



Mengenal Fossil Jejak Dalam Tiga Dimensi

Dr. Ir. Siti Umiyatun Ch, MT
Ir. Achmad Subandrio, MT
Yody Riszkiyanto, ST, MT
Intan Paramitahaty, ST, MT
Nanda Ajeng Nurwantari, ST, M.Sc.
M.Ardiyan Syah Darmawa
Hendry Wirandoko

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. Padjadjaran/SWK 104 CodongCatur, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta., 55283



MENGENAL FOSIL JEJAK DALAM TIGA DIMENSI

Siti Umiyatun Choiriah
Achmad Subandrio
Yody Rizkianto
Intan Paramita Haty
Nanda Ajeng Nurwantari
Hendry Wirandoko

**Penerbit
LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta
2022**

MENGENAL FOSIL JEJAK DALAM TIGA DIMENSI

Siti Umiyatun Choiriah
Achmad Subandrio
Yody Rizkianto
Intan Paramita Haty
Nanda Ajeng Nurwantari
Hendry Wirandoko

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis

Desain Sampul : Nanda Ajeng Nurwantari

Cetakan Pertama, 2022
ISBN:

Diterbitkan oleh:
Penerbit LPPM UPN Veteran Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283
Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

Dicetak Oleh:
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
UPN Veteran Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283
Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kegiatan dengan buku Mengenal Fosil Jejak Dalam Tiga Dimensi telah selesai dilaksanakan.

Buku ini dibuat dengan detail namun singkat merangkum informasi fosil jejak dari pengertian, jenis fosil jejak, klasifikasi, kelebihan dan kekurangan, serta aplikasinya. Penyusunan Buku Mengenal Fosil Jejak (Ichnofossil) dalam 3D ini dimaksudkan untuk dapat digunakan sebagai penuntun dan referensi bagi pembaca untuk mengenal fosil jejak secara mendasar.

Kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penyelesaian buku pengenalan dasar fosil jejak ini. Tak lupa kami mengharapkan para pembaca untuk membantu kami dalam mengoreksi buku ini, sehingga pada masa yang akan datang dapat tercapai kesempurnaan. Semoga buku ini dapat

bermanfaat sebagai acuan pengenalan fosil jejak, khususnya memberikan gambaran jika di lihat dalam tiga dimensi di lapangan.

Hormat Kami

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	x
I. Pendahuluan.....	1
II. Klasifikasi Fosil Jejak	9
2.1 Klasifikasi ethologic trace fossil	11
2.2 Klasifikasi toponomic trace fossil	13
2.3 Klasifikasi model pengawetan	14
2.4 Ichnofasies	15
III. Keunggulan dan Kekurangan Fosil Jejak	25
3.1 Keunggulan fosil jejak	25
3.2 Kekurangan fosil jejak	26
IV. Identifikasi Fosil	33
4.1 Bioturbasi	34
4.2 Arenicolites	36
4.3 Asterosoma	37
4.4 Bergaueria	39
4.5 Chondrites	44
4.6 Conichnus	46
4.7 Cylindrichnus	48
4.8 Diplocraterion	50
4.9 Helminthopsis	53
4.10 Macaronichnus	55
4.11 Monocraterion	58
4.12 Muensteria	61
4.13 Ophiomorpha	63
4.14 Palaeophycus	65
4.15 Planolites	67
4.16 Rhizocorallium	69

4.17	Rosselia	72
4.18	Skolithos	74
4.19	Teichichnus	75
4.20	Terebellina	77
4.21	Thalassinoides	79
4.22	Zoophycos	81
4.23	Rooting	83
	Daftar Pustaka	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Terminology of trace fossil preservation depending on the relationship to sediment horizons (after Benton & Harper, 1997 dalam Fachriany, N., 2013	6
Gambar 2.1	Gambar 2.1 Berbagai bagian jejak fosil yang menjadi ciri ichnofasies Skolithos. (Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984)	16
Gambar 2.2	Cruziana Ichnofacies (Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984).....	17
Gambar 2.3	Zoophycos Ichnofacies (Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984).....	18
Gambar 2.4	Nereites Ichnofacies (Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984).....	20
Gambar 2.5	Ichnofacies yang lain	21
Gambar 4.1	Spesies dari genus <i>Ophiomorpha</i> (Alan R & P.Johnson, 1975)	33
Gambar 4.2	Kenampakan bentuk Arenicolites (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	37
Gambar 4.3	Kenampakan bentuk Asterosoma (Alan R & P.Johnson, 1975 and https://www.uky.edu/KGS/fossils/fossil-month-1-2022-asterosoma.php)....	39
Gambar 4.4	Kenampakan bentuk Bergaueria (Alan R & P.Johnson, 1975)	40
Gambar 4.5	Kenampakan bentuk <i>Bergaueria hemispherica</i> (Alan R & P.Johnson,	

	1975 and Knaust & Bromley, 2012).....	41
Gambar 4.6	Kenampakan bentuk Chondrites(Alan R & P.Johnson, 1975 and Jessica Nature Block and Knaust & Bromley, 2012,).....	46
Gambar 4.7	Kenampakan bentuk Conichnus (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012).....	48
Gambar 4.8	Kenampakan bentuk Cylindrchnus (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	50
Gambar 4.9	Kenampakan bentuk Diplocraterion (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	52
Gambar 4.10	Kenampakan bentuk Helminthopsis (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	54
Gambar 4.11	Kenampakan bentuk Macaronichnus (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	57
Gambar 4.12	Kenampakan bentuk Monocraterion (Alan R & P.Johnson, 1975)	60
Gambar 4.13	Kenampakan bentuk Muensteria (Alan R & P.Johnson, 1975)	62
Gambar 4.14	Kenampakan bentuk Ophiomorpha (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	64
Gambar 4.15	Kenampakan bentuk Palaeophycus (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	67

Gambar 4.16	Kenampakan bentuk Planolites (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	68
Gambar 4.17	Kenampakan bentuk Rhizocorallium (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	71
Gambar 4.18	Kenampakan bentuk Rosselia (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)	73
Gambar 4.19	Kenampakan bentuk Skolithos (Alan R & P.Johnson, 1975).....	75
Gambar 4.20	Kenampakan bentuk Teichichnus (Alan R & P.Johnson, 1975)	77
Gambar 4.21	Kenampakan bentuk Terebellina (Alan R & P.Johnson, 1975)	79
Gambar 4.22	Kenampakan bentuk Thalassinoides (Alan R & P. Johnson, 1975)	81
Gambar 4.23	Kenampakan bentuk Zoophycos (Alan R & P.Johnson, 1975).....	83
Gambar 4.24	Kenampakan bentuk Rooting (Alan R & P. Johnson, 1975)	83

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Macam-macam Fossil Jejak	10
Tabel 1.2	Neoichnology dan Paleoichnology	11
Tabel 2.1	Jejak Hasil dari Pergerakan Organisme ..	22
Tabel 4.1	Nama Genus Berdasarkan Fossil Jejaknya. (Alan R & P.Johnson, 1975)	35

I. PENDAHULUAN

Konsep "ichnofacies" dikembangkan oleh Dolf Seilacher pada 1950-an dan 1960-an (Seilacher, 1953a,b, 1964), terutama berfokus pada batuan sedimen laut. Sejak awal ichnology yang merupakan ilmu yang mempelajari jejak fosil telah diakui untuk mempelajari objek biologis dan sedimentologis. Ichnology sebagai disiplin ilmu yang mempelajari struktur sedimen biogenic. Ichnology terbukti sangat penting untuk studi paleontologi dan sedimentologi

Seilacher (1967) mendefinisikan enam ichnofacies, masing-masing dinamai berdasarkan karakteristiknya ichnotakson. Ini sesuai dengan empat dari lima sedimen marine yaitu jenis (Skolithos, Cruziana, Zoophycos, dan Nereites) (Tabel 1), satu dari tiga tipe yang dikontrol substrat (Glossifungites), dan salah satu dari enam tipe kontinental (Scoyenia) (Tabel 2). Frey dan Seilacher (1980) menambahkan Trypanites Ichnofacies untuk mencirikan borings di batuan sedimen, dan Bromley

dkk. (1984) memperkenalkan Ichnofacies Teredolite untuk yang banyak dijumpai pada sedimen darat. Frey dan Pemberton (1987) mengusulkan Psilonichnus Ichnofacies untuk hunian vertikal permanen hingga miring, biogenik continental struktur, dan jejak gerak permukaan di substrat rawan pasir dari pasang surut tinggi dan pengaturan pesisir supratidal. Secara historis, kumpulan data untuk ichnofacies ini agak jarang, sebagian besar karena pelestarian pengaturan yang rendah potensi. Ini telah dikurangi baru-baru ini melalui penambahan studi kasus yang dijelaskan dengan baik (misalnya, Curran, 2007; Curran dan White, 1991; Marshall, 2003; Nesbitt dan Campbell, 2006; Netto dan Grangeiro, 2009). Buatois dan Ma'ngano (2011) telah menunjukkan bahwa Psilonichnus Ichnofacies

Penerapan studi fosil jejak untuk penyelidikan sedimentologi, khususnya dalam merekonstruksi lingkungan pengendapan, sebagian besar hal ini tergantung pada pengenalan yang tepat dari ichnotaxa. Komposisi yang bervariasi dari banyak

genus ichnofosil dan spesiesnya, selalu berhubungan dengan bentuk morfologi dan ukuran yang sama, tetapi berbeda kondisi paleoekologis yang menghasilkan fosil jejak. mereka, dalam banyak kasus membutuhkan penentuan ichnotaxa di tingkat ichnospecies.

Banyak proses terjadi setelah sedimentasi, yang selalu mempengaruhi dan mengubah setiap sedimen segera setelah diendapkan. Beberapa dari proses ini adalah faktor fisik (misalnya, gelombang, arus transportasi dan fenomena kompaksi); beberapa bersifat kimia (misalnya, difusi oksigen, pelarutan mineral dan sementasi); dan beberapa adalah factor biologis (misalnya, pengerjaan ulang sedimen oleh hewan dan tumbuhan).

Fosil, dalam arti luas, adalah bukti fisik kehidupan purba. Dalam pikiran kebanyakan orang, fosil adalah representasi dari seluruh atau sebagian tubuh makhluk (organisme) yang pernah hidup, dan biasanya terawetkan sebagai cetakan/mold atau cast, isian (cor), residu berkarbonisasi atau rekristalisasi

pada bagian keras (misalnya, tulang atau cangkang). "Fosil tubuh" semacam itu tentu saja sangat penting untuk ahli geologi sebagai catatan keberadaan organisme purba. Aktivitas zaman dahulu organisme juga dapat tercermin sebagai fosil, dan gambaran ini, yang menghebohkan dalam catatan geologi, dikenal sebagai "trace fossils" atau "ichnofossils".

Syaratnya "trace", dalam sedimen yang tidak terkonsolidasi; ahli sedimentologi sering menamakan sebagai "struktur sedimen biogenik."

Ichnofossil atau trace fossil didefinisikan sebagai : Suatu struktur sedimen berupa track, trail, burrow, tube, boring atau tunnel yang terawetkan (terfosilisasi) sebagai hasil dari aktifitas kehidupan (selain tumbuh) hewan. Ichnofossil dapat digunakan sebagai indikator paleontologi dalam sedimentologi dan stratigrafi untuk membantu indentifikasi dan interpretasi suatu permukaan diskontinuitas proses pengendapan, karena dapat mengindikasikan lingkungan asal saat jejak tersebut terbentuk serta tidak mungkin hadir dalam kondisi reworked.

Sedangkan ilmu yang mempelajari ichnofossil disebut ichnology. Ichnologi adalah cabang paleontologi yang khusus mempelajari jejak tanaman dan hewan, sedangkan ichnofossil sendiri merupakan fosil jejak yang dihasilkan oleh tanaman maupun hewan selama hidupnya. Divisi *ichnology* yang mempelajari fosil jejak adalah paleoichnologi dan yang mempelajari jejak yang terbentuk sekarang adalah neoichnologi. Persamaan yang sering muncul antara paleoichnologi dan neoichnologi dapat membantu menguraikan rahasia dari kebiasaan dan anatomi organisme yang meninggalkan jejak jika tidak ditemukan fosil organismenya sendiri. Contoh dari fosil jejak adalah *burrow* (galian), *track* (jejak jalan), *trail* (jejak seretan) dan *boring* (pengeboran). Sehingga pelakunya (organisme) bukan merupakan contoh fosil jejak dan bukan merupakan hal penting dalam studi ichnologi.

Prinsip Prinsip Ichnologi

1. Same Species Different Structures

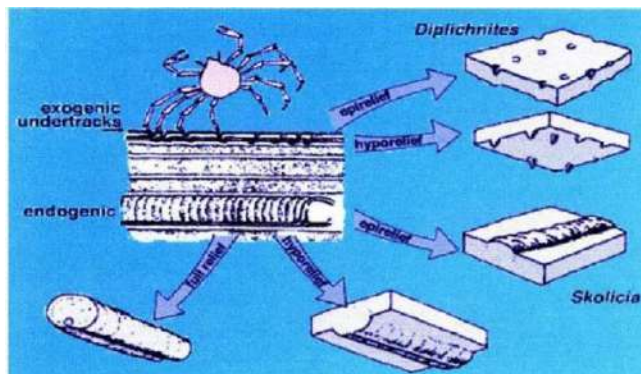
Spesies yg sama dapat menghasilkan struktur

yang berbeda tergantung dari pola-pola tingkah laku (behaviour) yang berbeda.

