

Sedimentologi dan Sekitaran Pengendapan Kumpulan Setul, Pulau Langgun (Sedimentology and Depositional Environment of Setul Group, Pulau Langgun)

NURUL AFIFAH MOHD RADZIR^{1,2,*}, MOHAMMAD EZANIE ABU SAMAH^{2,3}, AZRIN AZMI^{1,2}, CHE AZIZ ALI² & KAMAL ROSLAN MOHAMED²

¹*Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

²*Kumpulan Penyelidikan Lembangan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

³*Kementerian Sumber Asli dan Kelestarian Alam, Blok FII, Kompleks F Lebuh Perdana Timur, Presint 1, 62000 Putrajaya, Malaysia*

Diserahkan: 20 Jun 2024/Diterima: 5 September 2024

ABSTRAK

Kajian sedimentologi batuan Kumpulan Setul di Pulau Langgun, telah dijalankan dengan objektif utama untuk mengenal pasti perbezaan litologi serta sekitaran pengendapannya. Aspek sedimentologi batuan Kumpulan Setul telah diperincikan berdasarkan perbezaan cirian lapangan serta perkaitannya dengan log sedimen. Hasil kajian yang diperoleh menunjukkan batuan Kumpulan Setul yang terdapat di Pulau Langgun dibahagikan kepada lima fasies utama, iaitu fasies trombolit (Ft), fasies stromatolit (Fs), fasies selang lapis batu lodak dan batu lumpur (Fblo-Fblu), fasies batu kapur masif (Fbk) dan fasies batu kapur merah (Fbkm). Sementara itu, berdasarkan perbezaan sekutuan fasies, Kumpulan Setul di sekitar Pulau Langgun diasingkan kepada dua iaitu Sekutuan Fasies 1 (SF1) dan Sekutuan Fasies 2 (SF2). Kedua-dua sekutuan fasies ini menunjukkan terdapat tindakan hidrodinamik daripada pengaruh pasang surut dan melibatkan perubahan paras air laut global berlaku di kawasan sekitaran zon dasar bergelombang ribut dan lebih khususnya adalah di kawasan cerun di zon sub-pasang surut (sub-pasang surut bahagian atas).

Kata kunci: Pengaruh hidrodinamik; Pulau Langgun; sub-pasang surut; zon dasar gelombang ribut

ABSTRACT

A sedimentological study of the Setul Group of Pulau Langgun was carried out to identify the lithological characteristics and the depositional environment. The sedimentological aspects of the Setul Group outcrops have been detailed based on the outcrops' characteristics as well as their relationship with the sedimentary log. The results of the study show that the outcrops of the Setul Group found on Pulau Langgun are divided into five main facies, namely thrombolite facies (Ft), stromatolite facies (Fs), interbedded siltstone and mudstone facies (Fblo-Fblu), massive limestone facies (Fbk) and red limestone facies (Fbkm). Meanwhile, based on the facies associations, the Setul Group around Pulau Langgun is separated into Facies Association 1 (SF1) and Facies Association 2 (SF2). Both of these facies' associations show that there is a hydrodynamic action of tidal influence and involves global sea level changes occurring in the surrounding area of the storm-wave-based zone, specifically in the slope area in the sub-tidal zone (upper part of sub-tidal zone).

Keywords: Hydrodynamic affect; Pulau Langgun; storm-wave base zone; sub-tidal

PENGENALAN

Stratigrafi Batu Kapur Setul pasti melalui usia dan litologi yang tersingkap pada Banjaran Sempadan Setul dan penemuan fasies gersik (Jones 1961) yang terendap bersama batu kapur kapur di dalam jujukan lengkap Batu kapur Setul. Penamaan lain yang diberikan adalah Batu Kapur Kaki Bukit dan Syal Langgun oleh Burton (1974) yang merujuk kepada unit sedimen Ahli Setul Atas dan Ahli Gersik Atas. Gobbet (1972) pula menamakan jujukan peralihan antara Formasi Setul dan Formasi

Singa sebagai Lapisan Rebanggun. Unit ini turut dikenali sebagai Lapisan Merah Langgun serta Lapisan Merah Wang Kelian sebagai sambungan lapisan merah yang dijumpai di Perlis (Lee & Azhar 1991). Penamaan bagi unit Lapisan Rebanggun telah dibahas oleh Ahmad (1973) dan Yancey (1975) yang mempersoalkan mengenai kehadiran ketakselarasan antara Ahli Gersik Atas dan Lapisan Rebanggun. Ini kerana kewujudan ketakselarasan antara kedua-dua unit perlu digabung dan ditandakan sebagai unit sedimen Devon.

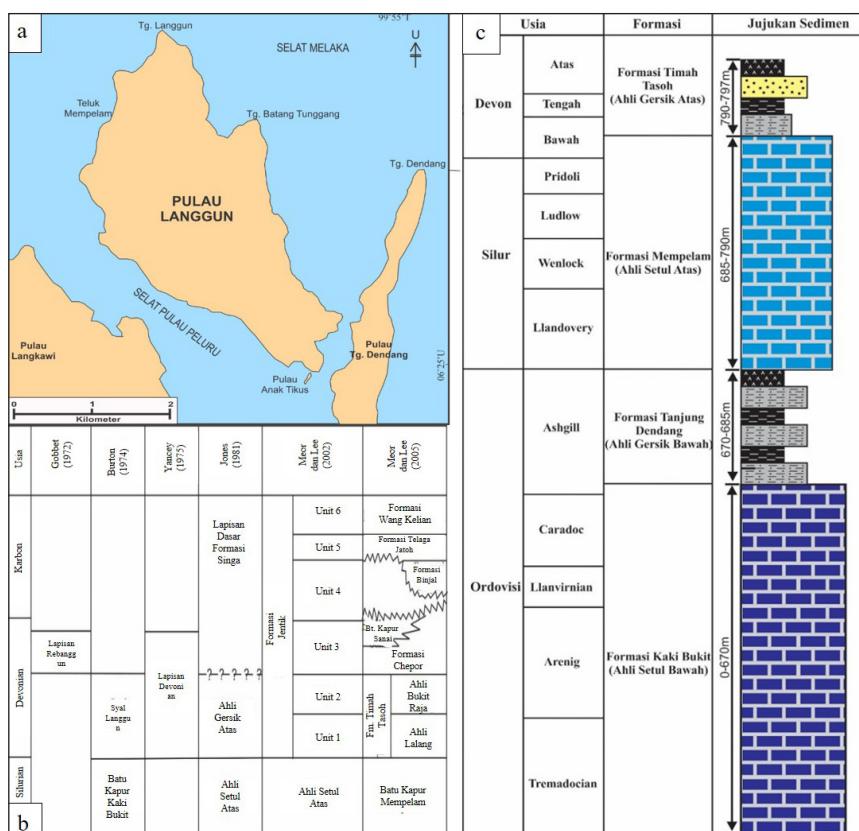
Di bahagian Perlis, Meor Hakif dan Lee (2002) telah membahagikan jujukan peralihan Batu Kapur dan Formasi Kubang Pasu kepada enam unit stratigrafi di bawah Formasi Jentik. Hanya Unit 1 dan Unit 2 (Ahli Gersik Atas) sahaja yang ditafsirkan mempunyai hubung kait dengan Batu Kapur Setul. Jujukan ini disemak semula dan diberikan penarasaran sebagai formasi Timah Tasoh, Formasi Chepor, Formasi Binjal, Batu Kapur Sanai, Formasi Telaga Jatoh dan Formasi Wang Kelian (Meor Hakif & Lee 2005).

