

SKRIPSI

***PALEOENVIRONMENT* BATULEMPUNG PADA FORMASI MALLAWA DAERAH MASSENRENGPULU KECAMATAN LAMURU KABUPATEN BONE PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

**IFANY SYAHRA CHOIRUNNISYA
D061 19 1033**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**



2024

SKRIPSI

***PALEOENVIRONMENT* BATULEMPUNG PADA FORMASI MALLAWA DAERAH MASSENRENGPULU KECAMATAN LAMURU KABUPATEN BONE PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

**IFANY SYAHRA CHOIRUNNISYA
D061 19 1033**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**



2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PALEOENVIRONMENT BATULEMPUNG PADA
FORMASI MALLAWA DAERAH MASSENRENGPULU
KECAMATAN LAMURU KABUPATEN BONE
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

IFANY SYAHRA CHOIRUNNISYA
D061 19 1033

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin tanggal 8 Mei 2024 dan dinyatakan telah memenuhi
syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T.
NIP. 19671119 199802 2 001

Dr. Eng. Meutia Farida, S.T., MT.
NIP. 19731003 200012 2 001

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.
NIP. 197712142005011002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ifany Syahra Choirunnisya
NIM : D061191033
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

***Paleoenvironment Batulempung pada Formasi Mallawa
Daerah Massenrengpulu Kecamatan Lamuru
Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan***

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Mei 2024

Yang Menyatakan


Ifany Syahra Choirunnisya



ABSTRAK

IFANY SYAHRA CHOIRUNNISYA. *Paleoenvironment Batulempung pada Formasi Mallawa Daerah Massenrengpulu Kecamatan Lamuru Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan*, dibimbing oleh Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T dan Dr.Eng. Meutia Farida, ST., MT.

Daerah penelitian secara administratif termasuk dalam Daerah Massenrengpulu Kecamatan Lamuru Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan dan secara astronomis terletak pada koordinat 4°39'22" LS (Lintang Selatan), 119°56'17" BT (Bujur Timur). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: pembentukan batuan penyusun daerah penelitian berdasarkan tekstur dan struktur sedimen yang ada, pengaruh kondisi lingkungan pengendapan terhadap pembentukan suatu batuan, dan pengkorelasian umur dan lingkungan pengendapan Formasi Mallawa berdasarkan kandungan palinomorf serta keterdapatan foraminifera. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pengambilan data lapangan dan data laboratorium. Data tersebut dianalisis berdasarkan analisis petrografi, palinomorf, dan mikropaleontologi. Hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa batuan penyusun Formasi Mallawa pada daerah penelitian tersusun atas litologi *Mudrock*, *Arkosic Arenite*, *Lithic Arenite*, *Feldspathic Wacke*, Batulanau, dan Batubara. Struktur sedimen yang terdapat pada batuan penyusun Formasi Mallawa daerah penelitian antara lain yakni *lenses*, *lenticular bedding*, *cross lamination*, dan *parallel lamination*. Penentuan lingkungan pengendapan berdasarkan karakteristik endapan, pola sedimentasi, interpretasi pada penampang vertikal, serta kelimpahan palinomorf berdasarkan taksa pada lintasan Massenrengpulu merupakan ciri lingkungan pengendapan delta. Adapun urutannya dari penampang paling bawah ke atas ialah *upper delta plain* yang berangsur-angsur berubah menjadi *lower delta plain* dengan kelimpahan palinomorf dari taksa *peatswamp forest*, *lowland forest*, dan *mangrove*. Korelasi umur dan lingkungan pengendapan Formasi Mallawa pada daerah penelitian berdasarkan kelimpahan palinomorf dan kandungan foraminifera berada pada rentang umur geologi Eosen Tengah-Eosen Akhir dengan hasil analisis biozonasi palinomorf yang berada pada zonasi *Proxapertites operculatus* dan berada pada bagian *delta plain* dari tipe lingkungan pengendapan delta.

Kata Kunci : Batuan Sedimen, Foraminifera, Formasi Mallawa, Lingkungan Pengendapan, Palinomorf, Struktur, Tekstur.



ABSTRACT

IFANY SYAHRA CHOIRUNNISYA. *Paleoenvironment of Claystone in Mallawa Formation, Massenrengpulu Area, Lamuru District, Bone Regency, South Sulawesi Province, supervised by Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T and Dr.Eng. Meutia Farida, ST., MT.*

*The research area is administratively included in Massenrengpulu District, Lamuru District, Bone Regency, South Sulawesi Province, and astronomically located at coordinates 4°39'22" LS (South Latitude), 119°56'17" E (East Longitude). This study aims to find out: the formation of rocks that make up the study area based on the texture and structure of existing sediments, the influence of depositional environmental conditions on the formation of a rock, and the correlation of age and depositional environment of the Mallawa Formation based on palinomorfe content and the presence of foraminifera. The method used in this study is taking field data and laboratory data. The data were analyzed based on petrographic, palinomorographic, and micropaleontological analyses. The results of the analysis concluded that the constituent rocks of the Mallawa Formation in the study area are composed of Mudrock, Arkosic Arenite, Lithic Arenite, Feldspathic Wacke, Siltstone, and Coal. The sedimentary structures found in the rocks that make up the Mallawa Formation in the study area include lenses, lenticular bedding, cross lamination, and parallel lamination. Determination of the depositional environment based on sediment characteristics, sedimentation patterns, interpretation in vertical cross-section, and palinomorfe abundance based on taxa on the Massenrengpulu trajectory characterize the delta depositional environment. The order from the bottom section to the top is the upper delta plain which gradually turns into a lower delta plain with palinomorfe abundance from the taxa peat swamp forest, lowland forest, and mangrove. The correlation of age and depositional environment of the Mallawa Formation in the study area based on palinomorfe abundance and foraminifera content is in the geological age range of Middle Eocene-Late Eocene with the results of palinomorfe biozonation analysis which is in the zoning of *Proxapertites operculatus* and is in the delta plain part of the delta deposition environment type.*

Keywords: *Sedimentary rocks, foraminifera, mallawa formation, depositional environment, palinomorphs, structure, texture.*



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kami ucapkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul ***Paleoenvironment* Batulempung pada Formasi Mallawa Daerah Massenrengpulu Kecamatan Lamuru Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan.**

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan, dan membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini di antaranya:

1. Ibu Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T sebagai dosen pembimbing utama yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan laporan. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan ibu yang akan datang.
2. Ibu Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT sebagai dosen pembimbing pendamping yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan laporan. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan ibu yang akan datang.
3. Bapak Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T sebagai dosen penguji yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan Bapak yang akan datang.
4. Bapak Safruddim, S.T., M.Eng sebagai sebagai dosen penguji yang juga telah berkenan melibatkan penulis menjadi bagian dalam penyusunan disertasi. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan bapak ke depannya.
5. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan Bapak yang akan datang.
6. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya selama penulis menempuh pendidikan perkuliahan. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan Bapak dan Ibu yang akan datang.
7. Bapak dan Ibu staf tenaga pendidik dan laboratorium yang telah banyak memberikan bantuan demi kelancaran pengurusan administrasi dalam penyusunan laporan ini.
teman-teman Jaeger (Teknik Geologi 2019) yang tiada hentinya memberikan semangat kepada penulis dalam pengerjaan laporan.



9. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddn (HMG FT-UH) yang telah memberikan wawasan dan pengalaman serta menjadi wadah pengembangan *softskill* dan *hardskill*.
10. Kepada kedua Orangtua penulis, Kaharuddin dan Masrida, yang senantiasa memberikan penulis segala bentuk dukungan baik moral dan materi, serta doa restu yang senantiasa terucapkan tiada henti yang menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.