2. Same Burrow Different Substrates

Galian yang sama kemungkinan terawetkan secara berbeda pada substrat yang berbeda tergantung dari rata-rata ukuran butir, stabilitas sedimen, kandungan air, dan kondisi kimia dari sedimen.

3. Different Tracemakers Identical Structures



Gambar 1.1 Terminology of trace fossil preservation depending on the relationship to sediment horizons (after Benton & Harper, 1997 dalam Fachriany, N., 2013)

Ichnofosil sendiri tidak seperti jenis fosil yang lainnya, umumnya tidak dapat dipisahkan dengan batuanannya dan sulit untuk diambil sehingga terjun langsung ke lapangan dengan mengamati langsung fosil jejak yang bervariasi akan memperkaya konsep mengenai ichnologi sendiri.

II. KLASIFIKASI FOSIL JEJAK

Klasifikasi fosil jejak dibagi berdasarkan

1. Pelestarian (toponomi),
2. Taksonomi (sistematika pembuat jejak yang diduga),
3. Ichnotaxonomy (sistematika jejak fosil),
4. Etologi (perilaku) dan
5. Paleoenvironment (batimetri, dll.).

Skema klasifikasi preservasi dan taksonomi terutama bersifat deskriptif (yaitu, objektif karena harus dilakukan deskripsi langsung); Penentuan perilaku dan paleoenvironmental untuk klasifikasi, dilakukan secara interpretatif (yaitu, subjektif).

Fosil jejak (Tabel I-1) meliputi:

- (A) Jejak (jejak kaki individu),
- (B) Trackways (kumpulan beberapa track yang menunjukkan pergerakan organisme tersebut),

- (C) Trails (berkelanjutan jejak penggerak, seperti yang dibuat oleh gastropoda yang merangkak melintasi dataran pasir),
- (D) Liang (struktur yang dibuat dari sedimen yang tidak terlitifikasi),
- (E) Bor (struktur yang digali ke dalam) substrat keras, seperti cangkang, batu atau kayu), dan
- (F) Berbagai jejak bioerosion (termasuk lubang bor gastropoda karnivora, jejak serak echinoid yang merumput, gigitan jejak ikan kakatua, dll).

Tabel 1.1. Macam-macam Fosil Jejak

A. Animal Traces in soft sediment	
1	Burrows
2	Tracks
3	Trackways
4	Trails
B. Plant Traces in soft sediment	
1	Root penetration structures
2	Algae stromatolites
C. Animal and plant Traces in hard substrates	
1	Borring (for dwelling)
2	Drill holes (for predation)
3	Raspings and Scrapings
D. Excrement	

1	Coprolites
2	Fecal castings
3	Fecal pellets
E. Other	
1	Excavation pellets
2	Pseudofeces
3	Regurgitation pellets

Ichnology, terkadang dibagi menjadi neoichnology dan paleoichnology (palichnology). (Tabel 1-2).

Biogenic Structures	
A.	Biogenic Sedimentary Structures
	Bioturbation Structures (burrows, tracks, and trails)
	Biostratification Structures (biogenic graded bedding, algal stromatolites and non-descript burrow mottling)
B.	Bioerosion Structures (borings, gnawings, scrapings and bitings)
C.	Excrement (coprolites, fecal pellets and fecal strings or castings)

2.1 Klasifikasi Ethologic Trace Fossil

Adolf Seilacher, 1975 merupakan orang yang pertama kali mengusulkan istilah “ethological” dan istilah ini diterima secara luas sbagai dasar untuk menentukan klasifikasi fosil jejak. Adolf Seilacher,

mengakui bahwa ternyata sebagian besar dari fosil jejak telah dibuat oleh hewan dalam salah satu dari lima kegiatan perilaku utama, dan menamai mereka sesuai:

- a. *Cubichnia*: merupakan jejak organisme yang ditinggalkan yang terdapat pada permukaan sedimen yang berukuran halus. Jejak organisme ini kemungkinan merupakan kegiatan organisme yang sedang istirahat. Hal ini seperti yang terjadi pada organisme bintang laut. Hal ini bisa terjadi juga sebagai tempat organisme bersembu untuk menghindarkan mangsa.
- b. *Domichnia* merupakan struktur tempat tinggal yang mencerminkan posisi kehidupan organisme. Misalnya apabila dibawah permukaan liang atau suspensi borings pengumpan.
- c. *Fodinichnia* merupakan bekas sisa makanan yang terbentuk sebagai hasil dari mengganggu organisme dalam mencari

makanan.

- d. *Pascichnia* merupakan jejak fosil dari jenis yang khas yang menunjukkan hewan merumput
- e. *Repichnia* merupakan kategori perilaku fosil jejak yang dihasilkan dari penggerak. Hewan dapat meninggalkan jejak yang berbeda dengan berjalan atau merangkak melintasi permukaan sedimen yang lunak; repichnia adalah jejak fosil dari jejak tersebut.

2.2 Klasifikasi Toponomic Trace Fossil

Martinsson telah berhasil mengidentifikasi 4 kelas yang berbeda untuk jejak-jejak fosil dalam sedimen yaitu:

1. Jejak *Endichnia* merupakan jejak yang ditemukan secara keseluruhan, dalam proses cetakan (molding atau casting), dan hanya dapat dibuat oleh infaunal organisme.
2. *Epichnia* merupakan jejak fosil yang terawatkan di atas tempat tidur organisme

tersebut, baik sebagai "punggungan" atau "alur"; sama dengan epirelief.

3. Exichnia adalah untuk liang yang diawetkan dalam tiga dimensi dan lapuk dari sedimen sebagai bagian yang terisolasi.
4. Hypichnia adalah pegunungan dan alur yang ditemukan di tempat tidur sol asal antarmuka mereka dengan strata yang lain, yang mewakili kebalikan dari epichnia.

2.3 Klasifikasi Model Pengawetan

Beberapa peneliti telah memberikan berbagai usulan mengenai kategori dan pengertian dari aspek-aspek model pengawetan. Salah satunya adalah Seilacher (1964) membedakan bentuk-bentuk fosil-fosil jejak berdasarkan posisi stratum. Dalam klasifikasi ini dihasilkan kelompok-kelompok full relief, semi relief dan hyporelief

2.5 Ichnofasies

Penggunaan semua aspek dari endapan sedimen purba untuk menginterpretasi *setting* pengendapan aslinya dan fasies sedimen dinamakan analisis *facies*. Jika berhubungan dengan fosiljejak yang ditemukan di endapan sedimen disebut ichnofacies.

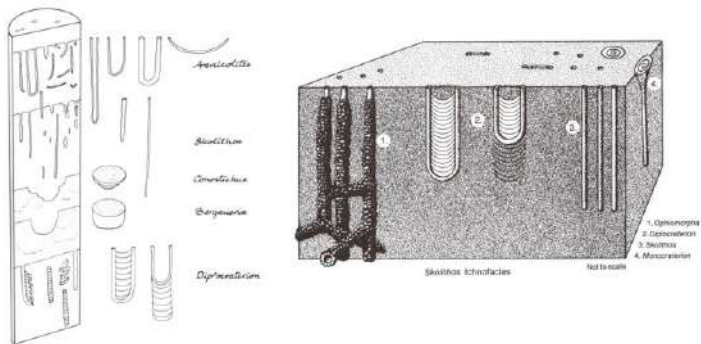
1. Skolithos Ichnofacies

Trace fosil asosiasi ini dicirikan terutama oleh liang vertikal, cylindrical atau U-berbentuk (misalnya, *Ophiomorpha*, *Displocraterion* & *Skolithos*).

Keragaman keseluruhan ichnogenera rendah dan struktur horizontal sedikit yang tampak. Ichnofacies ini berkembang terutama di sedimen pasir di mana tingkat gelombang yang relatif tinggi atau terdapat energi yang khas.

Organisme dalam lingkungan ini membangun liang yang dalam untuk melindungi diri terhadap pengeringan atau suhu yang tidak

menguntungkan atau perubahan salinitas pada saat terjadi kondisi air surut, dan merupakan sarana untuk membebaskan diri dari perubahan muka air laut. Skolithos Ichnofacies menunjukkan lingkungan garis pantai berpasir, dan kemungkinan menjorok ke laut dangkal.

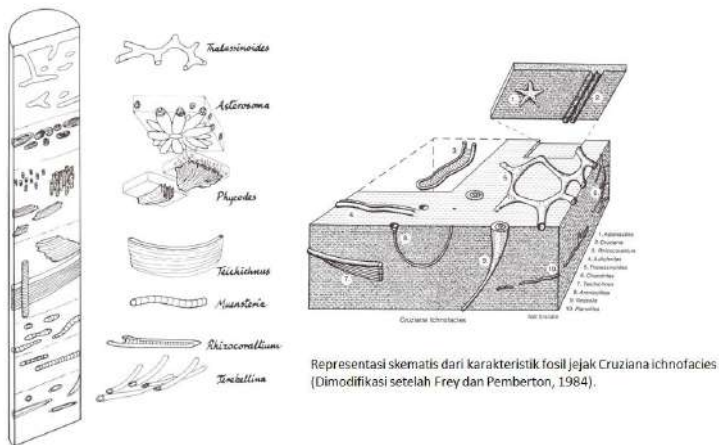


Gambar 2.1 Berbagai bagian jejak fosil yang menjadi ciri ichnofasies Skolithos.
(Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984)

2. Cruziana Ichnofacies

Cruziana ichnofacies pada umumnya terbentuk di laut agak dalam dari zona subtidal. Cruziana mungkin dijumpai pada

sedimen lingkungan perairan dekat pantai. ichnofacies Cruziana pada umumnya mempunyai keanekaragaman yang tinggi dan kelimpahan jejak.



Gambar 2.2 Cruziana Ichnofacies
(Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984)

3. Zoophycos Ichnofacies

Ichnofacies Zoophycos merupakan fosil jejak yang paling khas pada lingkungan air yang tenang, dan berkadar oksigen sangat rendah dan pada dasar yang berlumpur tetapi dapat pula terjadi pada substrat yang lain. Hal ini ditunjukkan adanya jejak sederhana sampai

kompleks. Sebagai contoh: Spirophyton. Sedimen ichnofacies Zoophycos menunjukkan bioturbasi yang sempurna, Lingkungan air yang lebih dalam, tetapi juga di air dangkal. Sehingga fosil sebagai indikator paleodepth tetapi problematis. Distribusinya tampaknya lebih terikat erat dengan kadar oksigen dan jenis sedimen dasar dari kedalaman air.



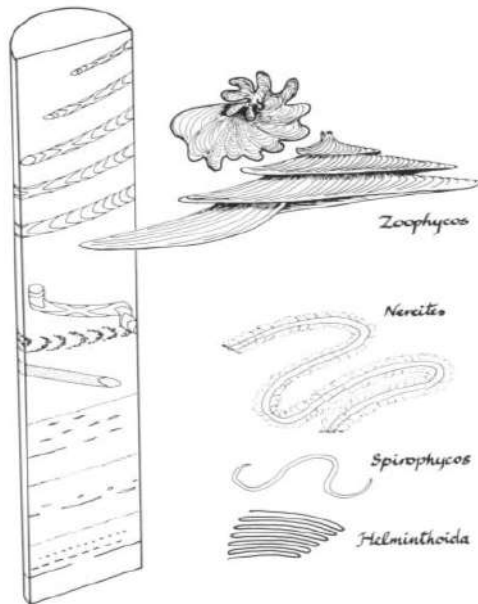
Struktur biogenik dalam lingkungan karbonat laut dalam pelagis. Kiri ke kanan: dasar laut - "jejak menyirip", Taphrhelminthopsis, Glockeria, Spirodesmos. Beberapa milimeter di bawah dasar laut - Paleodictyon, Cosmorhaphis, Spirohafes. Gambar kiri - Trichichnus, Skolithos, Zoophycos, Chondrites. Gambar kanan - Zoophycos, Chondrites, Teichichnus, Planolites.

Gambar 2.3 Zoophycos Ichnofacies
(Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984)

4. Nereites Ichnofacies

Ichnofacies Nereites menunjukkan lingkungan endapan turbidit. Ichnofosil ini mempunyai hiasan dan rumit, seperti *Paleodictyon*, *Spirorhappe* & *Nereites*.

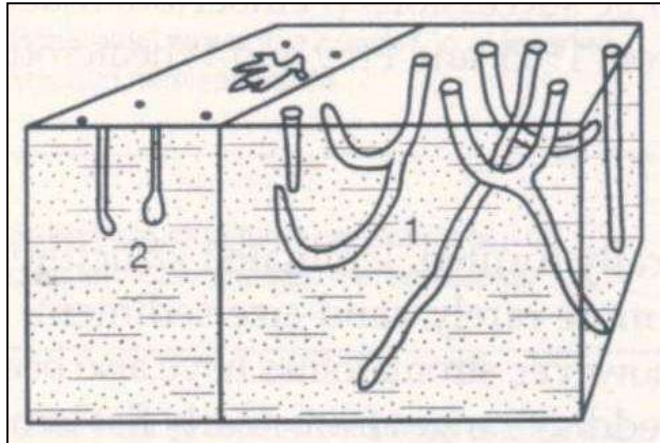
Keragaman Jumlah jejak adalah tinggi, tetapi kelimpahan jejak individu rendah. Ichnofacies *Nereites* berkembang di lingkungan turbidit berpasir tetapi bisa hidup di lingkungan pelagis, dari sedimen berlumpur yang berada di atas batupasir turbidit.