Kemudian, jujukan stratigrafi Paleozoik Bawah dan Tengah di bahagian barat laut Semenanjung Malaysia dan selatan Thailand telah disemak semula oleh Cocks, Fortey dan Lee (2005). Semakan ini membawa kepada penamaan baru dan penaiktarafan jujukan Batu Kapur Setul kepada Kumpulan Setul dan ahli di bawahnya dinaiktaraf kepada Formasi Kaki Bukit, Formasi Tg. Dendang, Batu Kapur Mempelam dan Formasi Timah Tasoh. Jujukan stratigrafi ini diringkaskan dalam Rajah 1(b), manakala lakaran jujukan batuan ditunjukkan dalam Rajah 1(c).

KAWASAN KAJIAN

Kawasan kajian Pulau Langgun dibahagikan kepada dua berdasarkan kedudukannya, iaitu Pulau Langgun Selatan dan Pulau Langgun Utara. Pulau Langgun selatan (Rajah 1) terletak pada kedudukan latitud $6^{\circ}24.906'$ hingga $6^{\circ}25.503'$ dan longitud $99^{\circ} 53.254'$ hingga $99^{\circ} 54.330'$. Singkapan batuan di bahagian selatan terdiri daripada singkapan tebing laut yang mengelilingi pulau dan mengalami pecahan disebabkan pengaruh besar tektonik. Di bahagian selatan, lima singkapan batuan telah dicerap dan ditandakan dengan PL1, PL2, PL3, PL4 dan PL5.

Manakala, Pulau Langgun bahagian utara (turut dikenali sebagai Teluk Mempelam) (Rajah 1(a)) pula terletak pada kedudukan latitud $6^{\circ} 26.550'$ hingga $6^{\circ} 26.715'$ dan longitud $99^{\circ} 52.920'$ hingga $99^{\circ} 53.020'$. Singkapan batuan di kawasan utara ini merupakan singkapan batuan tebing laut dan pesisir pantai. Sebanyak enam (6) lokaliti singkapan dicerap di bahagian utara dan ditandakan sebagai TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 dan TM6.



RAJAH 1. a) Peta kawasan kajian Pulau Langgun, b). Kedudukan stratigrafi jujukan peralihan antara Batu Kapur Setul dan Formasi Kubang Pasu. Sempadan ketakselarasan antara Formasi Singa/Formasi Kubang Pasu telah diiktiraf sebagai penambahan unit sedimen baharu (diubah suai daripada Meor Hakif dan Lee 2005, 2002), c). Lakaran jujukan batuan yang merujuk kepada keseluruhan jujukan batuan Kumpulan Setul (Cocks, Fortey & Lee 2005)

KAEDAH KAJIAN

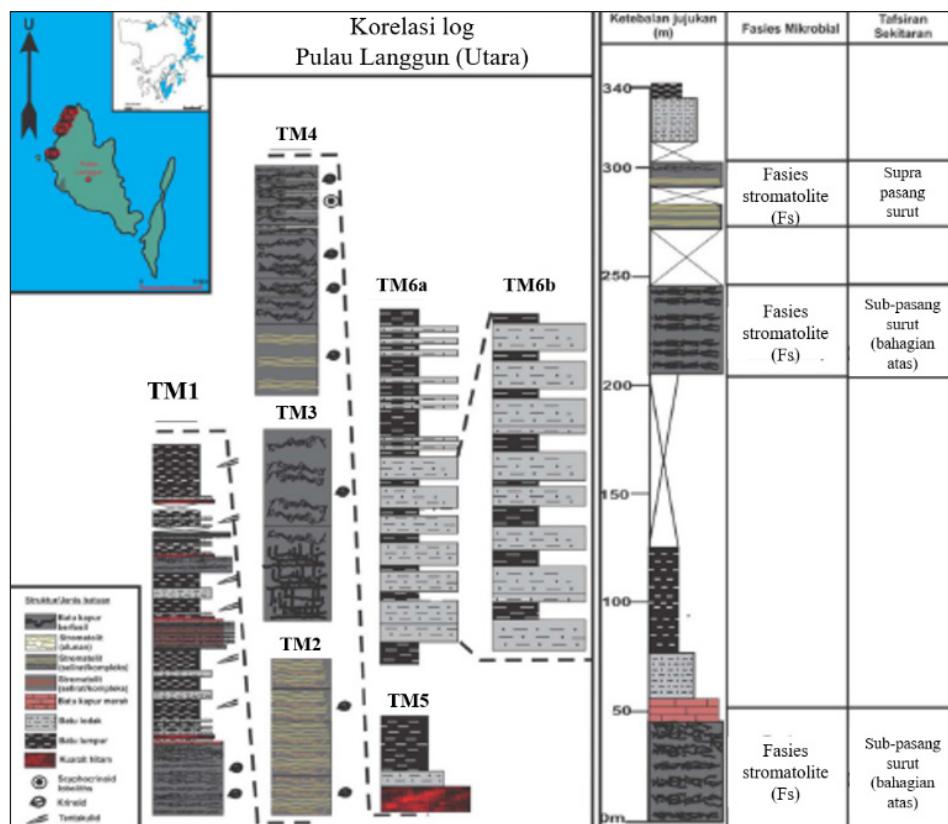
Kajian dilakukan di kawasan Pulau Langgun bermula dari bahagian selatan sehingga ke bahagian Pulau Langgun utara. Penelitian terperinci di lapangan telah dilakukan di sebelas (11) lokaliti yang terletak di kawasan Pulau Langgun utara dan selatan (Rajah 1). Pemerhatian semasa di lapangan tertumpu kepada cirian sedimentologi termasuk aspek struktur sedimen, perbezaan struktur mikrob dan kehadiran fosil. Data daripada cerapan lapangan telah dimanfaatkan untuk mengenal pasti perbezaan litofasies sedimen serta unit batuan dalam jujukan batuan di kawasan kajian.