Semua rekan yang telah membantu penulis sampai detik ini dan belum sempat disebutkan. Terima kasih untuk uluran tangan dan kerendahan hati yang kalian miliki. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan karena hanya Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang Maha Sempurna sesuai dengan sifat-sifat-Nya. Oleh karena itu, saran dan masukan sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan laporan skripsi ini. Akhir kata, semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat baik dalam penambahan wawasan dan dapat dijadikan referensi pembaca dalam kegiatan penelitian selanjutnya serta tentunya berkah dan bernilai ibadah di sisi Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Gowa, Mei 2024

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Daerah Penelitian	4
2.2 Batuan Sedimen	5
2.2.1 Tekstur Batuan Sedimen	6
2.2.2 Struktur Batuan Sedimen	8
2.3 Palinologi	14
2.4 Foraminifera.....	16
2.5 Biozonasi.....	17
2.6 Lingkungan Pengendapan.....	18
2.6.1 Delta.....	21
BAB III METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN.....	25
3.1 Lokasi Penelitian.....	25
3.2. Variabel Penelitian.....	25
3.3 Alat dan Bahan.....	26
3.4 Metode Penelitian dan Analisis Data	27
Tahapan Penelitian.....	27
3.5.1 Tahapan Persiapan	27
3.5.2 Tahapan Pengambilan Data Lapangan.....	27
3.5.3 Tahapan Analisis Laboratorium dan Interpretasi.....	28



3.5.4 Tahapan Penyusunan Laporan	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil	37
4.1.1 Penampang Stratigrafi.....	37
4.1.2 Litologi.....	38
4.1.3 Data Palinologi.....	58
4.1.4 Biozonasi Palinologi	58
4.2 Pembahasan.....	60
4.2.1 Umur Formasi Mallawa Daerah Penelitian	60
4.2.2 Lingkungan Pengendapan Formasi Mallawa Daerah Penelitian.....	61
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Skala ukuran butir Wentworth (1922)	6
Tabel 2 Klasifikasi struktur sedimen (Boggs, 2006).....	9
Tabel 3 Zonasi Palinologi (Rahardjo dkk, 1994).....	18
Tabel 4 Lingkungan pengendapan secara umum (Boggs, 2006)	19
Tabel 5 Penentuan umur satuan batulempung IS/LPS13 pada Zona IV (Blow, 1969)	61
Tabel 6 Penentuan lingkungan pengendapan satuan batulempung LPS13 pada Zona IV (Boltovskoy dan Wrigth, 1976).....	66



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Peta Geologi Regional Lembar Pangkajene Kepulauan dan Watampone bagian Barat, Sulawesi	5
Gambar 2 Kategori kebundaran dan keruncingan butiran sedimen (Pettijohn, dkk., 1957).	7
Gambar 3 Pemilahan ukuran butir dalam batuan sedimen (K. Simpson, 1995).....	8
Gambar 4 Perbedaan polen dan spora berdasarkan kenampakan <i>aperture</i> , polen memiliki pori dan <i>colpi</i> , sedangkan spora memiliki <i>laesure (late)</i> (Traverse, 2007).	15
Gambar 5 Hubungan asosiasi vegetasi dengan lingkungan pengendapan (Haseldonckx, 1974).....	21
Gambar 6 Peta Lokasi Daerah Penelitian	25
Gambar 7 (A) Penghancuran sampel menggunakan mortar dan alu, (B) Penimbangan sampel sebanyak 50 gram	29
Gambar 8 Pengeringan sampel menggunakan oven	29
Gambar 9 Pelarutan Sampel dengan H ₂ O ₂ diatas <i>Magnetic Stirrer</i>	30
Gambar 10 (A) Pelarutan Sampel dengan Aquades, (B) pengukuran pH larutan menggunakan pH meter	30
Gambar 11 Penambahan larutan HF 40% pada sampel.....	31
Gambar 12 Penyaringan ulang sampel dengan cairan aquades baru yang diganti tiap 3 jam selama 3 hari	31
Gambar 13 Sampel dalam tabung <i>centrifuge</i> diputar dengan kecepatan 3000 rpm	32
Gambar 14 Penggantian air sampel yang dilakukan 5x putaran.....	32
Gambar 15 (A) Pemindahan sampel ke dalam botol kaca menggunakan pipet tetes, (B) Sampel siap untuk diletakkan ke preparat.....	32
Gambar 16 Alat dan bahan pembuat preparat	33
Gambar 17 Pengolesan gliserin pada <i>slide glass</i>	33
Gambar 18 Sampel ditetes ke gliserin yang ada pada <i>slide glass</i>	33
Gambar 19 Pengeringan preparate di atas <i>Magnetic Tirrer</i>	34
Gambar 20 Preparat yang telah kering ditetaskan entelan dan ditutup <i>cover glass</i>	34
Gambar 21 Preparat telah siap dianalisis	34
Gambar 22 Diagram Alir Tahapan Penelitian	36
Gambar 23 Lokasi penelitian pada daerah Massenrengpulu. Tinggi pembanding 1.57 m.....	37
Gambar 24 Penampang tegak Formasi Mallawa daerah penelitian.....	38



- Gambar 25** Lintasan bawah berupa material klastik halus; (A) lapisan 1, (B) lapisan 2, dan (C) lapisan 3, pada jarak jauh arah foto N 22° E 39
- Gambar 26** Batulempung pada lapisan 1 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 14° E. Simbol X menunjukkan material organik yang diindikasikan merupakan material sisa tumbuhan. Panjang pembanding 0.33 m..... 39
- Gambar 27** Kenampakan petrografis *Mudrock* pada sayatan IS/LPS1 yang memperlihatkan Kuarsa (8%), matriks berupa Mineral Lempung (86%), dan Mineral Opak (6%). 40
- Gambar 28** Batulempung pada lapisan 2 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 42° E. Simbol X menunjukkan struktur menyerpih dari lapisan batuan ini. Panjang pembanding 0.33 m..... 41
- Gambar 29** Kenampakan petrografis *Mudrock* pada sayatan IS/LPS2 yang memperlihatkan Mineral Lempung (90%) dan Mineral Opak (10%). 41
- Gambar 30** Batubara pada lapisan 3 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 47° E. Panjang pembanding 0.33 m 42
- Gambar 31** Batupasir (ditunjukkan pada simbol X) yang memiliki bidang erosi (ditunjukkan pada garis kuning) pada lapisan 4 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 28° E. Panjang pembanding 0.33 m..... 43
- Gambar 32** Kenampakan petrografis *Feldspathic Wacke* pada sayatan IS/LPS4 yang memperlihatkan Matriks Matriks (55%), Muskovit (17%), Kuarsa (15%), *Rock Fragment* (10%), Mineral Opak (2–3%) 43
- Gambar 33** Lintasan tengah berupa material klastik halus; (A) lapisan 5, (B) lapisan 6, (C) lapisan 7, dan (D) lapisan 8, secara megaskopis pada jarak jauh dengan arah foto N 45° E 44
- Gambar 34** Batupasir pada lapisan 5 secara megaskopis pada jarak dekat, arah foto N 14° E. Panjang pembanding 0.33 m. 45
- Gambar 35** Struktur sedimen *Cross Lamination* pada lapisan 5 dengan arah foto N 38° E. Panjang pembanding 0.33 m. 45
- Gambar 36** Kenampakan petrografis *Lithic Arenite* pada sayatan IS/LPS5 yang memperlihatkan Kuarsa (44%), Ortoklas (27%), *Rock Fragment* (18%), Muskovit (8%), dan Mineral Opak (3%) 46
- Gambar 37** Batulanau struktur sedimen *Lenticular bedding* (ditunjukkan pada simbol X) pada lapisan 6 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 41° E. Panjang pembanding 0.15 m..... 47



Gambar 38	Kenampakan petrografis <i>Mudrock</i> pada sayatan IS/LPS6 yang memperlihatkan Kuarsa (8%) dan Mineral Lempung (92%).	47
Gambar 39	Struktur sedimen <i>Cross Lamination</i> pada lapisan 7 dengan arah foto N 40° E. Panjang pembanding 0.33 m.	48
Gambar 40	Batupasir pada lapisan 7 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 14° E. Simbol X menunjukkan material lanau-lempung yang menjadi komponen pembentuk laminasi pada lapisan batuan ini. Panjang pembanding 0.33 m.	49
Gambar 41	Kenampakan petrografis <i>Arkosic Arenite</i> pada sayatan IS/LPS7 yang memperlihatkan Kuarsa (45%), Ortoklas (30%), <i>Rock Fragment</i> (22%), dan Mineral Opak (3%).....	50
Gambar 42	Perlapisan; A) Batulempung, (B) Batulanau, dan (C) Batupasir yang telah teroksidasi, pada lapisan 8 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 14° E	51
Gambar 43	Batupasir pada lapisan 9 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 28° E. Panjang pembanding 0.33 m	52
Gambar 44	Kenampakan petrografis <i>Lithic Arenite</i> pada sayatan IS/LPS9 yang memperlihatkan Kuarsa (54%), <i>Rock Fragment</i> (25%), dan Ortoklas (19%).....	52
Gambar 45	Perlapisan; A) batupasir yang telah teroksidasi, dan (B) batulanau, pada lapisan 10 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 22° E. Panjang pembanding 0.147 m...	53
Gambar 46	Batupasir pada lapisan 11 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 30° E	54
Gambar 47	Kenampakan petrografis <i>Lithic Arenite</i> pada sayatan IS/LPS11 yang memperlihatkan Kuarsa (45%), <i>Rock Fragment</i> (30%), Ortoklas (17%), Muskovit (5%), dan Mineral Opaq (3%)	54
Gambar 48	Batupasir pada lapisan 12 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 31° E	55
Gambar 49	Kenampakan petrografis <i>Lithic Arenite</i> pada sayatan IS/LPS12 yang memperlihatkan Kuarsa Kuarsa (53%), <i>Rock Fragment</i> (28%), Ortoklas (16%), dan Mineral Opaq (3%).....	56
Gambar 50	Batulempung (ditunjukkan pada simbol X) pada lapisan 13 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 34° E	56
Gambar 51	Batulempung pada lapisan 13 secara megaskopis pada jarak dekat dengan arah foto N 33° E	57
Gambar 52	Kenampakan petrografis <i>Mudrock</i> pada sayatan IS/LPS13 yang memperlihatkan Mineral Lempung (100%).....	57
	53 Persentase kelimpahan palinomorf lintasan Massenrengpulu	58
	54 Biozonasi lintasan Massenrengpulu.....	59