Gambar 2.4 Nereites Ichnofacies
(Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984)

5. Ichnofacies yang lain

Ichnofacies Pylonichnus merupakan Ichnofacies yang umumnya terbentuk pada lingkungan non marine dan laut sangat dangkal. Jejak berbentuk (Y) atau berbentuk lubang (U).



Gambar 2.5 Ichnofacies yang lain

Tabel 2.1 Jejak hasil dari pergerakan organisme

Nama	Kegiatan	Definisi
Repichnia (<i>Crawling</i>)	gerakan di atas permukaan	jejak kaki, jejak cacing merayap, berenang meluncur, dll.
Fodinichnia (<i>Feeding</i>)	mencari makan atau cadangan makanan atau mengintai mangsa	linear, berbentuk -U, bercabang, dan burrow berliku liku dengan segala segala macam linear pendek, jejak waktu makan, gangguan pada substrat struktur 3D.
Pascichnia (<i>Grazing</i>)	mencari makan atau cadangan makanan di permukaan	burrow cenderung dalam satu bidang, sebuah jejak jalur tambang organism, bentuk lain dari jejak makan, organism mengkorek-korek permukaan substrat.
Domichnia (<i>Dwelling</i>)	burrow tempat hidup atau boring	jejak kehidupan dari suatu organisme.
Cubichnia (<i>Resting</i>)	burrow persembunyian sementara	jejak istirahat dari suatu organisme, bersembunyi atau mengintai mangsa.
Fugichnia (<i>Escape</i>)	organisme melarikan diri	dibentuk oleh organisme yang panik mencoba menggali agar dirinya keluar dari burrow.
Agrichnia (<i>Gardening</i>)	disebut "jejak berkebun"	merupakan sistem jaringan burrow yang dirancang untuk menangkap migrasi meiofauna atau bahkan mungkin untuk membiakkan bakteri. Organisme akan terus memeriksa sistem jaringan burrow ini untuk memangsa organisme kecil yang terperangkap ke dalamnya.

Selain tracefossil, dikenal tipe lain yang semula diklasifikasikan sebagai ichnofosil, seperti:

1. Artifact dan oddballs

Jenis ini diklasifikasikan sebagai fosil terutama ketika istilah fosil belum terdefiniskan dengan baik. Contoh: senjata

2. Pseudofossils, adalah struktur yang terbentuk secara an-organik, secara kebetulan, mirip kerangka ataupun fosil jejak. Misalnya: dendrites - endapan an-organik oksida-mangan yang semula diduga berasal dari fosil alga.

Ichnofossil atau *trace fossil* dapat juga didefinisikan sebagai suatu struktur sedimen berupa *track*, *trail*, *burrow*, *tube*, *boring* atau *tunnel* yang terawetkan (terfosilisasi) sebagai hasil dari aktifitas kehidupan (selain tumbuh) hewan. Contoh: tanda/jejak yang dibuat hewan-invertebrate saat bergerak, merayap, makan,

memanjat, lari atau istirahat, pada atau di dalam sedimen lunak. Struktur sedimen ini seringkali terawetkan sehingga membentuk tinggian atau rendahan (a raised or depressed form) pada batuan sedimen. Tanda/jejak hasil aktifitas atau kebiasaan organisma sebagai *trace fossil* atau *ichofossil* dikenali berup : *tracks, trail, burrow, tube, boring* atau *tunnel*.

Klasifikasi Toponomic Trace Fossil

A. *Burrows*

- *shaft* (tugu): galian vertikal atau sub-vertikal
- *tunnel* (terowongan): galian horizontal atau sub-horizontal
- Bentuk U: dua galian shaft bertemu di kedalaman
- *maze/gallery*: sistem galian bercabang 2D
- *boxwork*: sistem galian bercabang 3D
- *chamber*: burrow tak beraturan
- *nest*: *burrow* multi fungsi dan/atau sistem penyimpanan

B. *track/trackway*: jejak kaki

C. *trail*: tanda seretan

D. *gnawing/biting*: tanda gigitan

III. Keunggulan dan Kekurangan Fossil Jejak

3.1 Keunggulan fossil jejak

Trace fossils tidak mengawetkan tubuh atau morfologi organisme, tapi memiliki kelebihan dibandingkan fossil kerangka, yaitu:

- *Trace fossils* biasanya terawetkan pada lingkungan yang berlawanan dengan pengendapan fossil rangka (misalnya : perairan dangkal dengan energi tinggi, batupasir laut dangkal dan batulanau laut dalam)
- *Trace fossils* umumnya tidak dipengaruhi oleh diagenesa, dan bahkan diperjelas secara visual oleh proses diagenesa.
- *Trace fossils* tidak tertransport sehingga menjadi indikator lingkungan pengendapan yang sebenarnya.

3.2 Kekurangan fosil jejak

- Ichnofosil tidak mengawetkan tubuh atau morfologi organisme
- Pada umumnya tidak dapat dipisahkan dengan tubuh batuanannya
- Ichnofosil sulit untuk diambil dan harus terjun langsung ke lapangan dengan mengamati langsung fosil jejak yang bervariasi

Ichnofosil juga dapat menggolongkan struktur biogenik berdasarkan hubungannya dengan bidang perlapisan, geometrinya, atau berdasarkan ornamentasi atau struktur internalnya. Hal itu terutama berlaku untuk *track* dan *trail*. Bentuk dan pola struktur itu bervariasi, mulai dari jejak istirahat berukuran kecil, yang dibuat oleh organisme yang dapat berenang secara bebas, hingga jejak kaki dinosaurus. Struktur itu juga mencakup lekukan-lekukan menerus dan berkelok-kelok yang dibuat

oleh organisme yang merayap di atas sedimen. Banyak jejak istirahat memperlihatkan simetri bilateral. Banyak *trail* juga memperlihatkan sifat bilateral karena binatang yang menghasilkannya memiliki simetri bilateral. Sebagian struktur biogenik bersifat kompleks sebagai hasil pergerakan anggota badan dan ekor.

Jejak rayapan juga merupakan struktur bidang perlapisan yang dengan pola yang beragam. Sebagian diantaranya berupa jejak sinusoidal; sebagian memperlihatkan keteraturan yang mengagumkan; sebagian berbentuk spiral; sebagian memperlihatkan sinusitas yang sistematis dan teratur dan sebagian lain memperlihatkan jaringan poligonal (*Paleodycton*). Secara umum, jejak rayapan hanya terbentuk pada permukaan lumpur dan, oleh karena itu, hanya terawetkan sebagai *cast* pada bidang perlapisan bawah batulanau atau batupasir halus.

Struktur biogenik lain lebih jelas terlihat pada bidang yang lebih kurang tegak lurus terhadap bidang perlapisan. Sebagian struktur itu berbentuk

tabung sederhana, misalnya Skolithus, sedangkan sebagian lain memiliki pola yang lebih kompleks. Banyak diantaranya berupa tabung berbentuk U. Lubang galian dapat tunggal maupun bercabang. Material pengisi lubang galian umumnya memiliki tekstur yang berbeda dengan batuan setempat dan dalam beberapa kasus proses pengisian berlangsung secara berangsur dan menerus, namun dapat pula tidak berkesinambungan. Lubang galian sudah barang tentu dapat mencapai bidang batas sedimen-fluida. Pada struktur pencarian makanan, jejak-jejak pada bidang perlapisan dapat bersambung dengan lubang galian, biasanya menyebar dari lubang itu. Karenanya, struktur tersebut memiliki komponen lateral maupun komponen vertikal.

Sebagian besar lubang galian juga dapat terletak horizontal pada bidang perlapisan, bahkan dalam tubuh lapisan. Sebagian lubang galian melebar ke dalam hingga jarak sekitar 20 cm atau lebih, dari permukaan. Sebagian lain merupakan lubang galian dangkal. Lubang galian dapat dikenal pada bidang

yang memotong bidang perlapisan oleh perbedaan tekstur material pengisinya serta oleh batuan sampingnya, terutama oleh penghancuran perlapisan yang ditembusnya. Jika lubang galian cukup melimpah, hanya jejak jejak samar dari bidang perlapisan asli saja yang masih dapat terlihat (Moore & Scrutton, 1957). Bioturbasi (*bioturbation*) adalah istilah yang dipakai untuk menamakan aksi yang menandakan adanya aktifitas organisme, sedangkan istilah bioturbite (*bioturbite*) digunakan untuk menamakan batuan yang dikenai oleh bioturbasi.

Struktur biogenik sangat bermanfaat untuk menentukan urutan stratigrafi dalam paket batuan vertikal atau paket batuan yang telah mengalami pembalikan (Shrock, 1948). Banyak struktur biogenik terawetkan sebagai 3 pada bidang perlapisan bawah batupasir. Struktur biogenik juga dapat memberi petunjuk mengenai laju sedimentasi. Seilacher (1962) memperlihatkan bahwa lapisan-lapisan batupasir dalam sekuen flysch pada dasarnya merupakan endapan seketika. Jika tidak demikian,

lubang-lubang galian akan dapat dimulai pada level yang berbeda-beda dari lapisan itu; bukan hanya dimulai dari puncak lapisan. Batupasir pada beberapa "Portege" sequence Devon di Pennsylvania memiliki laminasi yang demikian halus; lapisan lain yang berasosiasi dengannya terbioturbasi. Pasir berlaminasi yang tidak terganggu diendapkan dengan sangat cepat (paling lama hanya beberapa hari), sedangkan lumpur yang banyak dikenai aksi pembuatan lubang diendapkan bertahun-tahun, bahkan mungkin berabad-abad.

Ketidakhadiran lubang galian dan preservasi laminasi tidak selalu mengimplikasikan sedimentasi yang cepat. Hal itu mungkin mengimplikasikan penghambatan kehidupan bentos karena kondisi beracun akibat hadirnya H_2S bebas atau akibat tidak adanya oksigen. Kumpulan fosil jejak juga dapat berkorelasi dengan salinitas (Seilacher, 1963).

Aspek paling bermanfaat dari kumpulan fosil jejak adalah sebagai dasar penunjuk fasies. Seilacher (1964), misalnya saja, mendefinisikan empat fasies

yang masing-masing dicirikan oleh kumpulan ichnofosil tersendiri. Fasies Nereites, mencirikan cekungan flysch atau cekungan turbidit. Fasies Zoophycus mencirikan lingkungan perairan-dangkal, namun tenang. Fasies Cruziana menempati paparan dangkal. Fasies Skolithus pada dasarnya merupakan fasies pesisir berenergi tinggi. Lingkungan turbidit perairan-dalam (fasies Nereites) terutama dicirikan oleh jejak rayapan.

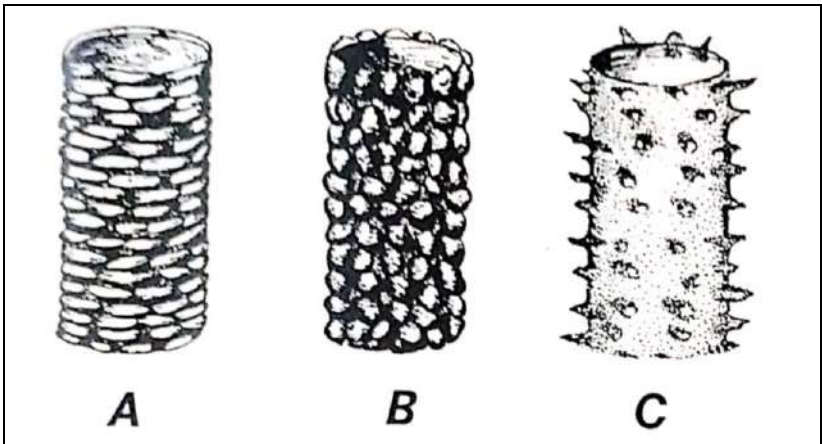
Hal itu berbeda dengan lingkungan pesisir turbulen yang didominasi oleh lubang galian yang dibuat sebagai tempat perlindungan atau lubang galian yang dibuat dalam rangka mencari makanan. Morfologi fosil jejak sudah barang tentu mencerminkan organisme yang bertanggungjawab terhadap pembentukannya serta adaptasi organisme itu terhadap kondisi lingkungan.

Pendeknya, fosil jejak merupakan sebuah alat bantu yang sangat bermanfaat bagi para ahli sedimentologi. Sebagaimana aspek-aspek batuan sedimen yang lain, fosil jejak dapat dipetakan dan

digunakan untuk mendefinisikan sabuk-sabuk fasies utama (Farrow, 1966) serta untuk membantu dalam menafsirkan perubahan-perubahan kedalaman (Seilacher, 1967).