CERAPAN LAPANGAN

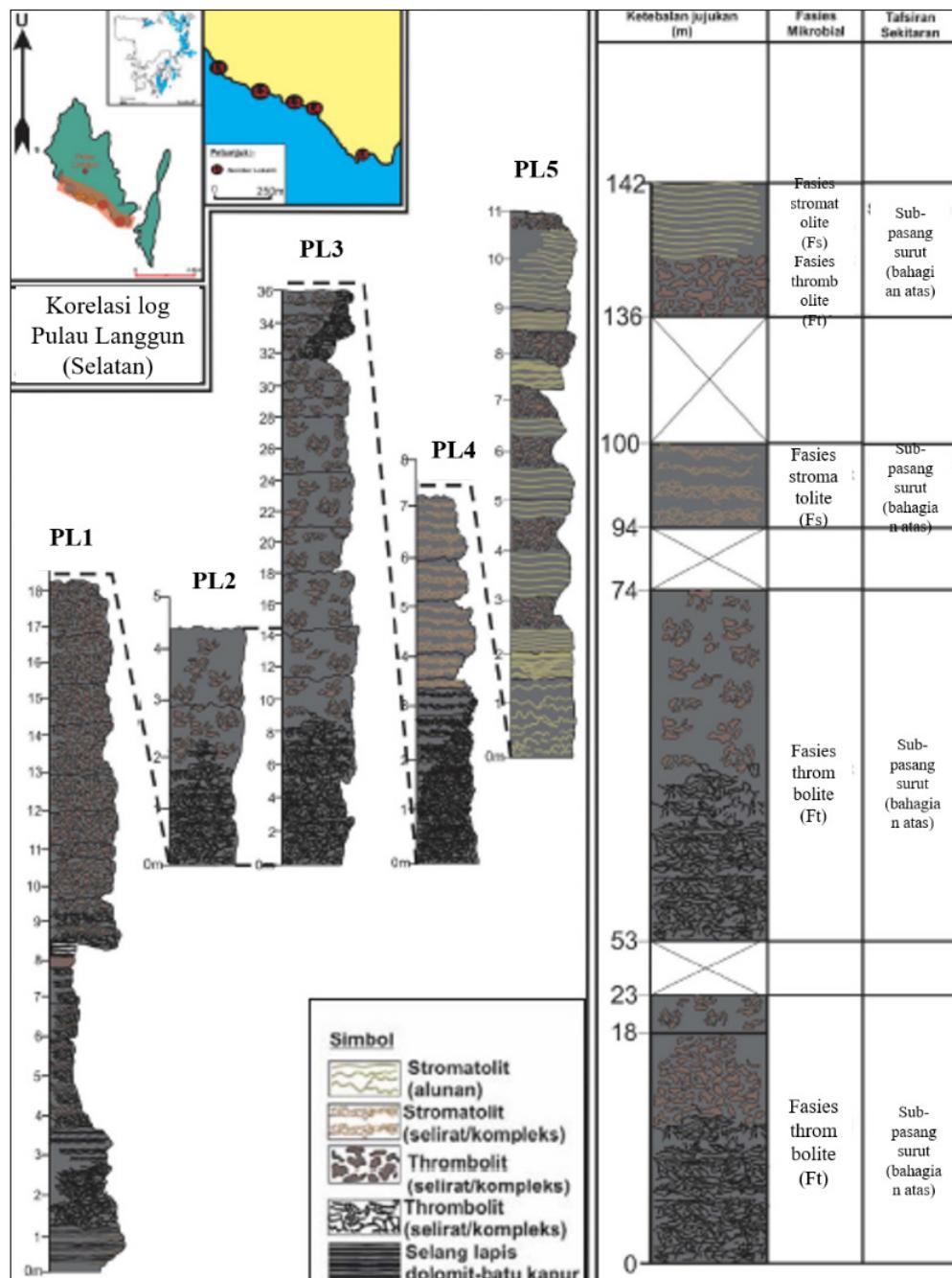
Bahagian Pulau Langgun utara terdiri daripada singkapan tebing laut dan pesisir pantai. Enam lokaliti cerapan utama di bahagian ini ditandakan sebagai lokaliti TM1 hingga TM6 (Rajah 2). Pola taburan batuan di sini berkedudukan semakin memuda ke arah utara Pulau Langgun. Anggaran

keluasan taburan singkapan menjangkau sehingga 3 km panjang dan singkapan batuan di bahagian utara ini tidak terbentuk secara bersambungan antara satu sama lain disebabkan oleh kehadiran sesar tektonik (Rajah 4). Unit batuan yang tersingkap di kawasan ini dikenal pasti sebagai jujukan stratotip iaitu singkapan batuan yang menampilkan sempadan unit sedimen (litostratgrafi) berbeza. Antaranya unit karbonat Formasi Kaki Bukit, unit klastik Formasi Tg. Dendang, unit karbonat Formasi Mempelam dan unit klastik Formasi Timah Tasoh.

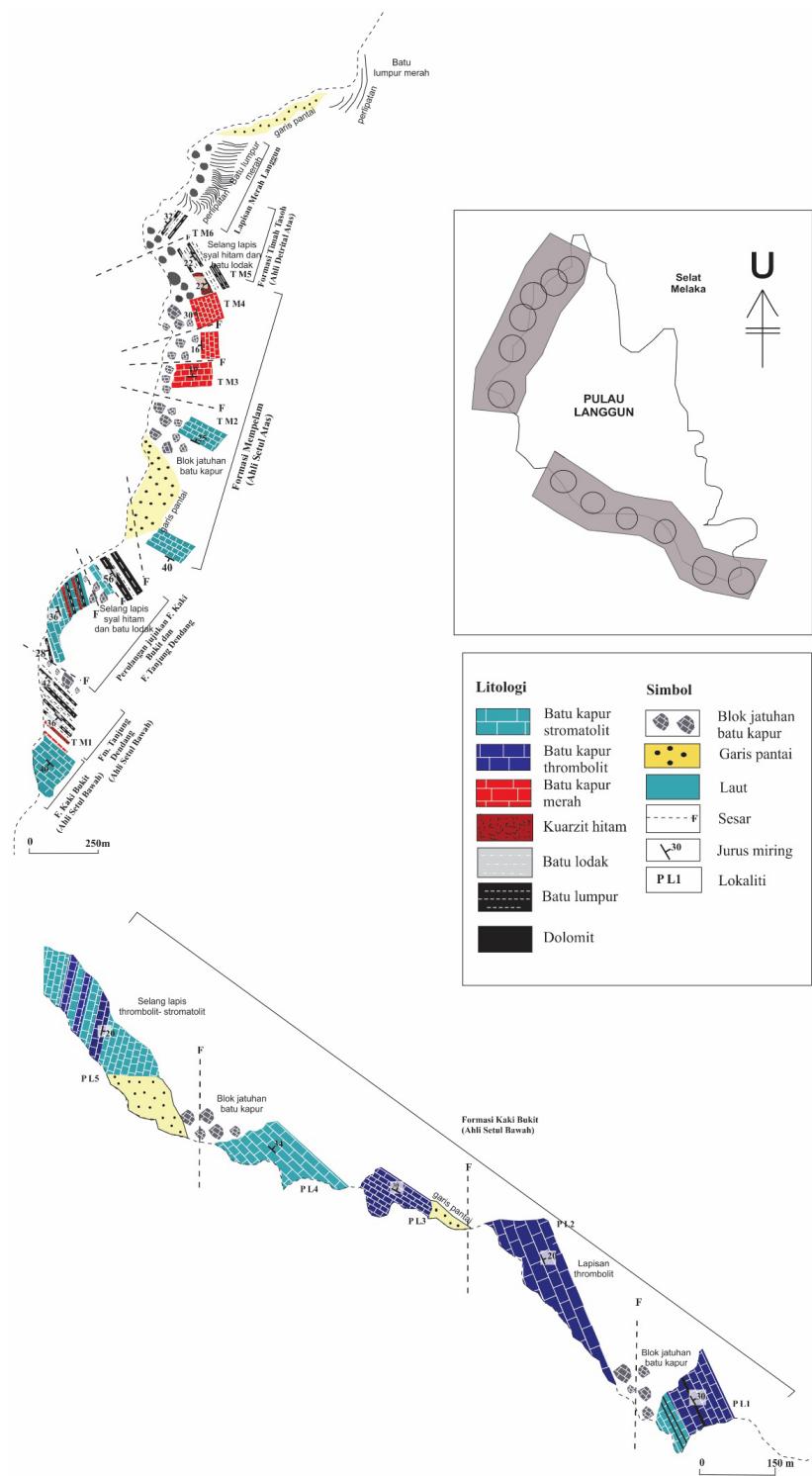
Manakala, bahagian selatan Pulau Langgun pula terdiri daripada singkapan batuan tebing laut yang mengelilingi pulau (Rajah 3). Singkapan ini telah mengalami pecahan dan membentuk blok-blok disebabkan pengaruh sesar tektonik. Sebahagian singkapan masih mengelarkan bentuk perlapisan batuan seragam yang dicirikan oleh pengendapan unit batu kapur. Hasil pemetaan menunjukkan taburan singkapan batuan dianggarkan melebihi 1 km (Rajah 4). Sebanyak lima singkapan batuan telah ditanda sebagai kawasan kajian iaitu bermula dari PL1 yang



RAJAH 2. Log sediment dan korelasi log bagu kawasan Pulau Langgun utara, mewakili lokaliti TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM6a dan TM6b. Lokaliti di kawasan utara Pulau Langgun didominasi oleh fasies stromatolit dan fasies trombolit dan terdapat fasies batu kapur merah (Fbkm) dan batu lodak serta batu lumpur (diubah suai daripada Mohammad Ezanie et al. 2018)