- Gambar 55** ((A) *Orbulinoides beckmanni*, (B) *Hastigerina micra*,
(C) *Truncorotaloides rohri*, (D) dan (E) *Globorotalia renzi*..... **61**
- Gambar 56** Interpretasi lingkungan pengendapan lintasan Massenrengpulu
berdasarkan kelimpahan palinomorf..... **62**
- Gambar 57** Beberapa fosil palinomorf yang dijumpai pada lintasan
Massenrengpulu; (A) *Avicennia type*, (B) *Lakiapollis* sp.,
(C) *Acrostichum aureum*, (D) *Proxapertites operculatus*,
(E) *Longapertites* sp., (F) *Palmaepollenites kutchensis*,
(G) *Excoecaria*, (H) *Cicatricosporis eoceneicus*,
(I) *Meyeripollis naharkotensis*, (J) *Florscuetzhia trilobata*,
(K) *Quercoidites* sp., (L) *Magnastriatites grandiosus*,
(M) *Compositae*, (N) *Elaeocarpus*, (O) *Discoidites* sp.,
(P) *Fungal Spore*..... **63**
- Gambar 58** (A) *Buliminella* sp., (B) *Ammonia beccarii*..... **66**
- Gambar 59** Lokasi daerah penelitian pada lingkungan pengendapan delta;
(A) Zona I (*Backmangrove–Peat Swamp Forest*),
(B) Zona II (*Lowland Forest*), (C) Zona III (*Lowland Forest*),
(D) Zona IV (*Mangrove*) **68**



DAFTAR LAMPIRAN

1. Deskripsi petrografi IS/LPS1
2. Deskripsi petrografi IS/LPS2
3. Deskripsi petrografi IS/LPS4
4. Deskripsi petrografi IS/LPS5
5. Deskripsi petrografi IS/LPS6
6. Deskripsi petrografi IS/LPS7
7. Deskripsi petrografi IS/LPS9
8. Deskripsi petrografi IS/LPS11
9. Deskripsi petrografi IS/LPS12
10. Deskripsi petrografi IS/LPS13
11. Hasil uji lab distribusi palinomorf oleh Laboratorium Mikropaleontologi Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta.
12. Pengelompokkan jenis sporomorf dan lingkungan pengendapan tiap spesies dari palinomorf teridentifikasi
13. Deskripsi fosil foraminifera

Lampiran Lepas:

1. Peta Stasiun Daerah Penelitian
2. Peta Geologi Daerah Penelitian
3. Kolom Penampang Stratigrafi



DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
%	Persen
>	Lebih dari
<	Kurang dari
±	Kurang lebih
°	Derajat
//-Nikol	Nikol sejajar
X-Nikol	Nikol silang
Tem	Formasi Mallawa
HCl	Hidrogen klorida
H ₂ O ₂	Hidrogen peroksida
HF	Hidrogen fluorida
pH	<i>Potential Hydrogen</i>
rpm	Revolusi per menit
Qrz	Kuarsa
Or	Ortoklas
Mx	Matriks
Ms	Muskovit
Rf	<i>Rock Fragment</i>
Opq	Opaq



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bumi telah ada sejak 4,6 miliar tahun yang lalu. Pada masa itu, bumi mengalami fase glasial dan interglasial yang membuat suhu rata-rata global mendingin dan menghangat. Para ilmuwan kemudian mempelajari dan merekonstruksi kondisi iklim purba (*paleoclimates*) untuk memahami bagaimana Bumi berubah dan kehidupan zaman purba dalam menghadapinya selama ratusan ribu bahkan jutaan tahun lalu. Untuk sampai pada tahap penarikan kesimpulan terkait *Paleoclimate* suatu wilayah, terdapat berbagai macam analisis yang dapat digunakan salah satunya ialah analisis lingkungan purba (*Paleoenvironment*). Adapun analisis ini bertujuan untuk merekonstruksi sifat fisik lingkungan lokasi pengendapan pada masa lampau berdasarkan catatan paleontologis batuan.

Lingkungan pengendapan adalah karakteristik dari suatu tatanan geomorfik dimana proses fisik, kimia dan biologi berlangsung yang menghasilkan suatu jenis endapan sedimen tertentu. Banyak cara dalam melakukan analisis lingkungan pengendapan diantaranya dengan memperhatikan geometri endapan, litologi, struktur sedimen, pola arus purba, dan kandungan fosil (Selley, 2000). Formasi Mallawa (Tem) terdapat di bagian barat Sulawesi Selatan, yang diduga terendapkan pada lingkungan *terrestrial/marginal marine* yang menerus ke atas secara transgresif sampai ke lingkungan laut dangkal (Wilson, 1995). Kehadiran Formasi Mallawa pada Daerah Massenrengpulu, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan terdiri dari Batulempung, sisipan Batubara, Batulanau, dan Batupasir. Tebalnya lapisan Batubara yang telah menunjukkan struktur *bedding* serta peningkatan *Coal Maturity Rank* yang berbeda dibandingkan dengan sisipan Batubara Formasi Mallawa pada daerah lain menjadi hal yang menarik dan menimbulkan pertanyaan baru terkait mekanisme pengendapan material sedimen dan kaitannya dengan batulempung yang menjadi lapisan dasar sebelum nya batubara. Hal inilah yang akan menjadi informasi dalam menganalisa n lingkungan yang terjadi pada masa lampau.



Penelitian difokuskan pada pengamatan stratigrafi yang dilakukan dengan menggunakan metode *measuring section*, pengamatan struktur sedimen, kelimpahan palinomorfor dan foraminifera. Dengan metode tersebut, diharapkan dapat diperoleh informasi tentang kondisi lingkungan masa lalu yang berpengaruh terhadap pembentukan batulempung lokasi ini. Penelitian tentang *Paleoenvironment* Batulempung Formasi Mallawa Daerah Massenrengpulu, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan ini merupakan salah satu upaya dalam memenuhi kebutuhan data dan informasi geologi khususnya tentang Formasi Mallawa secara detail di daerah penelitian. Hal inilah yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pembentukan Formasi Mallawa daerah penelitian berdasarkan tekstur dan struktur
2. Bagaimana pengaruh kondisi lingkungan pengendapan terhadap pembentukan Formasi Mallawa daerah penelitian
3. Bagaimana pengkorelasian umur dan lingkungan pengendapan Formasi Mallawa berdasarkan kelimpahan palinomorfor serta keterdapatannya foraminifera pada Formasi Mallawa daerah penelitian

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dari diadakannya penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisa perubahan lingkungan yang terjadi selama sejarah geologi bumi dalam proses pengendapan batuan penyusun Formasi Mallawa.

Sedangkan adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pembentukan Formasi Mallawa daerah penelitian berdasarkan tekstur dan struktur
2. Mengetahui pengaruh kondisi lingkungan pengendapan terhadap pembentukan Formasi Mallawa daerah penelitian



3. Mengetahui pengkorelasian umur dan lingkungan pengendapan Formasi Mallawa berdasarkan kelimpahan palinomorf serta keterdapatannya foraminifera pada Formasi Mallawa daerah penelitian

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian tentang *Paleoenvironment* Batulempung Formasi Mallawa Daerah Massenrengpulu, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan ini merupakan salah satu upaya dalam memenuhi kebutuhan data dan informasi geologi khususnya tentang Formasi Mallawa secara detail di daerah penelitian.