IV. IDENTIFIKASI FOSIL JEJAK

Fosil Jejak dapat diklasifikasikan secara taksonomi berdasarkan karakteristik tertentu. Oleh karena itu kami memiliki ichnogenus dan ichnospecies.



Gambar 4.1 Spesies dari genus *Ophiomorpha*
(Alan R & P. Johnson, 1975)

Gambaran genus ini secara vertical : ada tiga macam spesies yaitu :

(A) *Ophiomorpha annulata*.

(B) *Ophiomorpha nodosa*.

(C) *Ophiomorpha irregulaire*.

4.1 BIOTURBASI

Bioturbasi sering terbentuk pada batuan sedimen, khususnya di lingkungan yang banyak mengandung oksigen, terrestrial maupun laut yang masih memungkinkan suatu biota hidup.

Tabel 4.1 Nama genus berdasarkan fosil jejaknya
(Alan R & P.Johnson, 1975)

Crawling (merangkak)	Feeding (Saat Makan/mencari makanan)	Grazing (goresan)	Dwelling (tempat tinggal)	Escape (keluar dari tempat tinggal)	Resting (istirahat)
Vertebrates	* <u>Asterosoma</u> * <u>Chondrites</u> * <u>Macaronichnus</u> <u>Muensteria</u> * <u>Planolites</u> * <u>Rhizocorallium</u> * <u>Rossella</u> * <u>Telichichnus</u> (<u>Zoophycus</u>) (<u>Thalassinoides</u>)	* <u>Helminthopsis</u> * <u>Zoophycus</u> * <u>Cosmosaphe</u>	* <u>Arenicolites</u> (<u>Bergaueria</u>) (<u>Conichnus</u>) <u>Cylindrichnus</u> * <u>Diplocraterion</u> * <u>Monocraterion</u> * <u>Ophiomorpha</u> <u>Paleophycus</u> * <u>Skolithos</u> * <u>Terebellina</u> * <u>Thalassinoides</u>	(<u>Telichichnus</u>) (<u>Monocraterion</u>) (<u>Diplocraterion</u>)	* <u>Bergaueria</u> * <u>Conichnus</u>

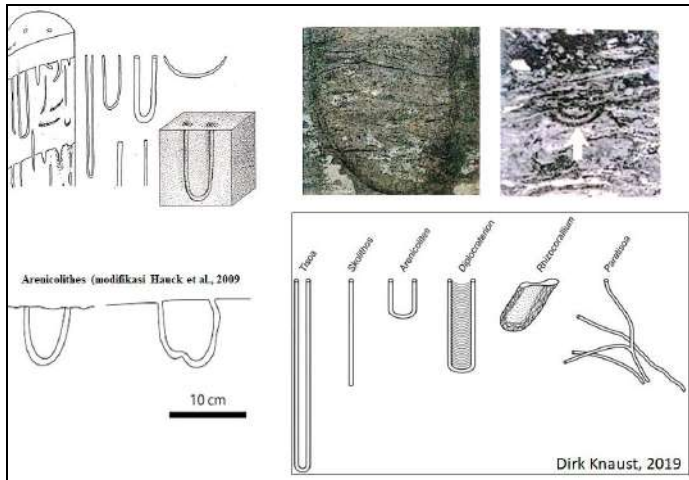
4.2 ARENICOLITES

Deskripsi: berbentuk tabung sederhana, vertikal, berbentuk U tanpa spreiten (ruas, sekat) di antara anggota badan. Dinding luar umumnya mulus tanpa sementasi; lubang salah satu atau kedua tabung bisa melebar. Umumnya dapat diawetkan dalam bentuk yang sempurna, tetapi dapat juga dikenali secara kasat mata dengan lubang bukaan yang saling berpasangan.

Interpretasi: Arenicolites ditafsirkan sebagai liang tempat tinggal annelida (golongan cacing) atau Crustacea (udang). Kemungkinan aslinya termasuk polychaete *Arenicola* atau amphipod *Corophium*. Fosil jejak ini sebagai sebuah bentuk model rantai makanan.

Lingkungan Pengendapan: Arenocolites pada umumnya berasosiasi dengan substrat arenaceous di permukaan pantai, dengan energi yang rendah atau

pada lingkungan datar atau pasang surut yang berpasir. Elemen umum dari ichnofacies Skolithos.



Gambar 4.2 Kenampakan bentuk Arenicolithes (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

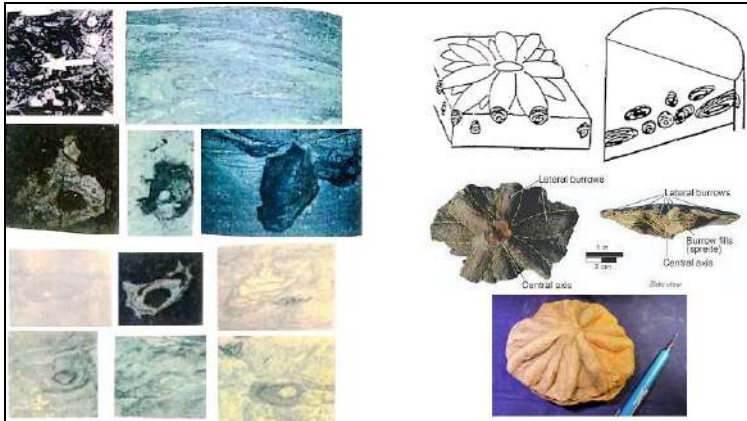
4.3 ASTEROSOMA

Deskripsi: Sistem liang berbentuk bintang yang terdiri dari beberapa lengan yang bulat radial yang meruncing ke dalam menuju bagi tengah yang morfologi bagian tengah lebih menonjol. Lengan cenderung melingkar di penampang dan terdiri dari

lapisan yang bentuknya melingkar/konsentris, biasanya litologinya pasir dan tanah liat yang dikemas di sekitar tabung pusat; bagian luar pada umumnya halus, tetapi mungkin menunjukkan striae/garis memanjang atau ada kerutan.

Interpretasi: Asterosoma diinterpretasikan sebagai lubang/liang makan cacing. Organisme ini tampaknya berulang-ulang membentuk sedimen untuk memperbesar ruangan dan aktif mengendapkan sedimen baik secara vertikal dan lateral.

Lingkungan Pengendapan: Asterosoma mempunyai struktur khusus, sehingga disimpulkan bahwa lingkungannya laut. Umumnya ditemukan di permukaan pantai bagian atas-bawah yang berasosiasi dengan Rosselia. Tetapi dapat juga ditemukan di fasies air agak payau. Bentuk umum di ichnofacies Cruziana.



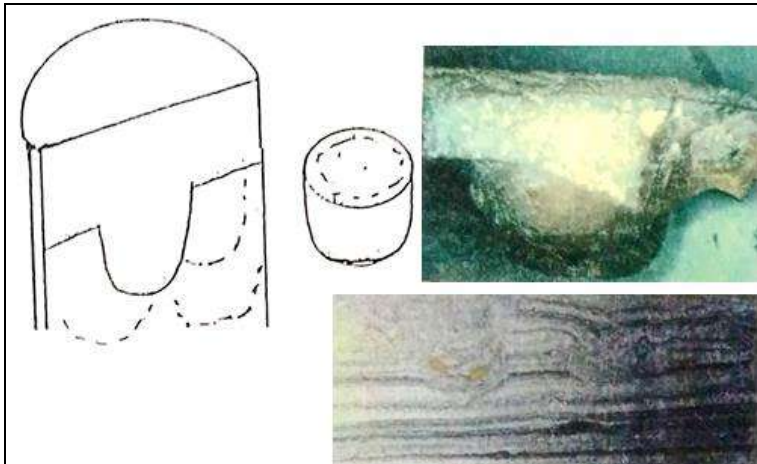
Gambar 4.3 Kenampakan bentuk Asterosoma
 (Alan R & P.Johnson, 1975 and
<https://www.uky.edu/KGS/fossils/fossil-month-1-2022-asterosoma.php>)

4.4 BERGAUERIA

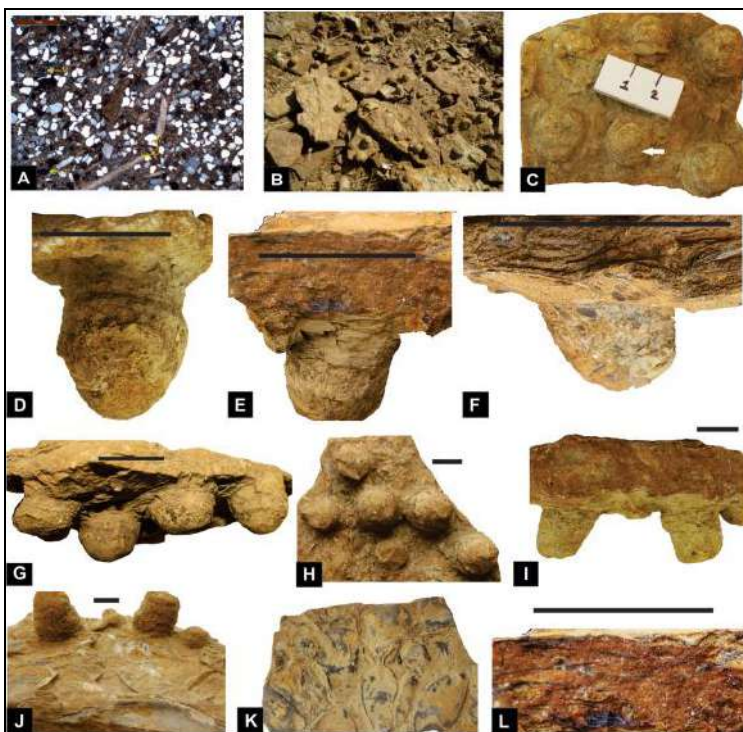
Deskripsi: Berbentuk silinder sampai setengah bola, liang vertikal dengan dinding yang halus tanpa hiasan/ornamen; melingkar ke elips di penampang; pengisi pada dasarnya tidak terstruktur; dasar bulat dengan atau tanpa depresi pusat dangkal dan punggungan radial. Rasio panjang-diameter bervariasi dari 2,2 hingga 2,8.

Interpretasi: Bergaueria mewakili aktivitas anemon actinian. Jejak ini seperti jejak yang berhenti, spesimen tidak bergaris (cubichnia) atau liang tempat tinggal spesimen bergaris (domichnia).

Lingkungan Pengendapan: Umumnya Bergaueria menunjukkan kondisi laut normal pada permukaan pantai yang didominasi gelombang atau pasang surut. Elemen umum dalam ichnofacies Skolithos.



Gambar 4.4 Kenampakan bentuk Bergaueria
(Alan R & P.Johnson, 1975)



Gambar 4.5 Kenampakan bentuk *Bergaueria hemispherica* (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

Foto-foto *Bergaueria hemispherica* dan bahan pengisi liang diantaranya :

- A. Microphotograph dari liang, dengan komposisi batupasir allochemic (mikroklin (M), plagioklas feldspar (F) dan fragmen cangkang tiram (O).

- B. Foto kenampakan singkapan di lapangan, yang berupa balok-balok pasir yang terbalik, berupa batugamping allochemic yang menunjukkan liang *Bergaueria hemispherica* yang kompak/padat.
- C. Kenampakan *close-up* dari *Bergaueria hemispherica*. Perhatikan variasi ukuran secara keseluruhan dan lingkaran (panah) otot yang melingkar di bagian bawah liang.
- D. Variasi morfologi *Bergaueria hemispherica* yang menunjukkan liang vertikal dengan dasar subconical dan
- E. *Bergaueria hemispherica* yang menunjukkan liang sedikit miring dengan dasar bulat (menunjukkan keadaan otot yang berkontraksi dan rileks).
- F. *Bergaueria hemispherica* yang (menunjukkan liang miring, didalamnya terisi fragmen cangkang tiram yang melimpah).
- G. *Bergaueria hemispherica* yang menunjukkan gambaran normal
- H. *Bergaueria hemispherica* terbalik dari liang vertikal ke subvertikal dengan ukuran berbeda,

menunjukkan perbedaan kelompok umur anemon laut.

- I. *Bergaueria hemispherica* normal
- J. *Bergaueria hemispherica* (pandangan terbalik dari liang cenderung menjauh dari satu sama lain menunjukkan agresi).
- K. *Bergaueria hemispherica* dengan permukaan berpasirdari batugamping allochemic yang penuh dengan tiram.
- L. *Bergaueria hemispherica* yang tampak samping dari batugamping allochemic berpasir yang menunjukkan cangkang tiram yang berorientasi acak. (ukuran 1,5 cm).

A-B Merupakan foto yang menunjukkan singkapan *Bergaueria* di lapangan, sedangkan foto C-L adalah foto spesimen yang disimpan di museum Universitas Maharaja Sayajirao dari Baroda. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S163106831930003X>)

4.5 CHONDRITES

Deskripsi: Chondrites adalah sistem liang makan dengan banyak cabang, seperti akar tetapi cabang tidak saling berhubungan dan diameternya seragam (yaitu, lancip), seperti pada banyak tumbuhan, saling menembus, atau memotong satu sama lain (fototaksis). Percabangan biasanya dalam bentuk cabang samping (hingga 5 atau 6 ordo) miring dari terowongan sebelumnya atau utama pada 30 derajat sampai 40 derajat daripada bifurkasi terowongan di persimpangan berbentuk Y.