RAJAH 3. Log sedimen dan korelasi singkapan batuan di bahagian Pulau Langgun selatan diwakili dengan lokaliti PL1, PL2, PL3, PL4, PL5, PL6a dan PL6b. Kawasan Pulau Langgun selatan didominasi dengan fasies trombolit (Ft) dan fasies stromatolit (Fs) (diubah suai daripada Mohammad Ezanie et al. 2018)



RAJAH 4. Pemetaan litologi bagi setiap lokaliti di kawasan Teluk Mempelam (TM1 hingga TM6) menunjukkan nilai kemiringan dianggarkan sekitar 16° - 40° dengan arah kemiringan yang sentiasa berubah-ubah. Manakala, pemetaan litologi bagi lokaliti jujukan batu kapur PL1-PL5 di bahagian selatan, Pulau Langgun yang menunjukkan nilai kemiringan dianggarkan sekitar 20° - 30° dengan arah kemiringan menghala ke arah timur laut

JADUAL 1. Ringkasan ciri litologi, ketebalan, sub-pembahagian formasi dan ahli serta fosil yang ditemui di lokaliti singkapan

Lokaliti	Cirian litologi	Sub-pembahagian	Fosil	Usia
TM5 TM6 ($6^{\circ}26.715'U$, $99^{\circ}53.020'S$)	Ketebalan jujukan 2 m hingga 6 m. Endapan argilit seperti batu lodak, batu lumpur hitam dan lapisan nipis kuarzit hitam. Jasad batuan adalah sangat rencam.	Formasi Timah Tasoh (Ahli Detrital Atas)	Ostrakod, bivalvia, trilobit, krinoid (globular)	Devon Bawah
TM2 TM3 ($6^{\circ}26.715'U$, $99^{\circ}53.020'S$)	TM2 terdiri daripada batu kapur stromatolit. Pandangan atas permukaan lapisan batuan menunjukkan struktur stromatolit selari membentuk sebagai fitur sarang lebah. TM3 merupakan sambungan bagi jujukan batuan TM2 dan terdiri daripada batu kapur stromatolit yang mempunyai fitur reranting dan tiub. Batu kapur mengalami perubahan komposisi warna menjadi merah keperangan hasil pengisian lumpur karbonat dan bahan oksida besi.	Formasi Mempelam (Ahli Setul Atas)	Silur Atas	
TM4 ($6^{\circ}26.715'U$, $99^{\circ}53.020'S$)	TM4 terdiri daripada lapisan batu kapur berwarna merah keperangan dan kelabu cerah yang berselukut dengan batu kapur stromatolit. Lapisan nipis batu lumpur mula terbentuk di bahagian atas jujukan. Kehadiran endapan sedimen batu lumpur dikenal pasti sebagai unit peralihan daripada Formasi Mempelam kepada Formasi Timah Tasoh.	Formasi Tarjung Dendang Formasi Kaki Bukit (Ahli Setul Atas)		
TM1 ($6^{\circ}26.550'U$, $99^{\circ}52.920'S$)	TM1 terdiri daripada batu kapur trombolit, batu kapur stromatolit, lapisan kuarzit, batu lodak dan batu lumpur hitam berkarbon. Pertindihan setiap unit batuan membentuk jujukan berselang-seli diantara endapan karbonat dan endapan argilit yang menandakan siri perulangan di antara unit batuan Formasi Kaki Bukit dan Formasi Tg. Dendang.	Formasi Tarjung Dendang Formasi Kaki Bukit (Ahli Setul Bawah)		
PL1 PL2 ($6^{\circ}24.906'U$, $99^{\circ}54.330'S$)	PL1 - 20m, endapan batu kapur berwarna kelabu cerah hingga gelap. Dasar jujukan adalah berselang lapis antara batu kapur dan dolomit setebal 1 m, semakin ke atas endapan batuan mula berubah kepada fasies trombolit, dan sebahagian perlapisan membentuk stromatolit selari bercirikan struktur reranting.	Formasi Kaki Bukit (Ahli Setul Bawah)	Gastropod, nautiloid, bivalvia	Bawah-Awal Atas Llandovery Ordovisi Tengah-Atas
PL3 PL4 ($6^{\circ}25.230'U$, $99^{\circ}53.889'S$)	PL2 dan PL3- Menunjukkan pembentukan struktur trombolit tersusun secara rawak, struktur individu tromboid (poli-cuping, tautan dan tautan padat) mengisi secara padat di bahagian bawah jujukan dan semakin berkurangan ke bahagian atas. PL4- Terdiri daripada batuan trombolit dan stromatolit. Dasar jujukan adalah terdiri daripada trombolit padat, dan semakin keatas, struktur mikrob mula berubah kepada pembentukan stromatolit selari. Struktur individu stromatolit membentuk teranting yang bersambungan antara satu sama lain menjadi geometri rangkaian kompleks. Jasad stromatolit dicirikan berwarna merah keperangan hasil daripada pengisian sedimen lumpur dan oksida besi.	Formasi Kaki Bukit (Ahli Setul Bawah)	Gastropod, nautiloid, bivalvia	Ordovisi
PL5 ($6^{\circ}25.342'U$, $99^{\circ}53.534'S$)	PL5- Perselelangan antara batu kapur stromatolit beralun dan batu kapur. Struktur trombolit menguasai pada setiap bahagian bawah lapisan batu kapur. Lapisan atas batu kapur diisi oleh stromatolit beralun dan membentuk perulangan hingga ke bahagian atas jujukan.			

terletak di bahagian selatan hingga PL5 menuju ke arah utara Pulau Langgun. Bacaan jurus/miring perlapisan batuan adalah sekitar 304/36 hingga 338/20 dengan nilai kemiringan sekitar 20° hingga 36° yang disifatkan sebagai sederhana landai. Arah kemiringan adalah seragam iaitu menghala ke timur laut, kecuali pada lokaliti terakhir (PL5) yang berubah secara drastik ke arah tenggara disebabkan oleh kehadiran sesar. Ringkasan cerapan lapangan adalah seperti di dalam Jadual 1.

ANALISIS SEDIMENTOLOGI

Fasies Trombolit (Ft)

Huraian Fasies trombolit (Ft) menunjukkan morfologi perlapisan masif, berlapis tebal, berwarna kelabu gelap, bersaiz kasar dan membentuk tekstur permukaan batuan yang tidak seragam (Rajah 6(a) & 6(b)). Bahagian bawah biostrom mengalami hakisan yang banyak berbanding bahagian atas biostrom yang menghasilkan pembentukan struktur seakan tafoni.

Tafsiran Trombolit dicirikan sebagai topografi timbulan rendah dan mendatar disebabkan pengaruh daripada faktor persekitaran dan tindak balas hidrodinamik. Kedalaman air persekitaran berupaya untuk mengawal pembentukan trombolit. Mikroorganisma mudah untuk mengikat atau memerangkap bahan sedimen melalui kemasukan bekalan sedimen secara berterusan hasil pembawakan oleh arus air. Gabungan proses ini kebiasaannya ditemui di persekitaran yang memiliki kedalaman bersesuaian bagi mengawal ruang pertumbuhan, tindak balas hidrodinamik serta kemasukan bahan sedimen (Aitken 1967; Dongjie et al. 2013; Harwood & Sumner 2011; Jahnert & Collins 2011; Kershaw et al. 2011; Shapiro & Awramik 2006).

Fasies Stromatolit (Fs)

Huraian Fasies stromatolit (Fs) dikenal pasti terbentuk pada sebahagian perlapisan batu kapur sahaja dan jasad stromatolit itu masih kekal terpelihara dengan baik tanpa sebarang hakisan. Fasies ini dicirikan dengan morfologi stromatolit yang berkedudukan selari pada perlapisan batu kapur yang berketinggian sekitar 1 m hingga 7 m (Rajah 5(b)). Jasad stromatolit kelihatan berwarna hitam hingga merah keperangan dan ditemui dengan pelbagai bentuk geometri merangkumi capahan, reranting, selari dan poligon. Kepelbagaiannya bentuk geometri tersebut menyebabkan topografi stromatolit selari bersifat landai serta berjasad timbul rendah.