1.5 Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini cakupan permasalahan dibatasi pada identifikasi pola siklus lingkungan pengendapan pada daerah penelitian yakni daerah Massenrengpulu, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan. Sedangkan metode yang digunakan adalah analisis keberadaan tekstur dan struktur sedimen, analisa mikrofosil, serta analisa palinomorf dan kelimpahannya dalam penentuan umur Formasi Mallawa. Pada akhirnya aspek tersebut mendukung hadirnya kesimpulan terkait lingkungan pengendapan purba (*paleoenvironment*) tempat terbentuknya daerah penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

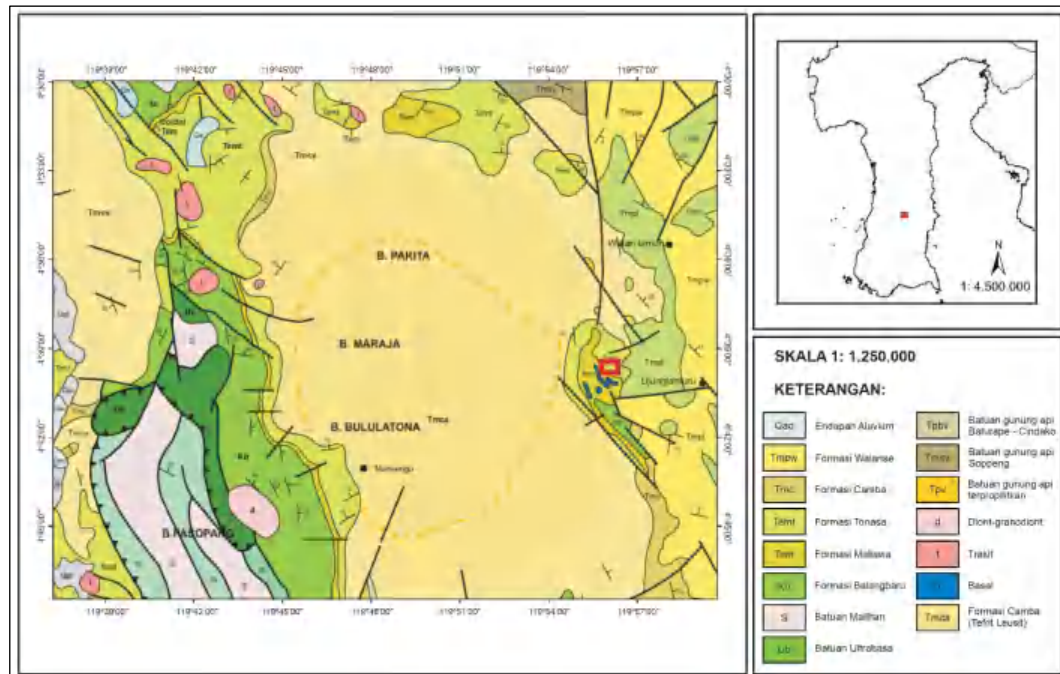
2.1 Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan geologi regional, daerah penelitian termasuk dalam wilayah Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi (Sukamto, 1982), secara administratif lokasi penelitian terletak pada Daerah Massenrengpulu, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis terletak pada 4°39'22" LS (Lintang Selatan), 119°56'17" BT (Bujur Timur). Daerah penelitian terletak pada bagian tengah peta, yaitu di sekitar Lembah Walanae dengan daerah perbukitan bergelombang yang sebagian besar terdiri dari daerah ladang dan persawahan.

Tatanan stratigrafi regional daerah penelitian menurut Rab Sukamto (1982), merupakan bagian dari Formasi Malawa yang terendapkan pada daerah transisi selama Eosen dan umumnya didominasi batupasir yang kaya kuarsa, sedangkan Wilson dan Bosence (1996) menunjukkan bahwa Formasi Malawa diendapkan pada lingkungan terestrial/transisi dan secara transgresif menjadi laut dangkal. Secara umum Formasi Malawa tersebar di daerah Doidoi, Malawa, sepanjang Sungai Duri, Gatareng, Sungai Umpung, Birane, Tondongkura, dan Padanglampe yang merupakan lokasi penelitian. Sebaran Formasi Malawa di Sulawesi ditunjukkan oleh Hasibuan (2009).

Hubungan stratigrafi dengan formasi di atasnya selaras dengan Formasi Tonasa dan di bawahnya selaras dengan Formasi Balangbaru. Umur Formasi Mallawa yakni Eosen (Wolcort, 1973), dimana dijumpai fosil plankton, berdasarkan fosil bentoniknya berupa *Batalia luscarii* dan *Quincuela culina* maka lingkungan pengendapan Formasi ini adalah Neritik dangkal (0 – 50 m) (Bandy, 1964).





Gambar 1 Peta Geologi Regional Lembar Pangkajene Kepulauan dan Watampone bagian Barat, Sulawesi

2.2 Batuan Sedimen

Batuan sedimen merupakan batuan yang terbentuk oleh konsolidasi sedimen, sebagai material lepas, yang terangkut ke lokasi pengendapan oleh air, angin, es dan juga longsoran gravitasi, gerakan tanah atau juga tanah longsor. Selain terbentuk dari demikian, batuan sedimen ini juga terbentuk oleh penguapan larutan kalsium karbonat, silika, garam, dan juga material- material lainnya (Hutton, 1875). Batuan sedimen menyimpan banyak informasi geologi yang menggambarkan beragam proses yang pernah terjadi atau yang sedang terjadi sepanjang usia bumi. Proses yang beragam tersebut akan menghasilkan jenis dan karakteristik batuan sedimen yang beragam.

Studi mengenai batuan sedimen baik secara megaskopis maupun mikroskopis dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, salah satunya untuk mengetahui perubahan lingkungan yang terjadi pada suatu wilayah, dengan meneliti material pembentuk batuan sedimen serta ciri fisik lainnya seperti struktur sedimen tersebut yang kemudian dapat dihubungkan dengan lingkungan sekitarnya.



2.2.1 Tekstur Batuan Sedimen

Pemahaman menyeluruh tentang sifat dan pentingnya tekstur sedimen merupakan hal mendasar dalam interpretasi lingkungan pengendapan purba dan kondisi transportasi. Adapun tekstur batuan terdiri atas ukuran butir, bentuk butir, kebundaran, sortasi, dan hubungan antar butir (kemas).

1. Ukuran butir merupakan penciri dasar dari batuan sedimen silisiklastik dan merupakan salah satu sifat deskriptif penting dari batuan tersebut. Ukuran butir mencerminkan proses pelapukan dan erosi yang menghasilkan partikel dengan berbagai ukuran dan sifat proses transportasi selanjutnya. Batuan sedimen klastik digolongkan dan diberi nama sesuai dengan ukuran butirnya. Pembagian tersebut disampaikan oleh Wentworth, 1922. Adapun rinciannya sebagai berikut

Tabel 1 Skala ukuran butir Wentworth (1922)

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (ϕ)	Wentworth size class	Rock type
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble	
64		-6.0	Pebble	
4		-2.0	Granule	
2.00		-1.0		
1.00		0.0	Very coarse sand	Sandstone
1/2	0.50	1.0	Coarse sand	
1/4	0.25	2.0	Medium sand	
1/8	0.125	3.0	Fine sand	
1/16	0.0625	4.0	Very fine sand	
1/32	0.031	5.0	Coarse silt	Siltstone
1/64	0.0156	6.0	Medium silt	
1/128	0.0078	7.0	Fine silt	
1/256	0.0039	8.0	Very fine silt	
0.00006	0.06	14.0	Clay	Claystone



2. Bentuk butir merupakan kenampakan dimensi bentuk dari butiran sedimen. Zing (1935) dalam Boggs (2006) membagi bentuk butiran menjadi empat bagian yaitu:

- a. *Roller (Prolate)*
- b. *Blades*
- c. *Disk (Tabular)*
- d. *Equant*

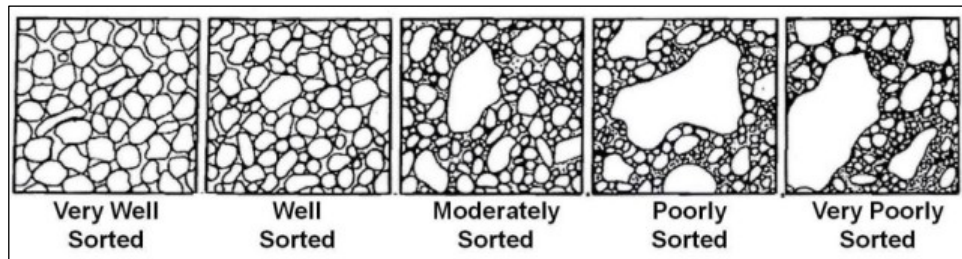
3. Kebundaran (*Roundness*) mengacu pada tingkat ketajaman sudut butiran. Berdasarkan kebundaran butir sedimen, maka Pettijohn (1957) membagi kategori kebundaran menjadi enam tingkatan yang ditunjukkan dengan kebundaran rendah hingga tinggi. Adapun diantaranya dapat dilihat pada gambar berikut.

	Well rounded	Rounded	Sub-rounded	Subangular	Angular	Very angular
Low sphericity						
High sphericity						

Gambar 2 Kategori kebundaran dan keruncingan butiran sedimen (Pettijohn, dkk., 1957).

4. Sortasi merupakan tingkat keseragaman butir. Batuan sedimen yang memiliki sortasi baik (*well sorted*) memperlihatkan kenampakan ukuran butir yang seragam pada semua komponen batuan sedimen. Sedangkan batuan sedimen yang memiliki sortasi buruk (*poorly sorted*) memperlihatkan kenampakan ukuran butir yang beragam dimulai dari lumpur hingga kerikil atau bahkan bongkah.





Gambar 3 Pemilahan ukuran butir dalam batuan sedimen (K. Simpson, 1995 dalam Boggs, 2006)

5. Hubungan antar butir (kemas) mengacu pada seberapa banyak rongga yang terdapat diantara butiran. Batuan sedimen yang memiliki kemas baik, tertutup berarti semakin sedikit rongga yang ada diantara butiran. Sebaliknya pada batuan sedimen yang memiliki kemas terbuka berarti memiliki banyak rongga diantara butirannya.