Pada inti batuan (Core), Chondrit biasanya muncul sebagai bentukan seperti susunan titik-titik berbentuk elips kecil dimana irisan vertikal melalui inti memotong banyak terowongan bercabang. Dalam beberapa kasus, bagian yang Panjang, seperti terowongan, dan bagian cabang sering terlihat patah.

Interpretasi: Chondrit seperti sebuah bentuk terowongan yang dihasilkan oleh cacing laut simetris

bilateral dan tak bersegmen (sipunkulid) yang memberi makan deposit, yang bekerja dari pusat pada permukaan substrat dan menciptakan terowongan dengan memperluas belalainya. Namun, beberapa bentuk Chondrit menembus begitu dalam ke dalam substrat sehingga mereka hanya bisa dihasilkan oleh hewan berbentuk cacing yang tinggal di dalam struktur, bergerak secara fisik melalui sedimen dengan cara *Heteromastus polychaete* modern (cacing modern).

Lingkungan Pengendapan:

Laut dengan Energi Rendah: Anaerobic



Gambar 4.6 Kenampakan bentuk Chondrites (Alan R & P.Johnson, 1975 and Jessica Nature Block and Knaust & Bromley, 2012,)

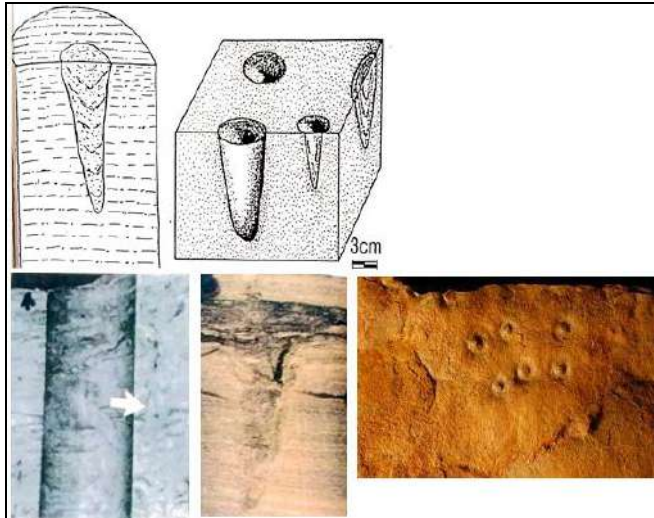
4.6 CONICHNUS

Deskripsi: Berbentuk kerucut, seperti amphora (vas bunga), atau mengelupas /acuminated, yang berarah tegak lurus terhadap bagian alas; bagian dasar berbentuk relative bulat atau kemungkinan menunjukkan suatu tojolan seperti papila yang berbeda. Tambalan dapat mengungkapkan struktur internal berpola seperti chevron laminae tetapi tidak simetri medusoid radial (lengan menyebar mirip

bintang,). Lapisannya tipis, yang mempunyai kekuatan yang berbeda antara pengisi dan matriks yang berdekatan.

Interpretasi: Conichnus ditafsirkan sebagai contoh domichnia atau cubichnia atau organisme seperti anemon (Frey dan Howard, 1981). Dua ichnospecies saat ini diakui, *C. conicus* dan *C. papillatus*. Kriteria untuk pengenalan mereka terutama didasarkan pada sedikit perbedaan dalam garis besar liang secara keseluruhan dan ada atau tidak adanya tonjolan apikal yang berbeda.

Lingkungan Pengendapan: Conichnus umumnya berasosiasin dengan lingkungan permukaan pantai berenergi tinggi yang diendapkan dalam kondisi laut normal. Umumnya terkait dengan ichnofacies Skolithos.



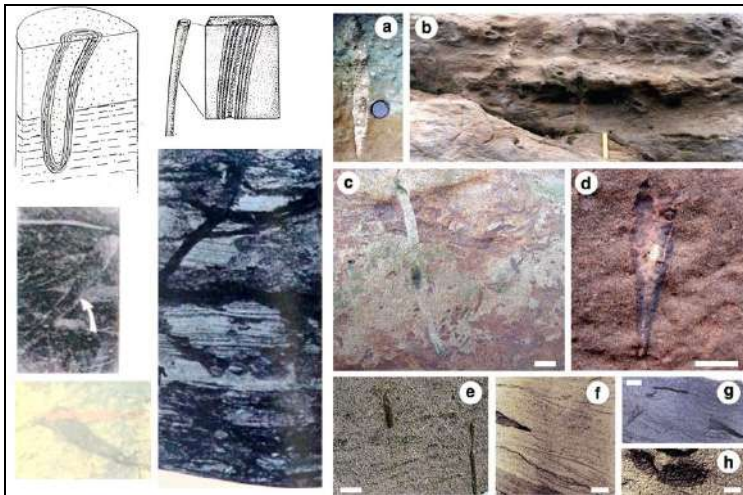
Gambar 4.7 Kenampakan bentuk Conichnus
(Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley,
2012)

4.7 CYLINDRICHNUS

Deskripsi: Bentuk liang silindris, subsilindris hingga subkonikal, lurus hingga melengkung lembut, memiliki banyak dinding berlapis konsentris. Orientasi berkisar dari vertikal ke horizontal dan tidak pernah bercabang

Interpretasi: Fitur paling diagnostik dari bentuk ini adalah bentukan yg bersamaan (multilining) yang berhubungan dengan aktivitas organisme pada liang tersebut, yang menunjukkan laju sedimentasi yang lambat dan terus menerus; saat sedimen memasuki liang, sedimen itu ditekan ke dinding liang. Dinding liang multiline telah dikenali dalam struktur yang diproduksi oleh *polychaete Nereis, Callinassa*. Sebagian besar sistem vertikal telah dikaitkan dengan krustasea pemakan suspensi, sistem horizontal telah dikaitkan dengan organisme mirip seperti cacing yang memberi makan pada endapan.

Lingkungan Pengendapan: *Cylindrichnus* adalah elemen yang umum dari ichnofasies Skolithos dan merupakan ujung proksimal ichnofasies Cruziana. Lingkungan yang berhubungan dengan keberadaan ichnofasies ini umumnya terkait dengan dataran pasang surut berpasir dan elemen umum (dengan Skolithos) dalam endapan akresi lateral di saluran muara.



Gambar 4.8 Kenampakan bentuk *Cylindrichnus* (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

4.8 DIPLOCRATERION

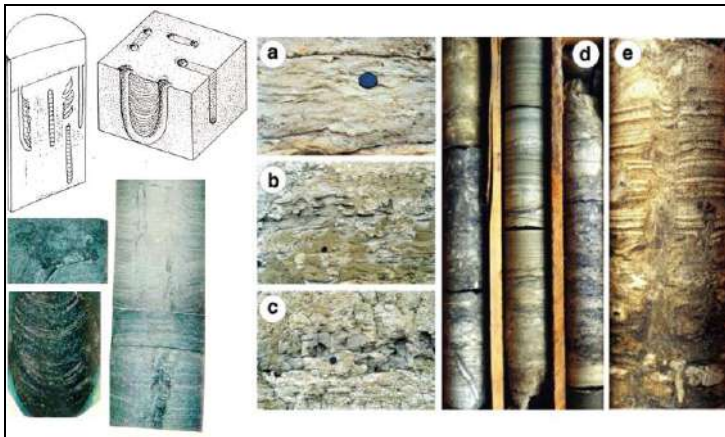
Deskripsi: Liang vertikal berbentuk U. Spreiten mungkin seperti gerigi yang retrusive (<3), protrusive (>9) mm, atau kombinasi keduanya; lubang tabung dapat berbentuk silinder atau corong; anggota badan U mungkin paralel atau divergen. Dalam beberapa kasus mungkin muncul di inti sebagai liang berbentuk (halter/alat angkat beban/

dumbbell) di bagian atas unit; bukaan melingkar berpasangan bergabung dengan pita horizontal sedimen yang berulang.

Interpretasi: Sistematika *Diplocraterion* dan ichnogenera vertikal berbentuk U lainnya diulas oleh Fürsich (1974a). Berdasarkan analisis fitur morfologi, Fürsich menafsirkan *Diplocraterion* sebagai liang tempat tinggal organisme pemakan suspensi. Kemungkinan pencetusnya termasuk polychaetes, echiuroid, dan krustasea (amphipoda).

Lingkungan Pengendapan:

Diplocraterion adalah elemen umum di ujung distal ichnofasies *Skolithos* di lingkungan pantai bagian tengah dan umumnya terdapat di dataran pasang surut berpasir dan endapan muara.



Gambar 4.9 Kenampakan bentuk *Diplocraterion* (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

Ichnofauna dari endapan muka pantai bagian bawah yang terkena dampak badai sedang (energi menengah), menampilkan pola “lam-scrum” yang khas. (a) Zona batupasir berlapis-silang hummocky jarang terbioturbasi hingga non-bioturbasi yang diselingi dengan batupasir terbioturbasi intens. Perhatikan *Diplocraterion* yang menembus ke dalam batupasir). (c) Batupasir yang tergalikan secara intensif dengan zona hummocky yang terawetkan sebagai lensa relik. (d) Bergantian hummocky cross-stratified

dan zona terkubur. (e) Close-up menunjukkan Diplocraterion dalam menembus seluruh batu pasir hummocky ke dalam zona bioturbasi yang mendasarinya.

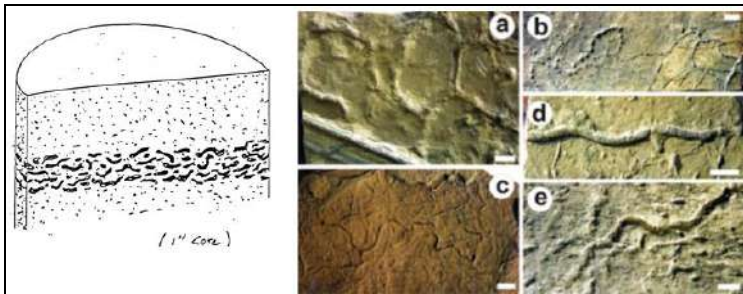
4.9 HELMINTHOPSIS

Deskripsi: Liang berdinding halus berkelok-kelok tidak teratur yang tidak pernah bercabang, saling menembus atau memotong satu sama lain. Pada penampang melintang, liang berbentuk elips hingga sub-lingkaran dan umumnya horizontal. Isi cenderung berbeda dari matriks sekitarnya. Pada intinya, Helminthopsis biasanya muncul sebagai bintik-bintik gelap kecil (bagian melintang) atau garis-garis gelap (bagian memanjang).

Interpretasi: Helminthopsis mewakili jalur penggembalaan organisme mirip cacing.

Lingkungan Pengendapan: Helminthopsis adalah elemen umum dari ichnofasies Cruziana distal dan

ichnofasies Zoophycos proksimal di rak dangkal laut normal. Dalam beberapa kasus, Helminthopsis dapat dikaitkan dengan energi rendah, lingkungan teluk berbutir halus.



Gambar 4.10 Kenampakan bentuk Helminthopsis (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

Jejak fosil yang terawetkan di dasar laut melalui mekanisme arus turbidit lakustrin. Pada umur Jurassic Bawah, di Formasi Anyao, Cekungan Jiyuan-Yima, Tiongkok Tengah. (a) Vagorichnus. (b) Tuberculichnus (c) Paracanthorhappe togwunia. (d) Cochlichnus anguineus. (e) Dua helmintopsis. Buatois dkk. (1996b).

4.10 MACARONICHNUS

Deskripsi: Bentuknya tidak bergaris, berdinding jelas, dominan horizontal, melengkung acak dan berkelok-kelok ke lubang silindris spiral yang jarang menembus, tidak pernah bercabang, dan umumnya memiliki konsentrasi butiran mineral mafik yang tipis; pengisi jauh lebih bersih daripada pasir induk dan tidak berstruktur atau ditimbun kembali secara tidak jelas.

Taksonomi Macaronichnus: Kombinasi karakter pengisi dan struktur dinding (morfologi modular) telah terbukti sangat berharga dalam membangun taksonomi yang berfungsi untuk kelompok ichnofossil yang mencakup lubang silinder horizontal hingga miring (Pemberton dan Frey, 1982; Frey et al., 1984).