Tafsiran Pengaruh daripada aktiviti mikroorganisma memainkan peranan utama dalam pembentukan topografi stromatolit. Menurut Lee, Chen dan Chough (2010), bentuk geometri poligon (struktur sarang lebah) dibina oleh komuniti mikrob dan *sponge* bersilika. Komuniti mikrob membina bentuk geometri tersebut berdasarkan kepada penerimaan cahaya dan bekalan nutrien yang diperoleh oleh mikroorganisma (Awramik & Vanyo 1986; Lee, Chen & Chough 2010). Walau bagaimanapun, pembentukan

geometri poligon tidak meluas terutamanya daripada komuniti mikrob dan *siliceous sponges* semasa di zaman Ordovisi (Adachi et al. 2009; Li, Li & Kiessling 2017; Li et al. 2015; Shen & Neuweiler 2018) dan pembentukan poligon adalah terhasil daripada perubahan penghaburan awal mikrit semasa proses diagenesis (Zhan et al 2016).

Fasies Selang Lapis Batu Lodak dan Batu Lumpur (Fblo-blu)

Huraian Fasies ini mempunyai julat ketebalan setiap perlapisan sekitar 5 cm hingga 10 cm. Sifat fizikal batu lumpur dicirikan berbutiran halus, bertekstur lembut, rapuh, mudah hancur, berwarna kehitaman dan mengandungi bahan karbon yang tinggi (Rajah 5(a)). Struktur sedimen dan kandungan fosil sukar untuk ditemui kerana keadaan lapisan batuan yang mudah hancur menyukarkan untuk proses pemeliharaan struktur sedimen atau kandungan fosil tersebut.

Tafsiran Fasies ini terbentuk pada suatu tempoh pengendapan yang lama dengan kemasukan bekalan sedimen lumpur dan lodak diangkat dalam jumlah yang banyak. Kemasukan bekalan sedimen dipengaruhi oleh keadaan persekitaran yang bertenaga rendah dan tenang. Kesan tinggalan struktur biokacau yang bersifat sederhana menunjukkan persekitaran adalah bersesuaian untuk dijadikan habitat bagi hidupan organisme.

Fasies Batu Kapur Masif (Fbk)

Huraian Fasies batuan dicirikan oleh lapisan tebal, tidak seragam, kasar dan dipenuhi oleh pembentukan struktur tektonik seperti kekar dan sesar. Kehadiran struktur sedimen atau struktur mikrob sukar untuk ditemui dan berkemungkinan ia telah musnah disebabkan kesan canggaan tektonik atau telah mengalami perubahan komposisi batuan akibat metamorfisme. Singkapan batuan membentuk siri perlapisan dengan julat ketebalan setiap lapisan sekitar 0.5 m hingga 2 m. Gabungan beberapa siri perlapisan menghasilkan jujukan batu kapur masif yang mencecah sehingga 70 m tebal. Batuan ini berbutiran sederhana kasar dan berwarna kelabu cerah hingga gelap (Rajah 6(a) & 6(b)). Kewujudan bongkah batu yang dipercayai sebahagian daripada singkapan batuan menunjukkan kehadiran struktur mikrob laminasi alga dan stromatolit beralun.

Tafsiran Fasies batu kapur masif terbentuk daripada proses diagenesis seperti pendolomitian, permikritan dan penyimenan kalsit. Malahan pengaruh daripada proses metamorfisme turut memainkan peranan sebagai agen kepada perubahan komposisi batuan yang bertukar menjadi marmar atau batu napal. Proses sedimentologi yang mempengaruhi pembentukan batuan ini tidak dapat dikenal pasti kerana keseluruhan struktur sedimen telah musnah akibat daripada pengaruh proses diagenesis dan metamorfisme. Walau bagaimanapun, bongkah batuan yang dijumpai berhampiran pada jujukan ini menunjukkan

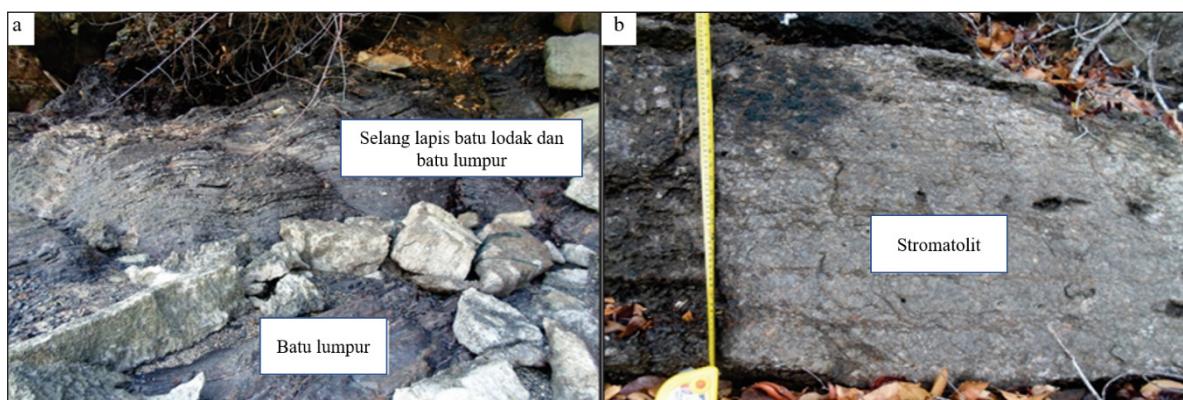
peninggalan kesan struktur mikrob seperti endapan stromatolit. Ia berkemungkinan membuktikan bahawa asalan batuan membentuk sebagai lapisan mikrob seperti pada jujukan batu kapur yang lain-lain.

Fasies Batu Kapur Merah (Fbkm)

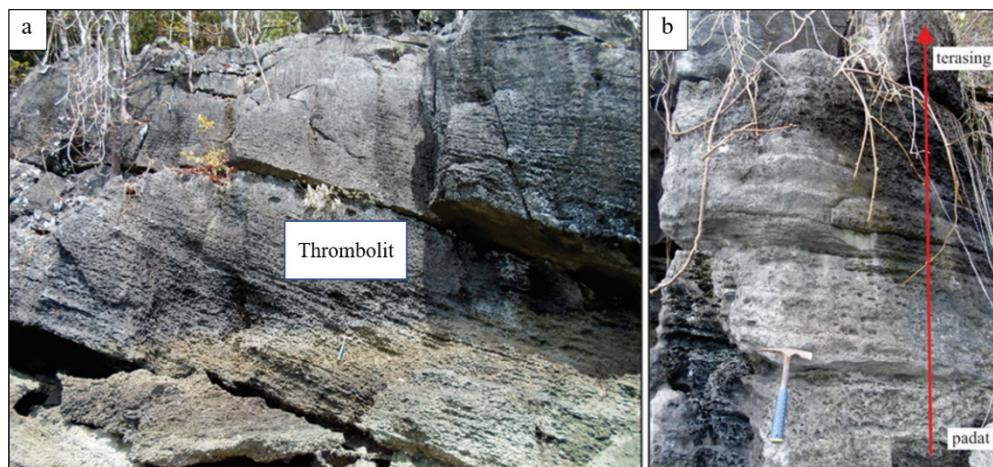
Huraian Fasies ini dicirikan oleh endapan batu kapur bernodul serta berasosiasi dengan pembentukan stromatolit selari (Rajah 7(a) & 7(b)). Terdapat endapan stromatolit membentuk geometri poligon dan reranting yang tersusun secara selari dengan perlapisan batuan. Manakala, dari sudut pandangan atas permukaan batuan, stromatolit

membentuk hamparan alga bergeometri poligon atau sarang lebah. Batuan ini berkelimpahan dengan komponen mikrit dan bioklas, sehubungan itu ia sesuai dikelaskan sebagai batu lumpur hingga batu butir.