2.2.2 Struktur Batuan Sedimen

Struktur sedimen adalah kenampakan batuan sedimen dalam dimensi besar yang memperlihatkan bentuk berbeda dari perlapisan normal batuan sedimen yang diakibatkan proses pengendapan dan keadaan energi pembentuknya. Sebagian besar struktur sedimen terbentuk oleh proses fisika sebelum, selama, dan sesudah sedimentasi. Struktur sedimen memberikan informasi tentang lingkungan pengendapan, sejarah bumi, dan proses geologis yang terjadi selama jutaan tahun.

Menurut Boggs (2006), struktur batuan sedimen dibedakan menjadi empat kelompok yaitu *Depositional Structure*, *Erosional Structure*, *Deformation Structure*, dan *Biogenic Structure*. Adapun rinciannya. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.



Tabel 2 Klasifikasi struktur sedimen (Boggs, 2006)

GENETIC CLASSIFICATION MORPHOLOGICAL CLASSIFICATION	Depositional Structures			Erosional Structures		Deformation Structures						Biogenic Structures	
	Suspension settling and current- and wave-formed structures	Wind-formed structures	Chemically and biochemically formed structures	Scour Marks	Tool Marks	Slump structures	Load and founder structures	Injection (fluidization) structures	Fluid-escape structures	Desiccation structures	Impact structures (rain, hail, and spray)	Bioturbation structures	Biostratification structures
STRATIFICATION AND BEDFORMS													
Bedding and lamination													
Laminated bedding	X	X	X										
Graded bedding	X											X	
Massive (structureless) bedding	X											X	
Bedforms													
Ripples	X	X											
Sand waves	X												
Dunes	X	X											
Antidunes	X												
Cross-lamination													
Cross-bedding	X	X											
Ripple cross-lamination	X	X											
Flaser and lenticular bedding	X												
Hummocky cross-bedding	X												
Irregular stratification													
Convolute bedding and lamination							X						
Flame structures							X						
Ball and pillow structures							X						
Synsedimentary folds and faults						X							
Dish and pillar structures									X				
Channels				X									
Scour-and-fill structures				X									
Mottled bedding												X	
Stromatolites													X
BEDDING-PLANE MARKINGS													
Grooves casts; striations; bounce, brush, prod, and roll marks					X								
Flute casts				X									
Parting lincation	X												
Load casts							X						
Tracks, trails, burrows												X	
Mudcracks and syneresis cracks										X			
Pits and small impressions											X		
Rill and swash marks	X												
OTHER STRUCTURES													
Sedimentary sills and dike								X					



1. *Depositional Structure*

Depositional Structure merupakan struktur sedimen yang terjadi bersamaan proses pengendapan. Adapun yang termasuk struktur sedimen tersebut antara lain yaitu:

a. *Massive*

Perlapisan *massive* mengacu pada batuan yang memiliki sifat pejal, tanpa retakan, dan terbentuk bersamaan dengan proses sedimentasi.

b. Perlapisan Sejajar / *Bedding*

Struktur ini memperlihatkan susunan lapisan-lapisan (*beds*) pada batuan sedimen, dengan ketebalan setiap lapisan > 1 cm.

c. Laminasi

Struktur ini memperlihatkan susunan lapisan halus (disebut juga lamina) yang terjadi pada batuan sedimen. *Laminae* biasanya lebih kecil dan kurang menonjol daripada *bedding*, dengan ketebalan setiap lapisan < 1 cm.

d. *Graded Bedding*

Graded-Bedding atau struktur perlapisan bergradasi memiliki ciri-ciri ukuran butir penyusun batuan sedimen berubah secara gradual (butiran yang lebih besar terendapkan terlebih dahulu, sedangkan yang lebih halus terendapkan di atasnya). Dalam *graded bedding*, lapisan-lapisan (*beds*) pada batuan sedimen memiliki ketebalan setiap lapisan > 1 cm. Struktur ini sering ditemukan dalam lingkungan pengendapan seperti longsor dalam danau atau laut.

e. *Cross Bedding* dan *Cross Lamination*

Struktur ini memperlihatkan perlapisan atau laminasi yang membentuk sudut terhadap bidang lapisan yang berada di atasnya ataupun di bawahnya dan dipisahkan oleh bidang erosi. Struktur ini terbentuk akibat intensitas arus yang berubah-ubah.



f. *Ripple*

Ripple marks sering ditemukan di dasar sungai atau di pantai. *Ripple marks* memberikan informasi tentang bagaimana sedimen tersebut terbentuk dan berinteraksi dengan aliran air dan angin. *Ripple marks* pada sedimen membentuk pola seperti gelombang.

2. *Erosional Structure*

Struktur sedimen *erosional structure* terbentuk akibat erosi yang mempengaruhi lapisan batuan sedimen. Struktur sedimen ini terbentuk sebelum proses pembatuan dan diendapkannya sedimen yang lebih muda.

a. *Flute cast*

Flute cast adalah struktur batuan sedimen yang terbentuk di permukaan lapisan batuan akibat pengaruh arus. Struktur ini memiliki bentuk seperti gerusan, memanjang hingga berbentuk segitiga dan biasanya terjadi pada batuan pasir. *Flute cast* dapat menjadi penanda untuk bagian atas aliran dalam batuan sedimen dan penciri endapan turbidit dan dapat menunjukkan arah arus purba.

b. *Groove cast*

Groove cast merupakan bentukan parit memanjang pada lapisan batupasir karena pengisian gerusan memanjang memotong pada batulempung. Struktur ini memiliki bentuk yang membundar hingga berpuncak tajam dan biasanya muncul berkelompok, di mana himpunan kedua memotong himpunan pertama dengan sudut pemotongan yang lancip.

c. *Tool mark*

Tool cast adalah tanda yang dihasilkan oleh pemotongan atau bekas tindakan dari air atau pun udara yang mengalir di atas dasar sungai atau badan sungai.

d. *Channel*

Channel memiliki kenampakan khas yaitu berupa struktur yang memotong perlapisan atau lamina di bawahnya dan dikenali sebagai permukaan erosi pada tubuh atau dasar lapisan. *Channel* dan *scour* memiliki ukuran berbeda, dimana *channel* berukuran lebih besar



(meter sampai kilometer) dibanding *scour*. *Channel* terbentuk oleh proses sedimentasi yang berjalan lama sehingga memiliki pengaturannya klastik yang lebih baik. Struktur *channel* mengendapkan material yang lebih kasar dibandingkan dengan material disekitarnya dan memungkinkan terdapat struktur perlapisan silang siur.

3. *Deformation Structure*

Struktur deformasi pada sedimen terjadi selama proses pengendapan atau segera setelahnya, pada tahap awal konsolidasi sedimen. Formasi ini terjadi ketika sedimen masih dalam keadaan belum mengeras.

a. *Slump*

Slump terbentuk akibat pergeseran dan pergerakan sedimen yang belum terkonsolidasi, terutama di daerah dengan kemiringan curam dan laju sedimentasi yang cepat. Struktur ini sering kali terdapat patahan

b. *Flame Structure*

Flame structure merupakan bentukan seperti api yang di akibatkan lapisan di atasnya lebih berat dan lapisan yang di bawahnya tertarik ke atas. Deformasi ini disebabkan oleh pasir yang terendapkan di atas lumpur yang lebih padat.

c. *Load Cast*

Struktur ini terbentuk karena adanya pembebanan material suatu lapisan terhadap lapisan lainnya sehingga membentuk lengkungan ke bawah. *Load casts* terbentuk bersamaan dengan *flame structures*. *Flames* adalah jari-jari tipis lumpur yang disuntikkan ke atas pasir di atasnya, sedangkan *load casts* adalah tonjolan pasir yang menggantung dan menembus ke bawah di antara *flame*.

d. *Convolute Bedding*

Terbentuk ketika lipatan dan kerutan kompleks terjadi pada lapisan atau laminasi. Biasanya ditemukan pada pasir halus atau lanau, dan terbatas pada satu lapisan batuan. Ukurannya berkisar antara 3 hingga 25 cm, bahkan ada yang mencapai beberapa meter



e. *Dish structure*

Struktur sedimen ini terdapat pada batupasir yang berbentuk cekung seperti mangkuk, terbentuk ketika air mencoba keluar dari pasir yang terendapkan dengan cepat namun menemui penghalang horizontal dengan permeabilitas yang agak rendah (biasanya zona dengan ukuran butir lebih kecil dan/atau lumpur tersebar). Hal ini memaksa air mengalir kesamping hingga menemukan tempat untuk naik lagi. Sisi-sisi zona bawah ini membengkok ke atas saat air naik. Akhirnya struktur pilar, zona vertikal pasir yang lebih bersih dapat terbentuk di sisi piring.

f. *Sole structure*

Struktur sedimen ini ditemukan di bagian bawah batuan sedimen yang menutupi lapisan serpih, biasanya batupasir. Mereka digunakan untuk menentukan arah aliran arus lama karena fitur arahnya. Tanda ini terbentuk dari erosi lapisan, yang menciptakan alur yang kemudian diisi oleh sedimen.

