kecamatan Lumbr, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. *JTM ITB*, Vol. 19, No. 4, hal 181-190.
- Kurniawan, I., **Aswan**, Waluyo, G., 2012, Studi Lingkungan Pengendapan Formasi Tapak Daerah Rajawana dan Sekitarnya, Kecamatan

Karangmoncol, Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah. *JTM ITB*, Vol. 19, No. 4, hal 191-200.

- **Aswan**, Rijani, S., Rizal, Y., 2013, Shell Bed Identification of Kaliwangu Formation and Its Sedimentary Cycle Significance, Sumedang, West Java. *Jurnal Geologi Indonesia*. Vol. 8, No. 1, hal 1-11
- Aziz, A., **Aswan**, Waluyo, G., 2013, Studi Formasi Tapak dan Formasi Kalibiuk Daerah Sumampir dan sekitarnya, Kecamatan Rembang, Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah. *JTM ITB*, Vol. 20, No. 2, hal 55-66.
- **Aswan**, 2014, Mollusk Fossils Study from Carbonate Rajamandala Formation and Its Implication to Carbonate Paleoenvironmental Deposition. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 41, No. 1, hal 1-14.
- **Aswan**, 2014, Paleoenvironmental Interpretation Based on Ichnofosil Study for the Rajamandala Formation of Gunung Guruh Area. Sukabumi, West Jawa. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 41, No. 2, hal 115-127.
- Kusworo, A., dan **Aswan**, 2014, Asosiasi Fosil Moluska Formasi Kalibiuk, Daerah Waled, Kabupaten Cirebon, Jawa Barat. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 41, No. 3, hal 151-163.
- Proborukmi, M. S., Rahardjo, A. T., **Aswan**, 2014, Sea Level Fall in the Oligocene of Nanggulan Area, Kabupaten Kulon Progo - Daerah Istimewa Yogyakarta. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 41, No. 3, hal 195-206.
- Harbowo, D. G., **Aswan**, Suhandono, S., 2015, Molecular Clock and Paleobiogeography of Genus Trochus and Its Relation with Sea Level Changes Post Last Glacial Maximum (21.000 BP) in Sunda Shelf. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 42, no. 3, hal 175-186.
- **Aswan**, Ozawa, T., dan Zaim, Y., 2004, A new species of *Ampullonatica* from the Eocene Nanggulan Formation, Central Jawa, Indonesia and its implication for Paleogene Tethyan biogeography. *Buletin Geologi ITB*, Vol. 36, No. 1, hal. 15-20.
- Sari, R. A. P., Winantris, Fauzielly, L., Jayanti, A. G. R., **Aswan**, Wibowo, U. P., 2019. Depositional Environmental Changes of Cimanceuri Formation Based on Mollusk Assemblages in Bayah, Banten Province. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment , and Technology*. Vol. 4 (2), hal 66-75.

c. Buku

- Yahdi Zaim, Yan Rizal, **Aswan**, dan Bayu Sapta Fitriana, 2006, S. Sartono: Dari Hominid ke Delapsi dengan Kontroversi, Penerbit ITB

- Yahdi Zaim, Daryono, I Nyoman Sukanta, Yan Rizal, **Aswan**, Robert Owen Wahyu, Tiar Prasetya, Budiarta, Suci Dewi Anugrah, Weniza, Iman Fatchurochman, Wijayanto, Cahyo Nugroho, Urip Setiyono, Priyobudi, Debi Safari Yogaswara, Purnomo Hawati, Indra Gunawan, Septa Anggraini, Mila Apriani, Hidayanti, Resty Herdiani Rahayu, Tatok Yatimantoro, Admiral Musa Julius, Wahyu D. Santoso, Yudhicara, Nur Rochim, Muhammad Harvan, dan Gloria Simangunsong, 2018, *Jejak Tsunami Masa Lalu Diantara Pangandaran Dan Cilacap*. Hasil Riset Paleotsunami, Pusat Gempabumi dan Tsunami Kedepujian Bidang Geofisika.
- **Aswan**, Yahdi Zaim, Yan Rizal, Rubiyanto Kapid, Khoiril Anwar M., Mika Rizki Puspaningrum, Maria Sekar Proborukmi, Agus Trihascaryo, Benyamin Perwira Shidqi, dan Nadila Novandaru, 2023, *Menelusuri Jejak Kehidupan di Bumi yang Dinamis, Peran Paleontologi dan Geologi Kwartir di Indonesia*, ITB Press.

VII. PENGHARGAAN

1. Tanda Jasa dari Pemerintah RI, Satya Lancana Karya Satya 10 dan 20 tahun, Presiden RI.
2. Penghargaan dari Kementrian ESDM RI, 2010 dan 2011
3. Penghargaan dari Fakultas Teknik, Universitas Gorontalo, 2016
4. Penghargaan dari ITB sebagai Dosen Berprestasi dalam Bidang Penelitian FITB, 2016
5. Penghargaan dari The State Committee of The Republic of Uzbekistan for Tourism Development, 2019
6. Penghargaan Pengabdian 25 tahun dari ITB, 2020
7. Penghargaan jabatan Kaprodi S1 Teknik Geologi dari FITB ITB, 2021
8. Penghargaan sebagai narasumber Seminar ISEST FITB, 2022 dan 2023
9. Penghargaan dari Ikatan Ahli Geologi Indonesia sebagai *Invited Speaker* pada Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI, 2022

VIII. SERTIFIKASI

- Sertifikasi Dosen Profesional bidang Ilmu Geologi, 2009
- Sertifikasi Program Profesi Insinyur, 2020
- Sertifikasi Insinyur Profesional Utama, 2022

ITB PRESS

📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

**Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id
Telp. (022) 2512532
🌐 fgb.itb.ac.id  [FgbItb](#)  [FGB_ITB](#)
 [@fgbitb_1920](#)  [Forum Guru Besar ITB](#)