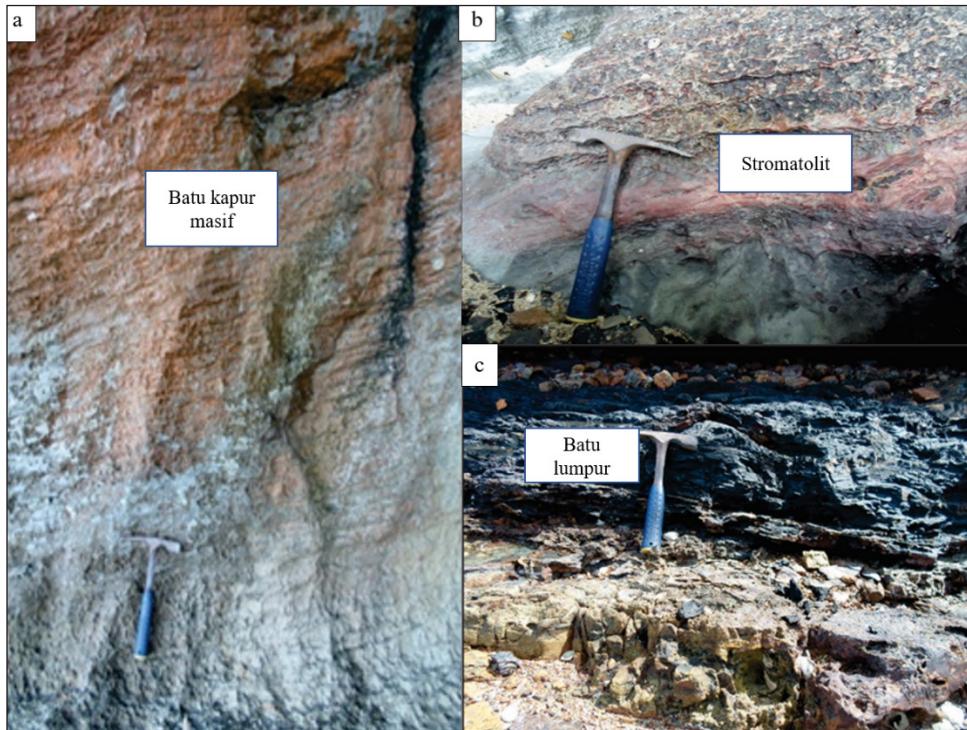
Tafsiran Fasies batu kapur merah terbentuk sebagai endapan mikrob. Perbezaan pada kandungan batuan yang berwarna merah disebabkan oleh aktiviti mikrob yang terdiri daripada alga berkalka untuk membentuk hamparan alga. Malahan, kandungan butiran yang turut diisi oleh bendasing seperti oksida besi berkemungkinan turut menyumbang kepada perubahan batuan yang berwarna merah.



RAJAH 5. a) Fasies selang lapis batu lodak dan batu lumpur (Fblo-blu) dengan endapan batu lumpur di Formasi Tg. Dendang di lokaliti Teluk Mempelam; b) pandangan skala makro fasies stromatolit (Fs) di lokaliti PL4- stromatolit terbentuk secara selari dengan perlapisan batuan



RAJAH 6. a) Pandangan skala mega di lokaliti Pulau Langgun (PL1) menunjukkan lapisan trombolit (Ft) dicirikan oleh sifat masif, tebal dan tidak seragam; dan b) pandangan skala meso dicirikan oleh darjah kepadatan tromboid yang dikelaskan sebagai padat hingga terasing yang ditemui di kawasan Teluk Mempelam



RAJAH 7. a-b) Singkapan batuan di lokaliti Teluk Mempelam menunjukkan fasies batu kapur masif (Fbk) dan batu kapur berwarna merah (Fbkm) berfitur nodul dan membentuk stromatolit jenis selari; dan c) Lapisan batu lumpur hitam

SEKUTUAN FASIES DAN SEKITARAN PENGENDAPAN *Sekutuan Fasies 1 (SF1)*

Huraian Sekutuan fasies ini adalah sedimen percampuran siliklastik-karbonat yang terdiri daripada dua komponen fasies utama iaitu fasies selang lapis batu lodak dan batu lumpur (Fblo-blu) dan fasies batu kapur masif (Fbk). Fenomena pasang surut air laut yang kerap berpotensi menghasilkan percampuran sedimen antara batu lumpur dan batu kapur. Pembentukan percampuran ini boleh membentuk struktur sedimen laminasi beralun sehingga pembentukan struktur sedimen flaser.

Tafsiran Sekutuan fasies ini dikaitkan dengan sub-sekitaran cerun atas iaitu di zon subpasang surut atas. Persekitaran tersebut kebiasaannya terletak di bawah had tindakan gelombang iaitu kawasan yang kurang dipengaruhi oleh tenaga gelombang dan ribut. Bahan sedimen bersaiz halus seperti lumpur karbonat atau mikrit akan terkumpul semasa fenomena air pasang dan hanya akan terhenti ketika air laut menjadi surut. Pada waktu tersebut, sedimen siliklastik seperti lumpur yang telah diangkat ke lembangan akan terenap semasa persekitaran berada dalam keadaan tenang.

Sekutuan Fasies 2 (SF2)

Huraian Sekutuan fasies ini dicirikan dengan komponen fasies trombolit (Ft), fasies stromatolit (Fs) dan fasies

batu kapur merah (Fbkm). Pola pembentukan trombolit dikenal pasti semakin dominan pada bahagian atas jujukan dan ini menjadi petunjuk bahawa proses interaksi antara mikroorganisma di dalam perlapisan batu kapur adalah semakin aktif (Reid et al. 2003).

Tafsiran Endapan mikrob dikenal pasti terbentuk di persekitaran pengaruh hidrodinamik daripada tinggi sehingga rendah. Ia dibuktikan melalui perubahan pada bentuk geometri dan topografi struktur mikrob seperti kekurangan fabrik laminasi dan didominasi oleh pembentukan meso-gumpalan. Taburan hidupan trombolit dan stromatolit adalah dominandi kawasan sub-pasang surut kerana ia memiliki kedalaman persekitaran yang berkesan dan pengaruh hidrodinamik yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisma (Luchinina 1975; Rowland & Gangloff 1988). Pertumbuhan tekstur mikrob seperti dendrolit, stromatolit dan trombolit sering dijumpai di zon sub-pasang surut terutamanya di bahagian cerun atas sehingga cerun tengah (Ahr 1971; Aitken 1967).

PERBINCANGAN

Proses pembentukan struktur mikrob pada dasarnya adalah berkait rapat dengan aktiviti mikroorganisma (Riding 2011; Wang, Shi & Liu 2023). Mikroorganisma bentik membebaskan CO₂ dalam proses pereputan bahan organik

dan menyebabkan struktur seperti gelembung terbentuk. Interaksi antara kadar kemasinan air dan proses redoks dalam air laut yang sesuai (Benhard et al. 2023; Chen et al. 2021; Lan et al. 2022; Preto et al. 2019; Suarez-Gonzalez et al. 2019; Tang, Cui & Zhang 2022) menyebabkan mineral kalsit dimendakkan pada permukaan gelembung dan mengalami proses pengkalsinan seterusnya membentuk struktur mikrob ini (Chafetz 2013; Wang, Shi & Liu 2023).