4. *Biogenic Structure*

Struktur sedimen biogenik adalah bukti interaksi antara organisme dan substrat yang terawetkan dalam batuan. Struktur ini diproduksi secara biologis dan mencakup berbagai jejak yang dibuat oleh organisme. Adapun diantaranya meliputi:

a. Struktur Bioturbasi

Hal ini mencerminkan gangguan fitur stratifikasi biogenik dan fisik atau struktur sedimen yang disebabkan oleh aktivitas organisme. Contohnya termasuk *tracks*, *trails*, *burrows*, dan struktur serupa lainnya

b. Struktur Biostratifikasi

Struktur Biostratifikasi terdiri dari stratifikasi yang diberikan oleh organisme. *biogenic graded bedding*, *byssal mats*, stromatolit tertentu, dan fitur serupa



c. Struktur Biodeposisi

Struktur Biodeposisi mencerminkan produksi atau konsentrasi sedimen oleh organisme. Mereka mencakup *fecal pellets*, *pseudofeces*, produk bioerosi, dan struktur terkait

d. Struktur Bioerosi

Struktur Bioerosi digali secara mekanis atau biokimia oleh organisme ke dalam substrat yang kaku. Contohnya seperti *borings*, *gnawings*, *scrapings*, dan jejak lainnya

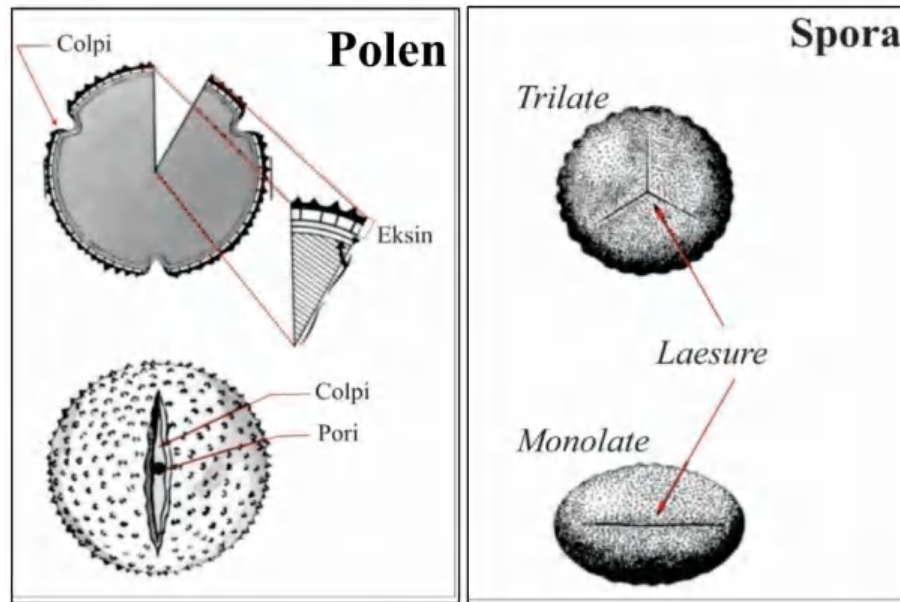
2.3 Palinologi

Secara umum palinologi adalah ilmu mengenai palinomorf yang terdiri atas sporomorf (polen, spora dan spora jamur); zoomorf (*Foraminifera Test Lining*, Chitinozoa dan Scelodont) serta fitoplankton (dynocysts, merop/ankton, Acritarch, Rhodofita dan Cyanobakteria) (Tyson, 1955 dalam Nugroho, 2014). Morley (1990) mengungkapkan bahwa berdasarkan klasifikasi mikrofosil, polen, spora dan dinoflagelata merupakan palinomorf asal tumbuhan yang berdinding organik, sedangkan foraminifera berasal dari hewan yang berdinding karbonatan dan organik.

Berdasarkan asal usulnya, polen merupakan bagian bunga berisi gametofit jantan pada tumbuhan berbunga Anthophyta baik Gymnospermae (Pinophyta) maupun Angiospermae (Magnoliophyta), sedangkan spora biasanya dihasilkan tumbuhan non vaskuler seperti alga, jamur, lumut serta tumbuhan vaskuler tingkat rendah lain yaitu tumbuhan lumut (Bryophyta) dan paku (Pteridophyta). Polen dan spora berasal dari tumbuhan yang akan membentuk vegetasi pada suatu lingkungan tertentu, sehingga dapat digunakan untuk merekonstruksi flora dan vegetasi yang berada di sekelilingnya. Perbedaan utama antara polen dan spora terletak pada aperturnya (Gambar 5). Polen menunjukkan apertur berupa pori dan colpi, sedangkan spora memiliki *laesure* (Traverse, 2007). Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mengidentifikasi sporomorf, diantaranya yaitu jumlah

ak butir, ukuran, ornamentasi eksin, bentuk apertur, dan karakteristiknya (jika ada).





Gambar 4 Perbedaan polen dan spora berdasarkan kenampakan aperture, polen memiliki pori dan colpi, sedangkan spora memiliki *laesure* (late) (Traverse, 2007).

Polen dan spora berasal dari tumbuhan yang hidup pada suatu lingkungan tertentu, sehingga dapat digunakan untuk merekonstruksi flora dan vegetasi yang berada disekelilingnya. Bukti palinologi (palinomorf) merepresentasikan sebaran penyusun vegetasi beserta kondisi lingkungannya. Morley (1990) menyatakan bahwa dengan diketahui tipe polen dan spora selanjutnya dapat dirunut dan diketahui takson tumbuhan penghasil. Penggunaan bukti palinologi berupa fosil polen dan spora merupakan cara yang tepat, karena dapat mengungkap latar belakang perubahan vegetasi dan lingkungan suatu daerah pada satu periode waktu tertentu (Suedy, 2012 dalam Nugroho, 2014).

Dikutip dari Suedy (2012) dalam Nugroho (2014), Palinologi banyak digunakan dalam aplikasi yang berhubungan dengan disiplin ilmu lain, contohnya geokronologi, biostratigrafi, perubahan iklim, migrasi, evolusi flora, stratigrafi, paleoekologi, paleoklimatologi dan arkeologi. Fosil polen dan spora merupakan sumber data palinologi yang sangat penting dan dapat diterapkan secara luas, karena:



Dapat ditemukan melimpah dan terawetkan dalam sedimen serta jumlah dapat dihitung sehingga menghasilkan suatu spektrum, berukuran kecil dan melimpah sehingga hanya diperlukan sedikit sedimen sebagai sampel yang memadai,

3. Resisten terhadap kerusakan baik oleh asam, kadar garam, suhu dan tekanan lain sehingga dapat tersimpan pada berbagai keadaan,
4. Dapat diidentifikasi dengan bantuan mikroskop sehingga secara taksonomi dapat diketahui taksa penghasilnya,
5. Berasal dari tumbuhan yang membentuk vegetasi suatu area sehingga fosil polen dan spora dapat digunakan untuk merekonstruksi vegetasi baik lokal maupun regional yang berada di sekeliling lingkungan pengendapan

2.4 Foraminifera

Foraminifera adalah organisme bersel tunggal yang hidup secara akuatik (terutama hidup di laut, mungkin seluruhnya), mempunyai satu atau lebih kamar yang terpisah satu sama lain oleh sekat (*septa*) yang ditembusi oleh banyak lubang halus. Foraminifera merupakan indikator untuk mengetahui bagaimana kondisi lingkungan perairan tempat mikrofauna tersebut hidup (Nobes dan Uthicke, 2008).

Banyak studi yang menunjukkan bahwa keberadaan, distribusi dan kelimpahan foraminifera sangat dipengaruhi oleh kondisi sedimen dan lingkungan foraminifera tersebut berada. Foraminifera dibedakan menjadi dua berdasarkan cara hidupnya, yaitu foraminifera planktonik dan foraminifera bentonik. Foraminifera planktonik hidup di sekitar permukaan air laut dan mengambang, sedang Foraminifera bentonik hidup di dasar laut. Foraminifera bentonik sering dipakai untuk penentuan lingkungan pengendapan, sedangkan foraminifera planktonik dipakai untuk penentuan umur.