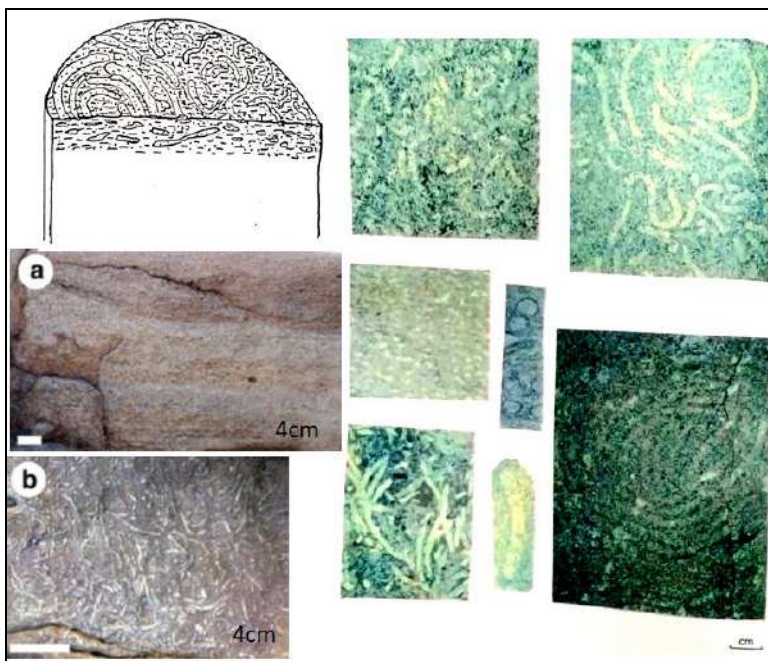
Dalam hal morfologi modular, liang yang saat ini termasuk dalam konsep Macaronichnus paling baik didiagnosis sebagai:

(1) tidak bergaris tetapi berdinding jelas (konsentrasi mantel yang khas dari butiran mafik yang tidak membentuk lapisan liang yang sebenarnya (sensu Pemberton dan Frey, 1982) sebagai disarankan oleh Curran (1985); dan

(2) diisi dengan pasir yang bersih dan kekurangan mafik, baik tidak berstruktur atau meniscate samar. Pertanyaan yang muncul adalah apakah kombinasi dinding pengisi ini unik secara taksonomi. Dengan kata lain, apakah penunjukan dari ichnogenera baru (Macaronichnus) dijamin, atau dapatkah liang seperti itu sebenarnya termasuk ichnospecies baru dari ichnogenus yang sudah ada? (Saunders dan Pemberton, 1986)

Lingkungan Pengendapan:

Swash-zone, Energi Tinggi; Lower Foreshore ke Upper Shoreface.



Gambar 4.11 Kenampakan bentuk Macaronichnus (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

Gambar a dan b. Macaronichnus berhubungan dengan kondisi *upwelling*, Miosen Atas, Formasi Urumaco, Urumaco, barat laut Venezuela. Lihat Quiroz dkk. (2010).

(a) Endapan tepi pantai dengan Macaronichnus segregatis (penampang melintang).

- (b) Tampilan jarak dekat dari spesimen yang menunjukkan cahaya pasir berwarna yang kontras dengan mantel sekitarnya yang berwarna gelap.

4.11 MONOCRATERION

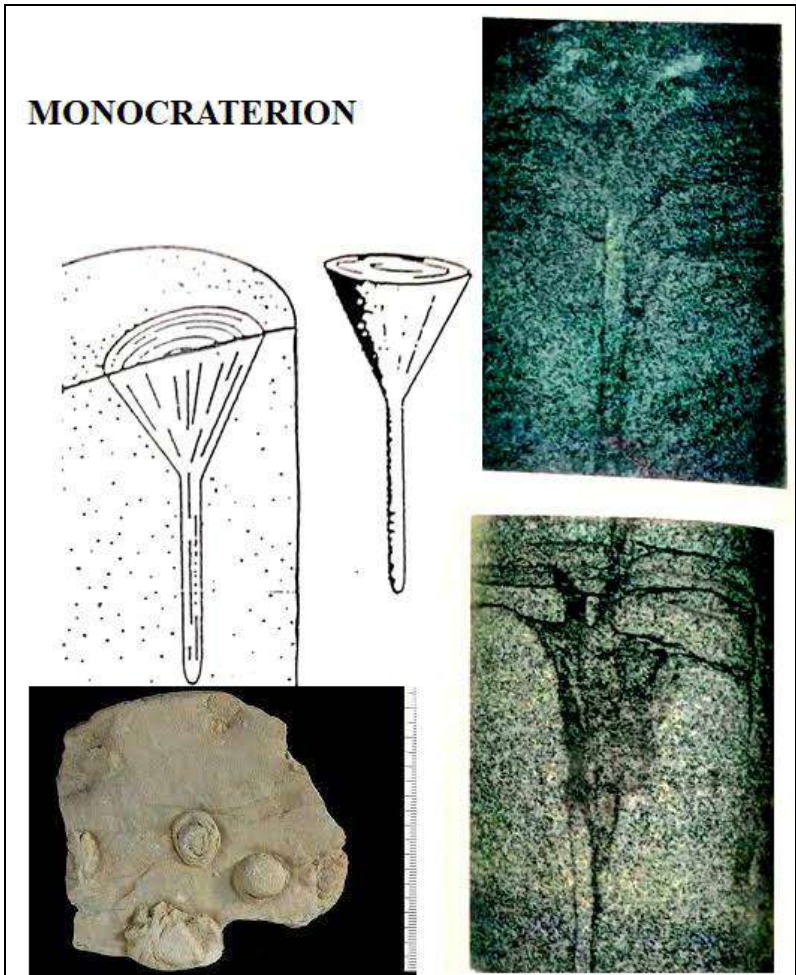
Deskripsi: Lurus atau sedikit melengkung, liang berbentuk kerucut. Di bagian vertikal, sederhana atau terdiri dari kerucut konsentris. Diameter dari panjang 12 mm hingga 20 cm.

Epirelief negatif berbentuk corong dengan kenop terangkat di lantai corong; kenop ini bersambung dengan struktur tubular pendek, vertikal, dan terletak di tengah. Pada dasarnya dengan banyak kecil, horizontal, sedikit melengkung, jarang bercabang, kadang-kadang berjajar, tubular, struktur relief penuh dengan permukaan luar yang halus keluar dari kenop yang ditinggikan (Schlirf & Uchman, 2005)

Interpretasi: Penulis sering menemukan *Monocraterion* dalam hubungannya dengan *Skolithos*. Hal ini menegaskan pandangan Hallam dan Swett (1966) bahwa perbedaan antara liang dan kedua ichnogenera ini bukan karena organisme pembuat jejak yang berbeda tetapi tingkat sedimentasi yang berbeda. *Skolithos* terbentuk pada kondisi sedimentasi yang lambat dan *Monocraterion* terjadi pada kondisi sedimentasi yang relatif cepat.

Lingkungan Pengendapan: Elemen umum dari ichnofasies *Skolithos*, terkait dengan muka pantai berenergi tinggi; juga merupakan elemen umum dari rangkaian air payau.

MONOCRATERION

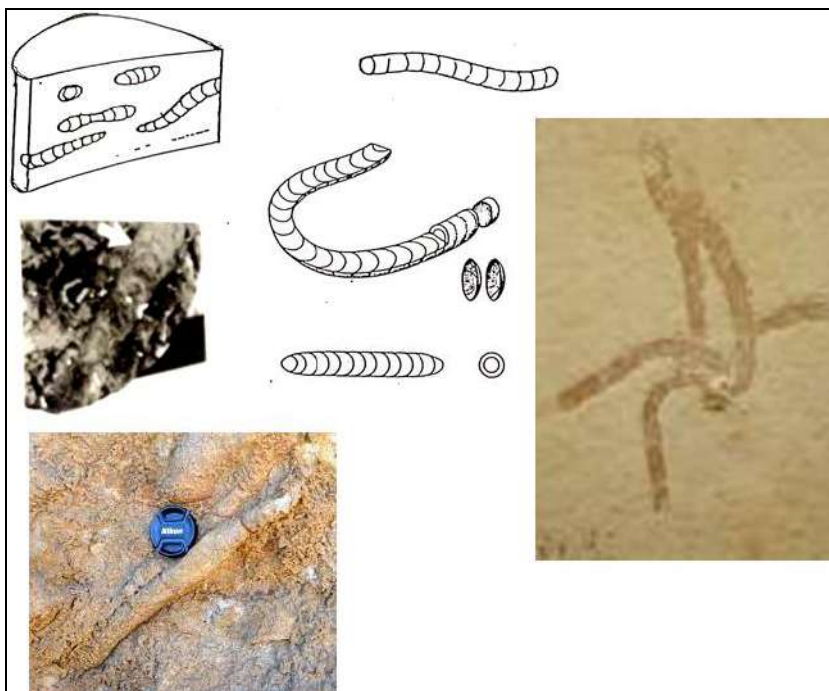


Gambar 4.12 Kenampakan bentuk Monocraterion
(Alan R & P.Johnson, 1975)

4.12 MUENSTERIA

Deskripsi: Liang silindris, horizontal, lurus hingga arkuata, dengan dinding liang yang tidak berjajar dan tidak berornamen. Dimensi variabel dan diameter dapat bervariasi di sepanjang liang. Struktur internal liang terdiri dari segmen-segmen cekung-cembung (*meniscae*), tersusun dari sedimen yang kurang lebih identik dengan matriks. Di inti, Muensteria sangat sulit untuk diidentifikasi dan hanya diamati di tempat-tempat di mana inti dipotong secara horizontal.

Interpretasi: Muensteria diartikan sebagai struktur makan atau mencari makan yang ditimbun kembali. *Meniscae* jelas merupakan kombinasi dari feses dan sedimen yang melewati tubuh tracemaker. Kemungkinan produsen termasuk berbagai polychaeta dan mungkin krustasea. Spesimen yang diamati mungkin sebenarnya mewakili *Thalassinoides* yang terisi secara aktif, namun, tidak ada cabang berbentuk Y yang ditemukan.



Gambar 4.13 Kenampakan bentuk Muensteria
(Alan R & P.Johnson, 1975)

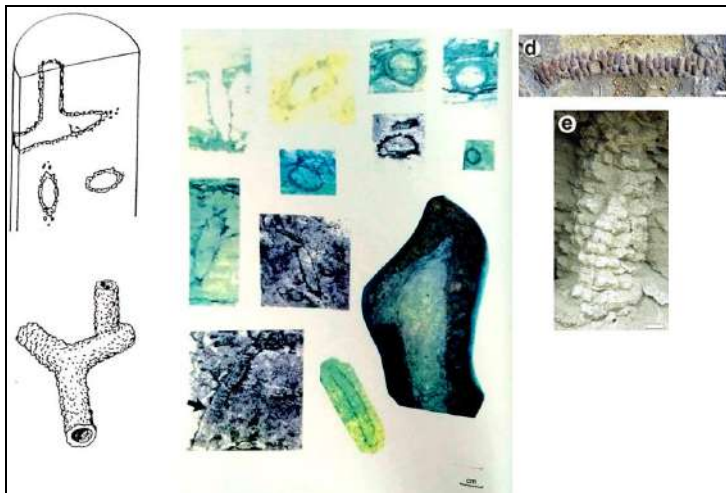
4.13 OPHIOMORPHA

Deskripsi: Sistem liang yang sederhana hingga kompleks yang secara jelas dilapisi dengan endapan peletoid aglutinasi Lapisan liang kurang lebih halus di bagian dalamnya; padat hingga sangat mamalia atau nodose eksterior. Pelet individu atau massa pelet mungkin diskoid, ovoid, kerucut, mastoid, bilobate, atau bentuknya tidak teratur. Karakteristik lapisan dapat bervariasi dalam komposisi yang mirip dengan batuan induk tetapi dalam beberapa kasus dapat diisi secara aktif dengan lamina meniscate. Percabangan tidak teratur dan, jika ada, berbentuk Y; di bifurkasi, liang menjadi bengkak.

Interpretasi: Asal usul dan signifikansi fitur morfologi yang ditunjukkan oleh Ophiomorpha dibahas oleh Frey et al (1978). Berdasarkan terutama pada karakter lapisan pelet liang, mereka mengenali empat ichnospecies: *O. borneensis*, *O. irregulaire*, *O. nodosa*, dan *O.annulata*. Dalam sedimen lepas pantai yang sangat bioturbasi, lapisan dinding tipis dan

kurang berkembang. Ada spesies ichnogenus agak intergradasional dengan *Thalassinoides*. *Ophiomorpha* mewakili liang tempat tinggal krustasea dekapoda, terutama banyak spesies udang thalassinidean.

Lingkungan Pengendapan: Umumnya terkait dengan ichnofacies Skolithos, jumlah yang produktif di lingkungan shoreface laut. Juga ditemukan di air payau, substrat berpasir.



Gambar 4.14 Kenampakan bentuk *Ophiomorpha* (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

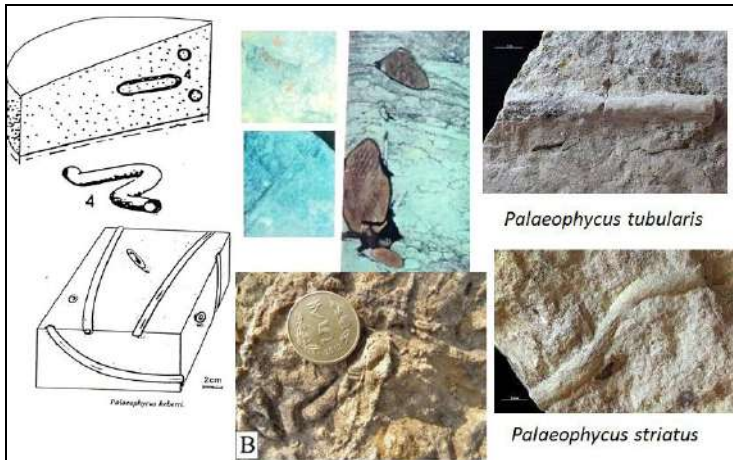
Gambar d) merupakan lapisan konstruksi dengan pellet yang tersusun dalam barisan melintang membentuk cincin atau annulasi yang relatif terus menerus dalam *Ophiomorpha annulate* yang berumur Miosen Atas sampai Pliosen Bawah, di Formasi La Vela, Quebrada el Muaco, La Vela de Coro, barat laut Venezuela. (ukuran 1 cm). (e) Lapisan konstruksi dengan pelet bilobate di *Ophiomorpha borneensis*, umur Miosen Bawah - Miosen Tengah, di Formasi Gaiman, Taman Paleontologi Bryn Gwyn, Provinsi Chubut, Patagonia, selatan Argentina (ukuran 1 cm) (Scasso dan Bellosi, 2004).