Pemerangkapan mikroorganisma untuk pembentukan stromatolit (Fs) dan trombolit (Ft) memerlukan keadaan dasar laut bergelora, tenaga tinggi hingga rendah dan mempunyai sumber oksigen yang rendah (Chen et al. 2021; Lan et al. 2022; Luo et al. 2013; Tang, Cui & Zhang 2022; Zhang et al 2021; Zhu et al. 2022, 2021). Cerapan lapangan pada fasies trombolit (Ft) dan fasies stromatolit (Fs) menunjukkan struktur mikrob trombolit berwarna kelabu gelap dan struktur stromatolit berwarna hitam dan keperangan. Pembentukan struktur mikrob yang berwarna gelap menunjukkan peredaran air laut yang terhad (Wang, Shi & Liu 2023). Manakala, bagi pembentukan stromatolit, ia menunjukkan selari dengan perlapisan yang mana ia merupakan penunjuk kepada keadaan tenaga hidrodinamik tinggi. Pada keadaan tenaga hidrodinamik tinggi, mikroorganisma bentik tumbuh seperti hamparan dan membentuk stromatolit laminasi selari untuk mengelakkan daripada dihanyutkan oleh arus (Wang, Shi & Liu 2023; Zhang et al. 2021). Fasa perubahan struktur trombolit ke struktur stromatolit boleh dijadikan penunjuk perubahan morfologi sekitaran pengendapan.

Sekitaran pengendapan yang mempunyai pencirian hidrodinamik seperti ini adalah sinonim dengan zon dasar bergelombang rebut dan zon ini merupakan zon yang menyumbang kepada taburan sedimen alokton dan bioklas yang banyak (Foster et al. 2020). Kawasan ini juga merupakan kawasan yang didominasi oleh endapan sedimen interstitial hasil daripada angkutan arus disebabkan oleh ribut (Zhang et al. 2021). Semasa proses pengangkutan melalui arus dan ribut ini berlaku, sedimen yang berbutir kasar biasanya diendapkan dalam keadaan tenaga gelora tinggi dan proses pembentukan struktur mikrob jenis stromatolit akan berlaku (Zhang et al. 2021), manakala sedimen berbutir halus yang diangkut oleh arus yang lebih rendah akan membentuk struktur mikrob trombolit. Butiran sedimen diangkut oleh angkutan arus tenaga air ini akan terperangkap di bahagian puncak dan membentuk sebuah hamparan alga yang menghasilkan laminasi secara bertingkat. Pembentukan stromatolit selari pula berlaku disebabkan sedimen mikrit yang diangkut berkemungkinan tidak melekat pada puncak stromatolit untuk membentuk hamparan alga. Sebaliknya hanya terendap di bahagian dasar membentuk topografi rendah dan landai (Bosak, Knoll & Petroff 2013).

Pada masa geologi yang lain, peningkatan dan penurunan paras air laut telah menghasilkan sebuah lapisan batu kapur masif tebal (Fbk) serta lapisan selang lapis batu lodak dan batu lumpur (Fblo-blu). Perubahan fasies

daripada lapisan batu kapur masif kepada lapisan argilit dikenal pasti berlaku secara beransur-ansur menandakan ia dikawal oleh paras air laut relatif. Selain itu, ketiadaan sebarang fosil hidupan menunjukkan persekitaran adalah kurang sesuai untuk dijadikan habitat hidupan. Faktor seperti kekurangan oksigen dan perubahan paras air laut yang berlaku secara kerap menyukarkan aktiviti hidupan untuk berinteraksi dengan keadaan persekitaran. Faktor lain seperti kedalaman persekitaran turut memainkan peranan penting bagi mengekalkan pertumbuhan struktur mikrob tersebut. Zon subpasang surut (cerun atas hingga cerun bawah) adalah bersesuaian untuk pertumbuhan struktur trombolit-stromatolit kerana julat kawasan yang luas serta dipengaruhi oleh tindakan paras dasar cuaca normal dan dasar gelombang ribut. Ia menyebabkan pertumbuhan hamparan alga menjadi semakin teguh untuk terus kekal bertahan di persekitaran yang dipengaruhi oleh tenaga arus tinggi.

KESIMPULAN

Kumpulan Setul di Pulau Langgun dikenal pasti terdiri daripada jujukan batu kapur berlapisan tebal, warna kelabu dan terdapat pembentukan trombolit dan stromatolit dengan pelbagai bentuk geometri. Berdasarkan perbezaan cirian lapangan serta komponen litologi, batuan Kumpulan Setul di Pulau Langgun ini dikategorikan kepada lima (5) fasies utama iaitu fasies trombolit (Ft), fasies stromatolit (Fs), fasies selang lapis batu lodak dan batu lumpur (Fblo-blu), fasies batu kapur masif (Fbk) dan fasies batu kapur merah (Fbkm). Komponen fasies ini kemudiannya dikelaskan kepada dua sekutuan fasies iaitu sekutuan fasies 1 (SF1) dan sekutuan fasies 2 (SF2). Cerapan dan tafsiran pada fasies dan sekutuan fasies pada singkapan ini menunjukkan Pulau langgun ini ditafsirkan sebagai kawasan bahagian atas di zon sub-pasang surut.

RUJUKAN

- Adachi, N., Ezaki, Y., Liu, J.B. & Cao, J. 2009. Early Ordovician reef construction in Anhui Province, South China: A geobiological transition from microbial to metazoan-dominant reefs. *Sedimentary Geology* 220(1-2): 1-11.
- Ahmad Jantan. 1973. Stratigraphy of the Singa Formation (Upper Paleozoic) in the Southwestern Part of the Langkawi Island Group, West Malaysia. MSc Thesis. Kuala Lumpur: Universiti Malaya (Tidak diterbitkan).
- Ahr, W.M. 1971. Paleoenvironment, algal structures and fossil algae in the Upper Cambrian of Central Texas. *Journal of Sedimentary Research* 41(1): 205-216.
- Aitken, J.D. 1967. Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta. *Journal of Sedimentary Research* 37(4): 1163-1178.