Penentuan umur suatu batuan menggunakan Foraminifera planktonik dengan cara pembuatan kolom pendistribusian kandungan fosil yang terdapat dalam suatu batuan tersebut. Dalam penentuan umur dapat melihat biozonasi foraminifera yang telah dibuat oleh peneliti terdahulu diantaranya Blow (1969), Postuma (1971), dan Boltovskoy dan Wright (1976)



Foraminifera bentonik dapat dipakai sebagai indikator penentuan lingkungan pengendapan secara umum menurut Boltovskoy dan Wright (1976) adalah:

1. *Intertial zone*, banyak dijumpai genus *Ammonia beccarii*, *Elphidium*, *Discorbis*, *Buliminella*, dan *Cibicides*.
2. *Inner neritic (shelf) zone* (0-30 m), masih dijumpai genus *Elphidium*, *Ammonia*, *Quinqueloculina*, dan *Cibicides*, *Poroepionides*.
3. *Middle neritic (shelf) zone* (30-100 m), banyak dijumpai genus *Textularia*, *Trochammina*, *Ammonia*, *Elphidium*, *Quinqueloculina*, *Triloculina*, *Priroculina*, *Discorbis*, *Buliminella*, *Amphistegina*, *Peneroplis*, *Archaias*, *Haterostegina* dan *Bucella*.
4. *Outer neritic (shelf) zone* (100-130 m), banyak dijumpai genus *Lagena*, *Bulimina*, *Cibicides*, *Nonionella*, *Uvigerina*, *Cassidulina*, *Nonionella*, *Uvigerina*, *Fusenkoina* dan *Pullenia*.
5. *Upper and Middle Bathyal zone* (130-1000 m), banyak dijumpai genus *Bolivina*, *Uvigerina*, *Cassidulina*, *Gyroidina*, *Pyrgo*, *Bulimina*, *Pullenia* dan *Cibicides*.
6. *Lower Bathyal zone* (1000-3000 m), banyak dijumpai genus *Oridorsalis*, *Stilostomella*, *Pleurostomella*, *Melonis*, *Gyroidina*, *Globocassidulina*, *Cibicides*, *Epistominella*, *Pyrgo*, dan *Egrella*.
7. *Abyssal zone* (3000-5000 m), banyak dijumpai genus *Bathysiphon*, *Cyclammina*, *Haplophragmoides*, *Rhabdammina*, dan *Cribr stomoides*

2.5 Biozonasi

Flora Indonesia bagian barat menyebar ke timur hingga lengan selatan Sulawesi pada Pra-Tersier. Pada akhir Eosen, penyebaran flora Indonesia Barat terbatas hingga Sulawesi Selatan di sebelah timur Garis Wallace (Morley, 1998). Taksa yang dijumpai di Sulawesi Selatan juga menunjukkan kesamaan dengan taksa tumbuhan di Indonesia bagian barat seperti *Palmaepollenites kutchensis*,



idites matsukae, *Dicolpopolis*, dll. Oleh karena itu, analisis biostratigrafi untuk menentukan umur Formasi Malawa dilakukan dengan menggunakan zonasi di Indonesia Barat menurut Rahardjo dkk. (1994) (Tabel 3).

Tabel 3 Zonasi Palinologi (Rahardjo dkk, 1994)

Age				Species Diagnostic									Palynological Zonations	Biodatums	Characteristics		
		Blow (1969)	Martini (1971)	<i>Monoporetites annulatus</i>	<i>Dacrycapidites australiensis</i>	<i>Stenochlaemidites papuanus</i>	<i>Florshuetzia meridionalis</i>	<i>Florshuetzia levipoli</i>	<i>Florshuetzia trilobata</i>	<i>Meyeripollis naharkotensis</i>	<i>Stenochlaena areolaris</i>	<i>Proxapertites operculatus</i>					
0.14	Holocene	N.23											<i>Monoporetites annulatus</i>		The presence abundance of <i>Monoporetites annulatus</i> , associate with <i>Dacrycapidites australiensis</i> and the absence of <i>Stenochlaemidites papuanus</i> .		
	Pleistocene	N.22															
1.9	Pliocene	Late	N.21 NN.17										<i>Dacrycapidites australiensis</i>	▼ <i>S. papuanus</i> ▲ <i>D. australiensis</i>	The co-occurrences of <i>Dacrycapidites australiensis</i> and <i>Stenochlaemidites papuanus</i> .		
3.4			N.20 NN.15														
		Early	N.19 NN.14 NN.13														
5.1			N.18 NN.12 NN.11											<i>Stenochlaemidites papuanus</i>		The presence of <i>Stenochlaemidites papuanus</i> , without the occurrence of <i>Dacrycapidites australiensis</i> and <i>Florshuetzia trilobata</i> .	
		Late	N.17 NN.10														
10.2			N.16 NN.9														
Miocene	Middle	N.15 NN.8 NN.7												▼ <i>F. trilobata</i>		The co-occurrences of <i>Florshuetzia meridionalis</i> and <i>Florshuetzia trilobata</i> .	
		N.14 NN.6															
		N.9 NN.5 NN.4															
		Early	N.8 NN.3 NN.2 N.4 NN.1														
25.2	Oligocene	Late	P.22 NP.25 P.21 NP.24 NP.23														
30.0		Early	P.18 NP.21 P.17 NP.19														
36.0	Eocene																
		Late	P.16 NP.18 P.15 NP.17														
39.0																	
		Middle	P.14 NP.16														

2.6 Lingkungan Pengendapan

Lingkungan pengendapan adalah bagian dari permukaan bumi dimana proses fisik, kimia dan biologi berbeda dengan daerah yang berbatasan dengannya (Selley, 2000). Sedangkan menurut Boggs (2006), lingkungan pengendapan adalah karakteristik dari suatu tatanan geomorfik dimana proses fisik, kimia dan biologi berlangsung yang menghasilkan suatu jenis endapan sedimen tertentu. Banyak cara lain melakukan analisis lingkungan pengendapan diantaranya dengan memperhatikan geometri endapan, litologi, struktur sedimen, pola arus purba, dan kandungan fosil (Selley, 2000).



Batuan sedimen yang telah terendapkan dalam selang waktu tertentu dibagi menjadi tiga lingkungan pengendapan utama: kontinental atau terestrial, yaitu di darat; zona transisi, yaitu batas antara laut dan daratan, dan laut lepas, yang selanjutnya dibagi lagi menjadi sub-lingkungan (Tabel 4).

Tabel 4 Lingkungan pengendapan secara umum (Boggs, 2006)

Lingkungan Pengendapan Primer	Lingkungan Utama	Sublingkungan
Daratan	Fluvial*	Kipas alluvial*
		Braided stream*
		Meandering*
	Gurun*	
	Danau	
Transisi/tepi laut	Delta*	Delta plain*
		Delta front*
		Prodelta*
	Pantai/barrier island*	
	Estuari/laguna*	
	Tidal flat	
Laut	Laut dangkal	Continental shelf
		Organic reef**
	Laut dalam	Continental slope Deep-ocean floor

Penentuan lingkungan pengendapan dilakukan dengan menggunakan kelimpahan palinomorf yang dikelompokkan berdasarkan vegetasinya, dan ditampilkan dalam diagram palinologi. Penggunaan metode ini mengacu pada interpretasi lingkungan pengendapan berdasarkan hubungan vegetasinya (Haseldonckx, 1974). Setiap kumpulan taksa tertentu, terutama yang hadir secara melimpah, dalam sebuah zona akan mencerminkan lingkungan pengendapan tertentu, interpretasinya nanti juga didukung oleh jenis litologi dari sedimen pada zona tersebut. Adapun klasifikasi lingkungan pengendapan menurut Haseldonckx (1974) adalah sebagai berikut:

1. *Montane*, ditandai dengan kelimpahan kelompok taksa yang didominasi oleh Fagaceae (*Quercus*, *Lithocarpus*, dan *Castanopsis*) bersama dengan Lauraceae, *Dacrydium*, dan *Podocarpus* sp.
2. *Lowland Forest*, ditandai dengan kelimpahan Dipterocarpaceae dengan Myrtaceae (*Eugenia* sp.), *Calophyllum* sp., Annonaceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae, dan *Calamus* sp.

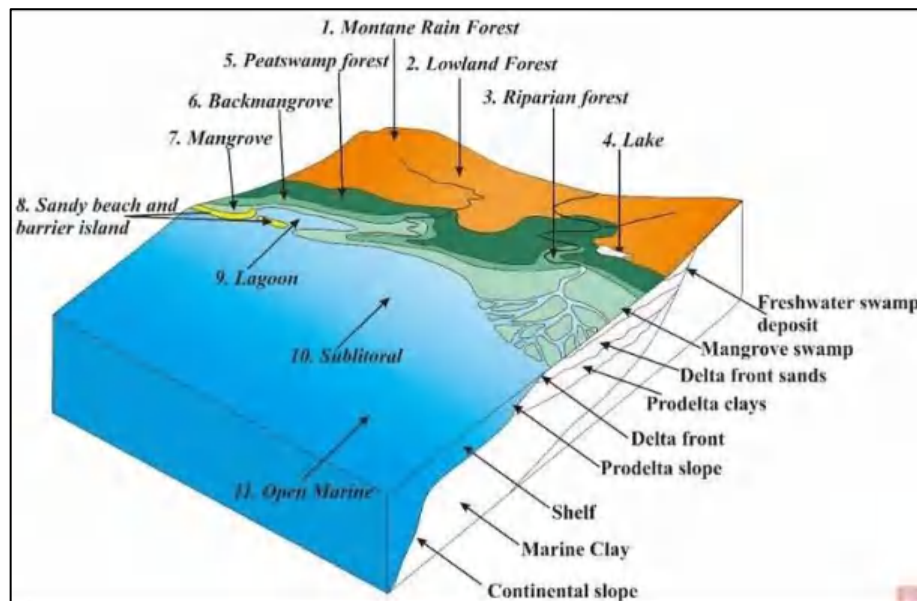


iparian Forest, ditandai dengan kelimpahan *Pandanus*, *Barringtonia*, *Luta*, *Calophyllum*, Dipterocarpaceae, Myrtaceae, *Oncosperma*, dan *alamus*.