4.14 PALAEOPHYCUS

Deskripsi: Jarang bercabang, berjajar jelas, pada dasarnya silindris, sebagian besar horizontal hingga liang miring di mana endapan sedimen biasanya memiliki litologi dan tekstur yang sama dengan lapisan inang. Pelapis dinding mungkin halus atau lurik di luar.

Interpretasi: Palaeophycus dibedakan dari ichnogenus Planolit yang secara morfologis mirip terutama oleh lapisan dinding dan karakter pengisi liang (Pemberton dan Frey, 1982). Isi Palaeophycus mewakili sedimentasi pasif yang diinduksi gravitasi di dalam alis yang terbuka dan berjajar, oleh karena itu tambalan cenderung memiliki komposisi yang sama dengan matriks di sekitarnya. Liang berjajar yang diisi secara pasif biasanya ditafsirkan sebagai struktur tempat tinggal. Polychaete gliserid predator, Glycera, telah diambil sebagai analog modern yang sangat baik untuk organisme Palaeophycus

Lingkungan: Terkait dengan ichnofacies Skolithos di lingkungan berenergi tinggi dan berenergi rendah. Umumnya ditemukan dengan Planolit atau Macaronichnus; juga dapat ditemukan di pasir badai episodik dan kumpulan air payau.



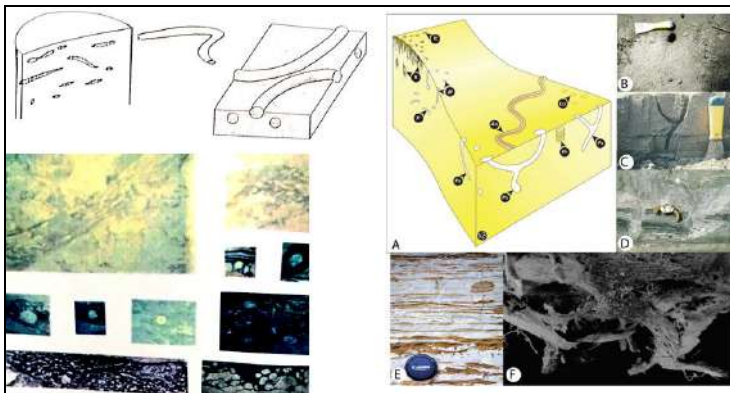
Gambar 4.15 Kenampakan bentuk Palaeophycus (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

4.15 PLANOLITES

Deskripsi: Tidak bergaris, jarang bercabang, lurus hingga berliku-liku, berdinding halus hingga tidak beraturan atau liang melingkar, penampang melintang hingga elips, dengan dimensi dan konfigurasi yang bervariasi, isian pada dasarnya tidak berstruktur, berbeda dalam litologi dari batuan induk.

Interpretasi: Planolit dibedakan dari Palaeophycus terutama dengan memiliki dinding yang tidak bergaris dan isi liang yang berbeda teksturnya dari batuan yang berdekatan; isian mungkin berbeda dalam kain, komposisi, dan warna juga. Fills Planolit merupakan sedimen yang diproses oleh tracemaker, terutama melalui aktivitas deposit-feeding dari mobile endobients.

Lingkungan Pengendapan: Ditemukan di hampir semua lingkungan dari air tawar hingga laut dalam.



Gambar 4.16 Kenampakan bentuk Planolites (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

(A) Diagram Psilonichnus Ichnofacies yang berkembang di lingkungan pantai, Jejak termasuk Aulichnites (Au), Lockeia (Lo), Macanopsis (M), Planolit (P), Protovirgularia (Pr), Psilonichnus (Ps), dan rhizolith (R). (B) Pembukaan Ocypoda quadrata modern di pantai belakang (panah). (C) Psilonichnus berbentuk Y (Ps) keping. (D) Ocypoda quadrata dan liang (panah) (E) Foto singkapan Psilonichnus (Ps), (F) Cetakan resin dari liang (panah tidak berlabel) Hemigrapsus oregonensis (keping pantai) dari zona intertidal tengah.

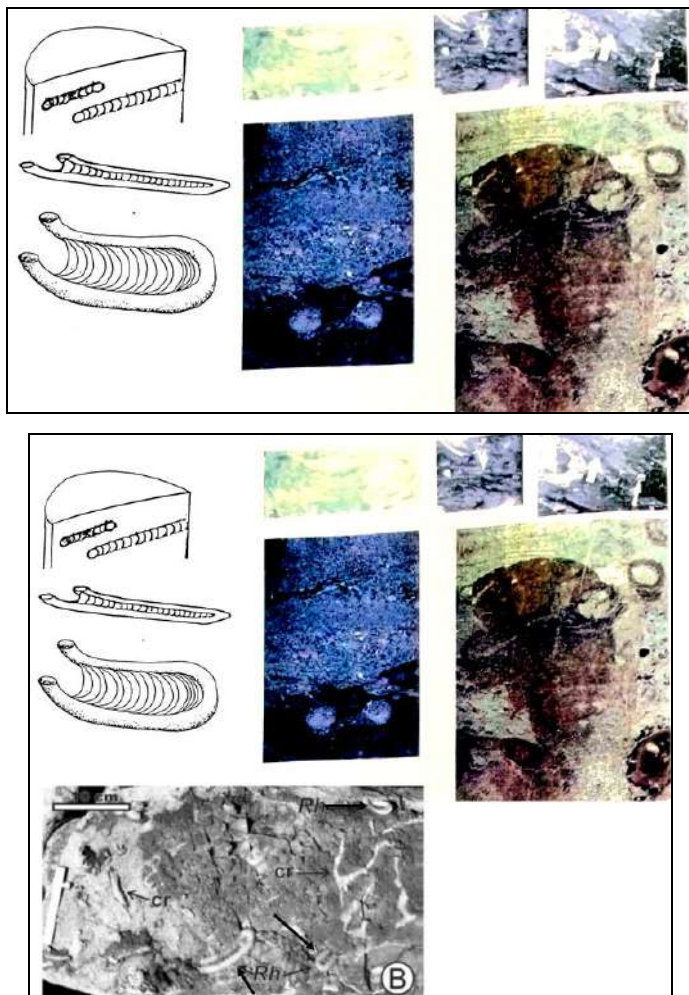
4.16 RHIZOCORALLIUM

Deskripsi: Lurus hingga berliku-liku, horizontal, speiten-liang berbentuk U. Tabung umumnya berbeda dan kurang lebih paralel; rasio diameter tabung : diameter spreite 1:5. Spreite biasanya menonjol. Infill liang umumnya identik dengan matriks, tetapi dalam beberapa kasus berbutir lebih halus. Pada intinya, Rhizocorallium dibedakan oleh dua lubang melingkar (lengan tabung) yang

disatukan oleh pita horizontal (spreite). Diawetkan terutama sebagai endichnia.

Interpretasi: Fürsich (1974b) membahas sistematika, morfologi, dan etologi *Rhizocorallium*. Berdasarkan fitur utama dan aksesoris, ia membagi *Rhizocorallium* menjadi tiga ichnospecies: *R. jense*, mewakili liang spreiten yang kurang lebih lurus, pendek, dan umumnya miring yang ditafsirkan sebagai domichnia pengumpan suspensi; *R. irregulaire*, mewakili bentuk panjang, berliku-liku, bercabang dan planispiral; dan *R. uliarense*, mewakili liang trochospiral spreiten. Dua yang terakhir ditafsirkan sebagai fodinichnia pengumpan deposit. Meskipun awalnya ditafsirkan sebagai karang, spons, atau alga, adanya tanda gores yang berbeda pada dinding tabung konsisten dengan asal krustasea.

Lingkungan: Umumnya terkait dengan lingkungan laut sepenuhnya dari ichnofacies *Cruziana* distal.



Gambar 4.17 Kenampakan bentuk Rhizocorallium
(Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley,
2012)

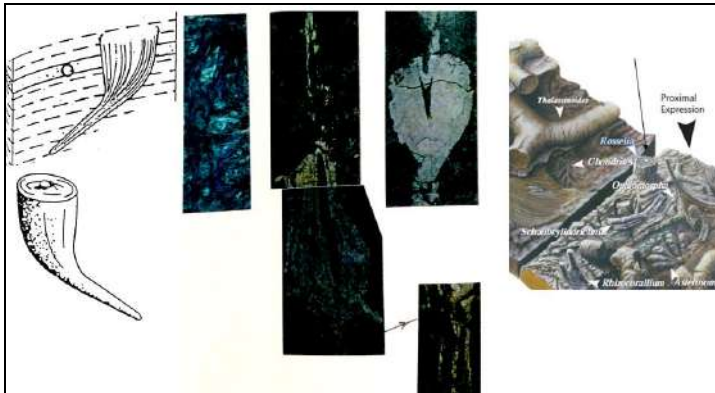
4.17 ROSSELIA

Deskripsi: Lubang silinder, vertikal hingga miring, lurus atau melengkung lembut; pembukaan diperluas ke bentuk corong; corong diisi dengan sedimen berbutir halus di lapisan konsentris yang kurang berkembang. Pada penampang melintang, corong berbentuk lingkaran hingga sub lingkaran dan mencapai diameter terbesar pada permukaan alas. Tabung pusat silinder menampilkan lapisan konsentris, umumnya melengkung lembut, dan dalam beberapa kasus menembus corong.

Interpretasi: Batang basal Rosselia biasanya identik dalam konstruksi dengan *Cylindrichnus*. Chamberlain (1971) dan lain-lain telah mencatat kesamaan fabrikasi antara *Asterosoma* dan *Rosselia*, dan Frey dan Howard (1982) melaporkan intergradasi sesekali tetapi lengkap di antara spesimen individual mengacu pada *Skolithos*, *Cylindrichnus*, *Rosselia*, dan *Asterosoma*. Dua ichnospecies rosselia saat ini dikenal: *R. socialis* dan *R. rotatus*, pemisahan

ichnospecies didasarkan pada sifat pengisian bukaan yang diperluas. *Rosselia* diartikan sebagai liang makan polychaete.

Lingkungan: Umumnya terkait dengan ichnofacies *Cruziana* proksimal dalam pengaturan laut sepenuhnya. Bila ditemukan sendiri atau dengan *Asterosoma* merupakan indikator yang baik dari bagian atas muka pantai bagian bawah.



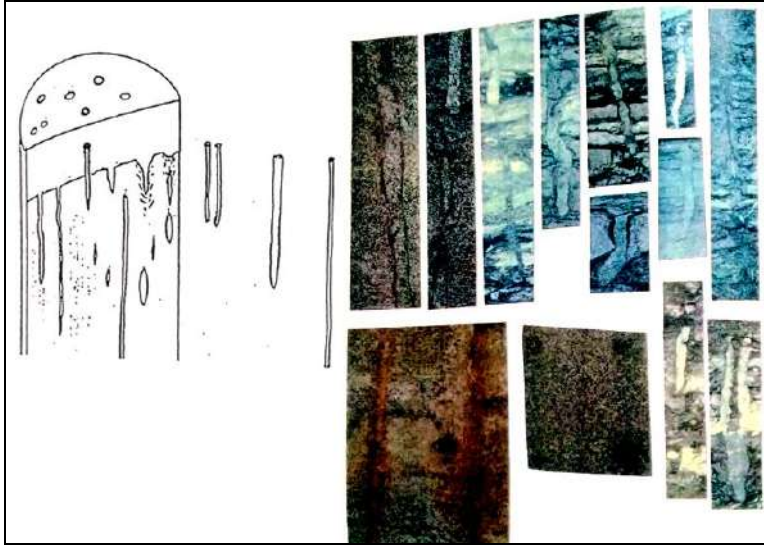
Gambar 4.18 Kenampakan bentuk *Rosselia* (Alan R & P.Johnson, 1975 and Knaust & Bromley, 2012)

4.18 SKOLITHOS

Deskripsi: Silinder hingga subsilindris, lurus hingga melengkung, liang berdinding jelas; vertikal ke subvertikal, tidak bercabang dan tidak saling bersilangan atau saling menembus. Dinding umumnya mulus, tetapi mungkin berkerut; pengisi biasanya tanpa struktur.

Interpretasi: Secara etologis, Skolithos mewakili liang tempat tinggal organisme pemakan suspensi. Banyak kemungkinan pencetus telah didalilkan, termasuk: polychaetes Sabellaria, Arenicola dan Onuphis dan phoronid Phoronopsis.

Lingkungan: Spesimen berjajar umumnya terkait dengan lingkungan salin. Unsur umum dari ichnofacies Skolithos dan juga ditemukan di lingkungan air payau.