- Awramik, S.M. & Vanyo, J.P. 1986. Heliotropism in modern stromatolites. *Science* 231: 1279-1281.
- Bernhard, J.M., Fisher, L.A., Murphy, Q., Sen, L., Yeh, H.D., Louvakis, A., Gomaa, F., Reilly, M., Battalona, P.G., Bucklin, A., Le Roux, V. & Visscher, P.T. 2023. Transition from stromatolite to thrombolite fabric: Potential role for reticulopodial protists in lake microbialites of a Proterozoic ecosystem analog. *Front. Microbiol.* 14: 1210781. doi: 10.3389/fmicb.2023.1210781
- Bosak, T., Knoll, A.H. & Petroff, A.P. 2013. The meaning of stromatolites. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 41: 21-44.
- Burton, C.K. 1974. The Satun Group (Nai Tak Formation and Thung Song Limestone) of peninsular Thailand. *Sains Malaysiana* 3(1): 15-34.
- Chafetz, H.S. 2013. Porosity in bacterially induced carbonates: Focus on micropores. *AAPG Bull.* 97: 2103-2111.
- Chen, Y., Yan, Z., Ezaki, Y., Adachi, N. & Liu, J. 2021. Rare earth and yttrium elements (REY) patterns of mesostructures of miaolingian (Cambrian) thrombolites at Jiulongshan, Shandong Province, China. *Palaeoworld* 30(4): 627-642. doi:10.1016/j.palwor.2020.12.007
- Cocks, L.R.M., Fortey, R.A. & Lee, C.P. 2005. A review of Lower and Middle Palaeozoic biostratigraphy in west Peninsular Malaysia and southern Thailand in its context within the Sibumasu Terrane. *Journal of Asian Earth Sciences* 24(6): 703-717.
- Dongjie, T., Shi, X., Jiang, G. & Zhang, W. 2013. Microfabrics in Mesoproterozoic microdigitate stromatolites: Evidence of biogenicity and organomineralization at micron and nanometer scales. *Palaeos* 28(3): 178-194.
- Foster, W.J., Heindel, K., Richoz, S., Gliwa, J., Lehrmann, D.J., Baud, A., Kolar-Jurkovšek, T., Aljinović, D., Jurkovšek, B., Korn, D., Martindale, R.C. & Peckmann, J. 2020. Suppressed competitive exclusion enabled the proliferation of Permian/Triassic boundary microbialites. *The Depositional Record* 6(1): 62-74. <https://doi.org/10.1002/dep2.97>
- Gobbett, D.J. 1972. Geology of the Rebak Islands, Langkawi, West Malaysia. *Geological Society of Malaysia Newsletter* 37: 2-3.
- Harwood, C.L. & Sumner, D.Y. 2011. Origins of microbial microstructures in the Neoproterozoic Beck Spring Dolomite: Variations in microbial community and timing of lithification. *Journal of Sedimentary Research* 82(9): 709-722.
- Jahnert, R.J. & Collins, L.B. 2011. Significance of subtidal microbial deposits in Shark Bay, Australia. *Marine Geology* 286: 106-111.
- Jones, C.R. 1961. A revision of the stratigraphical sequence of the Langkawi Islands, Federation of Malaya. *Proceedings 9th Pacific Science Congress* 12: 287-300.
- Kershaw, S., Crasquin, S., Forel, M.B., Randon, C., Collin, P.Y., Kosun, E., Richoz, S. & Baud, A. 2011. Earliest Triassic microbialites in Çürüklü Dag, Southern Turkey: Composition, sequences and controls on formation. *Sedimentology* 58: 739-755.
- Lan, C., Xu, Z., Chen, H., Yang, W., Lu, C. & Li, P. 2022. Paleoceanographic reconstruction of the ediacaran Dengying Formation, Sichuan Basin, southwest China: Implications for the origin of precambrian microbial carbonates. *J. Asian Earth Sci.* 236: 105340.
- Lee Chai Peng & Azhar Hussin. 1991. The Wang Kelian Redbeds, a possible extension of the Unnamed Devonian Unit (Rebanggun Beds) into Perlis? (abstract). *Warta Geologi* 17(3): 160.
- Lee, J.H., Chen, J. & Chough, S.K. 2010. Paleoenvironmental implications of an extensive macerite microbialite bed in the Furongian Chaomidian Formation, Shandong Province, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297: 621-632.
- Li, Q.J., Li, Y. & Kiessling, W. 2017. The oldest labechiid stromatoporoids from intraskeletal crypts in lithistid sponge-calathium reefs. *Lethaia* 50: 140-148.
- Li, Q.J., Li, Y., Wang, J.P. & Kiessling, W. 2015. Early Ordovician lithistid sponge- Calathium reefs on the Yangtze Platform and their paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 425: 84-96.
- Luchinina, V.A. 1975. *Paleoecological characteristics of the Early Cambrian of the Siberian Platform*. Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Nauka. p. 97.
- Luo, P., Wang, S., Li, P., Song, J., Jin, T.F., Wang, G. & Yang, S. 2013. Review and prospectives of microbial carbonate reservoirs. *Acta Sedimenrol. Sin.* 31(5): 807-823.
- Meor Hakif Amir Hassan & Lee Chai Peng. 2005. The depositional environment of Mid-Paleozoic red beds at Hutan Aji, Perlis and its bearing on global eustatic sea level change. *Geology of Society of Malaysia* 48: 65-72.
- Meor Hakif Amir Hassan & Lee Chai Peng. 2002. Stratigraphy of the Jentik Formation, the transitional sequence from the Setul Limestone to the Kubang Pasu Formation at Guar Sanai, Guar Jentik, Beseri, Perlis - a preliminary study. *Geological Society of Malaysia Bulletin* 45: 171-178.

- Mohamad Ezanie, A.S., Che Aziz, A., Kamal Roslan, M. & Nurul Afifah, M.R. 2018. Pencirian dan tafsiran Paleo-sekitaran stromatolit dan thrombolit dalam jujukan Batu Kapur Setul di Langkawi dan Perlis. *Bull. of the Geological Society of Malaysia* 66: 129-140.
- Preto, N., Klügel, A., Himmeler, T. & Franceschi, M. 2019. Origin of facies zonation in microbial carbonate platform slopes: Clues from trace element and stable isotope geochemistry (Middle Triassic, Dolomites, Italy). *Sedimentology* 66(1): 81-101. doi:10.1111/sed.12498
- Reid, R.P., James, N.P., Macintyre, I.G., Dupraz, C.P. & Burne, R.V. 2003. Shark Bay stromatolites: Microfabrics and reinterpretation of origins. *Facies* 49: 299-324.
- Riding, R. 2011. Microbialites, stromatolites, and thrombolites. In *Encyclopedia of Geobiology: Encyclopedia of Earth Sciences Series*, edited by Reitner, J. & Thiel, V. Dordrecht: Springer. pp. 635-654. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1_196
- Rowland, S.M. & Gangloff, R.A. 1988. Structure and paleoecology of Lower Cambrian reefs. *PALAIOS* 3(2): 111-135.
- Shapiro, R.S. & Awramik, S.M. 2006. Favosamaceria cooperi new group and form: A widely dispersed, time-restricted thrombolite. *Journal of Paleontology* 80: 411-422.
- Shen, Y. & Neuweiler, F. 2018. Questioning the microbial origin of automicrite in Ordovician calathid-demosponge carbonate mounds. *Sedimentology* 65: 303-333.
- Suarez-Gonzalez, P., Arenas, C., Benito, M.I. & Pomar, L. 2019. Interplay between biotic and environmental conditions in pre-salt Messinian microbialites of the Western Mediterranean (upper Miocene, Mallorca, Spain). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 533: 109242. doi:10.1016/j.palaeo.2019.109242
- Tang, Q., Cui, H. & Zhang, F. 2022. Neoproterozoic earth-life system. *Precambrian Res.* 368: 106486. doi:10.1016/j.precamres.2021.106486
- Wang, Y., Shi, K. & Liu, B. 2023. Sedimentary structures of microbial carbonates in the fourth member of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Western Sichuan Basin, China. *Sci. Rep.* 13: 2300. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28211-0>
- Yancey, T.E. 1975. Evidence against Devonian Unconformity and Middle Paleozoic Age of Langkawi Folding phase in northwest Malaya. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 59: 1015-1019.
- Zhang, X-Y., Li, Y., Wang, G. & Yang, H-Q. 2021. Different accretion and diagenetic patterns within the fabrics of the Permian-Triassic boundary microbialites on Leye isolated carbonate platform, South China Block. *Journal of Palaeogeography* volume 10: 11.
- Zhan, R., Jin, J., Liu, J., Corcoran, P., Luan, X. & Wei, X. 2016. Meganodular limestone of the Pagoda Formation: A time-specific carbonate facies in the Upper Ordovician of South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 448: 349-362.
- Zhu, D., Liu, Q., Wang, J., Hu, G. & Ding, Q. 2022. Transition of seawater conditions favorable for development of microbial hydrocarbon source-Reservoir assemblage system in the Precambrian. *Precambrian Res.* 374: 106649. doi:10.1016/j.precamres.2022.106649
- Zhu, D., Liu, Q., Wang, J., Ding, Q. & He, Z. 2021. Stable carbon and oxygen isotope data of Late Ediacaran stromatolites from a hypersaline environment in the Tarim Basin (NW China) and their reservoir potential. *Facies* 67(3): 25. doi:10.1007/s10347-021-00633-0

*Pengarang untuk surat-menjurut; email: nurulafifah@ukm.edu.my