4. *Lake*, ditandai dengan pencampuran kelimpahan dari *lowland forest* dan *peat swamp* dengan *Pediastrum* yang kemungkinan melimpah.
5. *Peat Swamp Forest*, ditandai dengan pencampuran kelimpahan taksa lokal yang dominan yang terdiri atas *Blumeodendron*, *Ctenolophon*, *Durio*, *Gonystilus*, *Sapotaceae/Meliaceae*, *Rubiaceae*, *Canthium*, *Chepalomappa*, *Shorea* sp., *Camptosperma*, dan *Stenochlaena palustris*, dengan *Pandanus*, *Koompassia*, dan *Malvaceae* di sepanjang tepi sungai dan densitas sisa-sisa tanaman yang tinggi
6. *Backmangrove*, terletak di sebelah mangrove yang menghadap ke darat dengan salinitas rendah, didominasi dari kelimpahan *Nypa* dan *Acrostichum*, juga terdapat taksa *mangrove* seperti *Zonocostites ramonae*, *Proxapertites*, *Florschuetzia*, dll. Frekuensi yang berbeda antara *Pediastrum* dan dinoflagellata mengindikasikan variasi pengaruh darat terhadap marin, serta densitas sisa-sisa tanaman yang tinggi.
7. *Mangrove*, dengan pengaruh pasang-surut di sepanjang pantai, kelimpahan taksa terdiri atas *Rhizophoraceae*, *Sonneratia*, *Avicennia*, serta kaya akan sporomorf yang tertransportasi dari hulu. Densitas sisa-sisa tanaman di daerah ini tinggi, serta ditandai dengan kehadiran dinoflagellata dan *foram test lining*.
8. *Sandy Beach* dan *Barrier Island*, terdiri atas *Casuarina equisetifolia*, *Calophyllum* sp., *Cycas*, *Terminalia*, *Pandanus*, *Shorea* sp., dan *Eugenia* sp.
9. *Lagoon*, menunjukkan campuran dari kumpulan taksa *mangrove*, *backmangrove*, *peat swamp forest* dan taksa *barrier island*. Lingkungan ini memiliki material sisa tanaman yang melimpah. Jika pengaruh air tawar tinggi, maka *Pediastrum* akan melimpah, sedangkan jika pengaruh marin yang tinggi, dinoflagellata dan *foram test lining* yang melimpah.
10. *Sublitoral*, tersusun atas percampuran polen dengan densitas material sisa tanaman yang tinggi dan kehadiran dinoflagellata dan *foram test lining*.
11. *Open Marine*, kelimpahan palinomorf akan semakin menurun sejalan dengan meningkatnya kedalaman laut, biasanya dijumpai palinomorf yang berukuran kecil, misalnya *Rhizopora* sp. Densitas material sisa tanaman



menurun, sedangkan dinoflagellata dan *foram test lining* semakin melimpah.



Gambar 5 Hubungan asosiasi vegetasi dengan lingkungan pengendapan (Haseldonckx, 1974).

2.6.1 Delta

Delta merupakan bentuk lahan yang menyerupai penonjolan pantai tersendiri, yang terbentuk pada titik di mana sungai memasuki laut atau badan air lainnya yang bergerak lebih lambat atau tergenang. Hal tersebut terjadi disebabkan adanya sedimen yang dibawa oleh sungai tersedimentasi keluar sebagai badan pantai ke danau atau laut. Delta terbagi atas tiga sub-lingkungan, antara lain yaitu:

1. *Delta Plain*

Delta plain merupakan bagian delta yang berada pada *lowland*, tersusun atas endapan aktif dan *abandoned channel* yang dipisahkan oleh lingkungan perairan dangkal. Proses sedimentasi utama di *delta plain* adalah arus sungai dan/atau kadang dipengaruhi juga oleh arus pasang surut (*tidal*). *Delta plain* terbagi menjadi dua jenis, antara lain yaitu:

a. *Upper Delta Plain*

Upper Delta Plain dengan tipe sub lingkungan berupa *meander*, *peat swamp*, sungai air tawar dengan sedikit pengaruh dari pasang surut



dan rawa sungai daerah ini dicirikan oleh asosiasi hutan rawa gambut (*peat swamp forest*), *riparian*, sedikit kumpulan *mangrove* /*backmangrove* dan perkembangan dari asosiasi komunitas tumbuhan rawa sungai yang kaya akan komponen organik yang kemudian dapat mendukung terbentuknya lapisan Batubara.

b. *Lower Delta Plain*

Lower Delta Plain merupakan bagian delta yang terletak dalam wilayah interaksi sungai–laut dan membentang dari batas daratan yang terkena pengaruh pasang surut hingga garis pantai. *Lower Delta Plain* mempunyai tipe sub lingkungan antara lain adalah rawa mangrove, daerah pasang surut (*brackish tidal*), *channels*, *tidal flat* dan *estuarin* kecil. Daerah ini dicirikan oleh kumpulan asosiasi dari hutan *mangrove* ataupun *backmangrove*.

2. *Delta Front*

Delta front merupakan daerah endapan sedimen dari sungai yang bergerak memasuki cekungan dan berasosiasi/berinteraksi dengan proses cekungan (*basinal*). Energi yang bekerja dan mempengaruhi proses pengendapan material sedimen bernilai tinggi sebab secara konstan dirombak oleh arus pasang surut, arus laut sepanjang *shoreline*, maupun gelombang. Sedimen terus-menerus diendapkan dan mengalami *reworking* melalui berbagai proses. *Delta front* memainkan peran penting dalam akumulasi sedimen dan evolusi bentuk delta.

Delta front ditunjukkan dengan sikuen *coarsening upward* berskala besar yang merekam perubahan fasies vertikal ke arah atas dari sedimen berukuran halus atau fasies prodelta ke fasies *shoreline* yang biasa didominasi batupasir. Sikuen ini dihasilkan oleh progradasi *delta front* dan terpotong oleh sikuen *fluvial distributary channel* saat progradasi berlanjut. *Delta front* dapat dibagi menjadi empat jenis berdasarkan karakteristik asosiasi fasiesnya, antara lain yaitu:

a. *Subaqueous Levees*

Subaqueous Levees ialah bagian dari endapan *subaqueous fan* yang



terkait dengan saluran aktif di dekat mulut sungai (*active channel mouth bar*). Meskipun sulit diidentifikasi, mereka memiliki peran penting dalam sejarah pembentukan delta danau masa lalu.

b. *Channel*

Channel dengan adanya bidang erosi pada bagian dasar urutan fasiesnya dan cenderung menghalus keatas (Walker, 1992). Sedimennya umumnya berukuran pasir dengan *baal lag deposits*. Struktur sedimen yang terbentuk adalah *cross bedding*, *ripple cross stratification*, *scour and fill*.

c. *Distributary Mouth Bar*

Distributary Mouth Bar memiliki kecepatan yang paling tinggi dalam sistem pengendapan delta. Sedimennya umumnya tersusun atas pasir yang di endapkan melalui proses fluvial dan merupakan tempat terakumulasinya sedimen yang ditransport oleh *distributary channel* dan di antara *mouth bars* akan terendapkan sedimen berukuran halus. Pasokan sedimen yang menerus akan menyebabkan terjadinya pengendapan *mouth bars* yang menuju kearah laut (Walker, 1992). Struktur sedimen yang terbentuk pada lingkungan ini antara lain yaitu *current ripple*, *cross bedding* dan *massive graded bedding*.

d. *Distal Bar*

Pada *distal bar*, urutan fasies cenderung menghalus ke atas dan umumnya tersusun atas pasir halus dengan struktur sedimen laminasi, *trough cross stratification*, dan *burrowing structure*. Pada lingkungan ini fosil jarang dijumpai.

3. *Prodelta*

Prodelta merupakan sub lingkungan transisi antara *delta front* dengan endapan normal *marine shelf* yang berada dibawah kedalaman efektif erosi gelombang yang terletak diluar *delta front*. Sedimen yang ditemukan pada lingkungan ini adalah sedimen yang berukuran paling halus (Serra,1990). Endapan prodelta didominasi oleh sedimen berukuran lanau dan lempung dan kadang-kadang dijumpai dilapisan tipis batupasir. Struktur sedimen



yang sering dijumpai adalah masif, laminasi, dan *burrowing structure*. Seringkali dijumpai cangkang organisme bentonik yang tersebar luas dan mengindikasikan tidak adanya pengaruh air tawar/fluvial.