Gambar 4.19 Kenampakan bentuk Skolithos
(Alan R & P.Johnson, 1975)

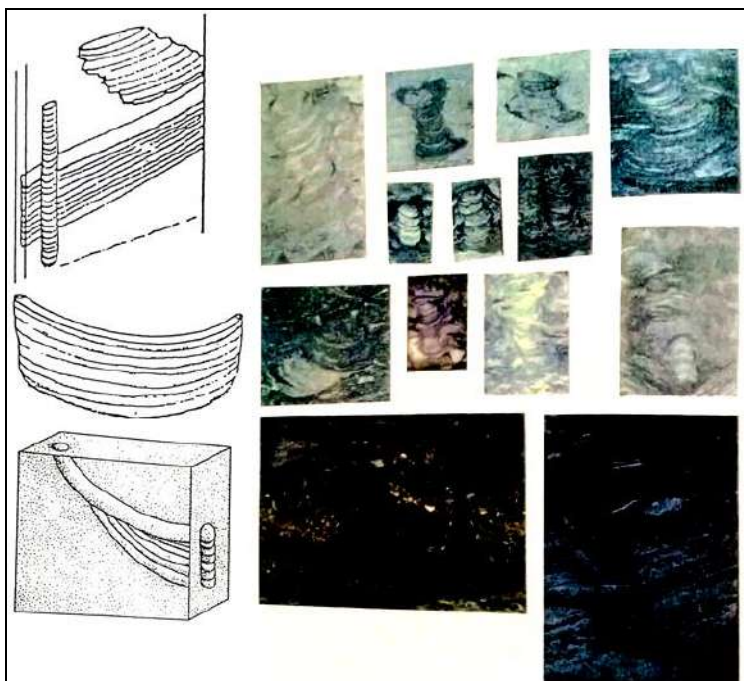
4.19 TEICHICHNUS

Deskripsi: Teichichnus muncul di bagian inti terbelah sebagai rangkaian vertikal dari lamina cekung ke atas atau (lebih jarang) cekung ke bawah, dan crescentric. Ini dibentuk oleh migrasi ke atas dari terowongan horizontal ke subhorizontal yang dihasilkan oleh organisme yang bergerak maju

mundur dalam bidang vertikal yang sama yang menyelidiki sedimen untuk mencari makanan.

Interpretasi: Teichichnus - hewan penghasil tampaknya merupakan organisme seperti cacing yang memberi makan deposit yang bermigrasi ke atas di liangnya untuk mengimbangi sedimentasi.

Lingkungan: Umumnya ditemukan di permukaan pantai yang lebih rendah hingga lingkungan lepas pantai. Prevalensi di fasies laguna/teluk yang bercirikan air payau. Tidak pernah berhubungan dengan air tawar.



Gambar 4.20 Kenampakan bentuk Teichichnus
(Alan R & P.Johnson, 1975)

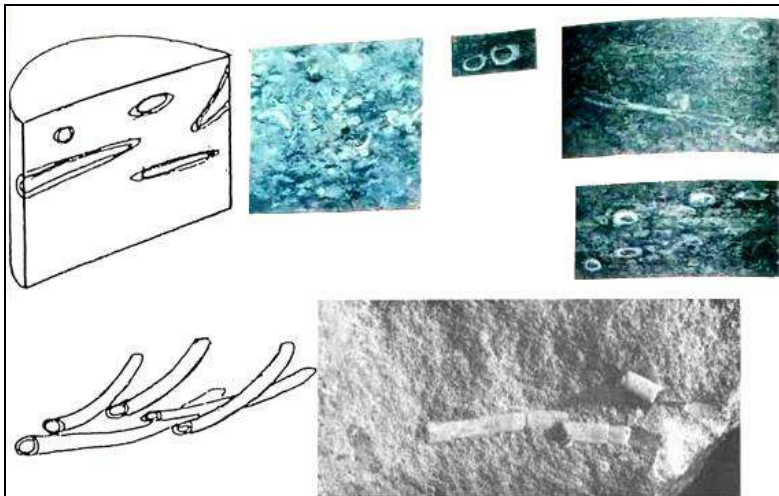
4.20 TEREPELLINA

Deskripsi: Subsilindris, vertikal, liang melengkung lembut hingga kuat dengan penampang melingkar hingga elips. Diameter sangat bervariasi dan tabung secara bertahap meruncing ke distal. Lapisannya sangat berbeda, ketebalannya berkisar dari 1,5

hingga 5 mm, terdiri dari kalsium karbonat atau butiran pasir, dan lebih tahan terhadap pelapukan daripada matriks di sekitarnya atau pengisi liang. Bahan pengisi liang memiliki komposisi yang mirip dengan batuan induk. Pada inti, spesimen umumnya tampak horizontal karena kelengkungan tabung.

Interpretasi: *Terebellina* awalnya ditafsirkan sebagai fosil tubuh polychaete; namun, karena itu adalah tabung yang dibangun oleh organisme, itu harus dianggap sebagai ichnofossil. Berdasarkan karakteristik morfologinya, *Terebellina* dapat diartikan sebagai liang tempat tinggal polychaete pemakan suspensi. Sebuah ichnospecies valid tunggal, *T. palachei*, diketahui.

Lingkungan: Umumnya ditemukan di ichnofacies *Cruziana* distal di lepas pantai, lingkungan laut. Adaptasi khusus untuk membangun tabung terbuka di substrat berlempung. Juga ditemukan di lingkungan teluk air payau berbutir halus.



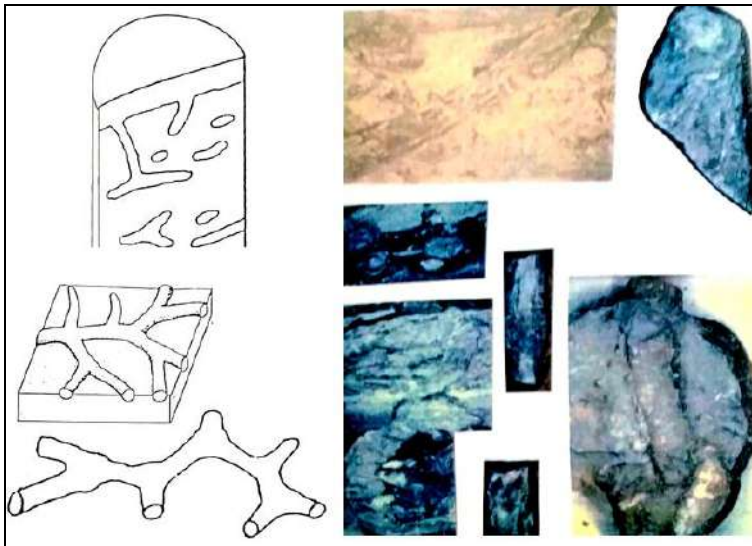
Gambar 4.21 Kenampakan bentuk Terebellina
(Alan R & P.Johnson, 1975)

4.21 THALASSINOIDES

Deskripsi: Sistem liang yang relatif besar terdiri dari komponen berdinding halus, pada dasarnya silinder. Cabang berbentuk Y sampai T dan diperbesar pada titik bifurkasi. Dimensi liang dapat bervariasi dalam sistem tertentu. Beberapa sistem pada dasarnya horizontal dan lainnya cenderung tidak teratur.

Interpretasi: Sistem liang yang sangat tipis hingga dasarnya tidak bergaris adalah karakteristik substrat koheren berbutir halus, di mana penguatan dinding tidak diperlukan. Isi liang tanpa struktur hingga laminasi paralel atau bergradasi menunjukkan sedimentasi pasif (diinduksi gravitasi), sedangkan sedimen meniscate atau laminasi chevron mewakili penimbunan aktif oleh tracemaker. *Thalassinoides* umumnya dianggap sebagai tempat tinggal dan/atau liang makan dari krustasea dekapoda.

Lingkungan: Terkait dengan ichnofacies *Cruziana* di permukaan pantai yang lebih rendah ke lingkungan lepas pantai. Juga ditemukan di keanekaragaman rendah, suite air payau.



Gambar 4.22 Kenampakan bentuk Thalassinoides
(Alan R & P. Johnson, 1975)

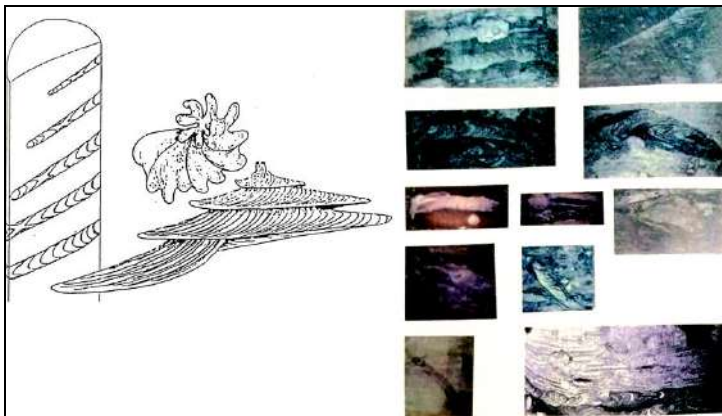
4.22 ZOOPHYCOS

Deskripsi: Zoophycos pada dasarnya adalah spreite seperti lembaran melingkar hingga lobate, baik datar, melengkung, miring atau luka dengan cara sekrup di sekitar sumbu vertikal tengah. Spreite adalah jaring horizontal atau subhorizontal dari terowongan liang paralel yang berdekatan. Setiap terowongan dalam sistem liang mungkin mewakili jalur peralatan

makannya selama pemeriksaan sedimen tunggal. Probing berturut-turut berdampingan di bidang yang sama menghasilkan spreite horizontal.

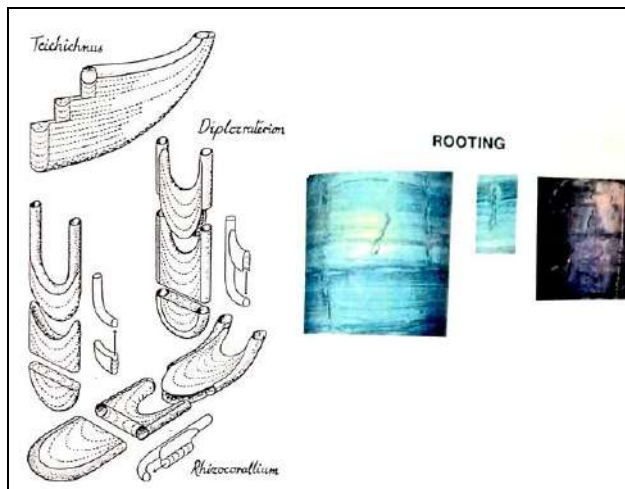
Interpretasi: Ekdale (1977) menafsirkan Zoophycos sebagai struktur makan (atau merumput) yang dihasilkan oleh organisme berbentuk cacing dengan tubuh yang dapat ditarik sepenuhnya (seperti dalam filum Sipunculida). Interpretasi lain menunjukkan bahwa tracemaker adalah annelid.

Lingkungan: Terkait dengan ichnofacies Cruziana dan Zoophycos distal di lingkungan rak lepas pantai sepenuhnya laut.



Gambar 4.23 Kenampakan bentuk Zoophycos
(Alan R & P.Johnson, 1975)

4.23 ROOTING



Gambar 4.24 Kenampakan bentuk Rooting
(Alan R & P. Johnson, 1975)

DAFTAR PUSTAKA

- Farrow, G. E. 1966. Bathymetric zonation of Jurassic trace fossils from the coast of Yorkshire, England. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2:103-151
- Fisher, AG., Lalicher, CG., Moor, RC., 1952, *Invertebrate Fossils*, Mc. Graw Hill Book Co, London
- Jdale A.A, R. G. Bromley, A.S.G. Pemberton, 1984. *Ichnology: The Use of Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma
- Knaust D. and Bromley R, 2012. *Trace fossils as Indicators of sedimentary Environment, Developments in Sedimentology*, vol. 64. 924pp. Elsevier
- Moore, D. G. and Scruton, P. C (1957) Minor internal structures of some recent unconsolidated

sediments. American Association of Petroleum Geologist, Bullentin, 41, 2723 – 51.

Robert W. Frey, 1975. *The Study of Trace Fossils : A Synthesis of Principles, Problems and Procedures in Ichnology*. Geologisches-Palaontologisches Institut der Universitat Tiibingen Tiibingen, West Germany

Seilacher, A., 1967, Bathymetry of trace fossils, Marine Geology, 5(5-6): 413-428, doi: 10.1016/0025-3227(67)90051-5.

Skinner, B.J., 1981, "Paleontology and Paleoenvironments", William Kaufman Inc, Los Altos, California

William Miller III., 2007, *Trace Fossils Concepts, Problems, Prospects*, Geology Department Humboldt State University Arcata, Ca, Usa Amsterdam Boston Heidelberg London New York Oxford Paris San Diego San Francisco Singapore Sydney Tokyo, Elsevier, 611p

<http://paleontologigeo2010.blogspot.com/2011/10/ichno-fosil-dan-terrace-fosil.html>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S163106831930003X>

ISBN 978-623-389-137-0



9

786233

891370