

# Keanekaragaman Polen Mangrove dari Endapan Sedimen yang Terdapat pada Lanskap Pesisir di Pantai Utara, Jawa Tengah

Rizka Nabilah\*<sup>1</sup> dan Fajar Islam Sitanggang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Sumatera/Program Studi Arsitektur Lanskap

<sup>2</sup>Institut Teknologi Sumatera/Program Studi Biologi

<sup>1,2</sup>Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan/35365/  
Telp. (0721) 8030188, Fax. (0721) 8030189

\*corresponding author: [rizka.nabilah@arl.itera.ac.id](mailto:rizka.nabilah@arl.itera.ac.id)

## Abstrak

Bukti keanekaragaman bukti palinologi yang ada di sedimen adalah polen dan spora. Pengendapan sedimen tersebut dapat mendeskripsikan kondisi paleovegetasi yang dapat mencerminkan karakter vegetasi yang ada pada masa tersebut. Pantai Utara Jawa Tengah memiliki karakter geomorfologis dataran aluvial daerah pesisir yang menjadi wilayah transisi di Kota Semarang. Penelitian berkaitan dengan keanekaragaman polen dari sedimen ini bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman vegetasi masa holosen pada lanskap Pantai Utara Jawa Tengah melalui data biodiversitas berdasarkan bukti fosil polen mangrove di Muara Kali Semarang. Metode penelitian yang digunakan adalah observasi lapangan dan laboratorium dengan *stratified sampling*. Penelitian lapangan di lanskap Pantai Utara Jawa Tengah meliputi pengamatan jenis sedimen, pengambilan sedimen, dan perolehan data biofisik lingkungan. Penelitian laboratorium dengan tahapan preparasi sampel sedimen menggunakan metode asetolisis dan identifikasi serta klasifikasi fosil polen dari buku identifikasi. Analisis keanekaragaman palinologi dari indeks keanekaragaman Simpson dan indeks similaritas Sorensen, *Palynological Marine Index* (PMI). Analisis palinologi didapatkan dari analisis perbandingan *Arboreal Pollen* atau yang kemudian disebut AP dan *Non Arboreal Pollen* yang kemudian disebut NAP, dan analisis tambahan menggunakan diagram spora. Data yang diperoleh lalu diklasifikasikan *arboreal pollen* (AP), *non arboreal pollen* (NAP), dan spora. Analisis data tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam *software* program Paleontological Statistics (PAST ver. 0.99.). Hasil menunjukkan keanekaragaman fosil polen yang diperoleh 33 taksa tumbuhan yang terdiri dari 8 tingkat famili, 21 tingkat genus dan 4 tingkat spesies. Dinamika yang muncul dari hasil analisis menunjukkan terdapat 6 kategori keragaman polen.

**Kata kunci**— *Dinamika iklim, holosen, dan polen.*

## Abstract

*The diversity of palynological evidence found in sediment consists of pollen and spores. The deposition of these sediments can describe the paleovegetation conditions that may reflect the vegetation character at that time. The Northern Coast of Central Java has the geomorphological character of coastal alluvial plains, which is a transitional area in the city of Semarang. Research related to the diversity of pollen from these sediments aims to understand the Holocene vegetation diversity on the landscape of the Northern Coast of*

*Central Java through biodiversity data based on mangrove pollen fossil evidence in the Semarang River Estuary. The research method used is field and laboratory observation with stratified sampling. Field research in the landscape of the Northern Coast of Central Java includes observations of sediment types, sediment collection, and acquisition of biophysical environmental data. Laboratory research involves sample sediment preparation using acetolysis methods and identification and classification of pollen fossils from identification books. Palynological diversity analysis includes Simpson's diversity index and Sorensen's similarity index, as well as the Palynological Marine Index (PMI). Palynological analysis is obtained from comparing Arboreal Pollen (AP) or later referred to as AP and Non-Arboreal Pollen (NAP), and additional analysis using spore diagrams. The data obtained are then classified into arboreal pollen (AP), non-arboreal pollen (NAP), and spores. The data analysis is further processed using the Paleontological Statistics software program (PAST ver. 0.99). The results show a diversity of fossil pollen obtained, consisting of 33 plant taxa comprising 8 family levels, 21 genus levels, and 4 species levels. The dynamics emerging from the analysis indicate the presence of 6 categories of pollen diversity.*

**Keywords**— *Climate dynamics, holosen, pollen*

## 1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim selalu menjadi tantangan besar bagi ahli biologi konservasi dalam pengembangan dan penerapan strategi konservasi yang efektif. Hilangnya keanekaragaman hayati yang diharapkan karena perubahan iklim melemahkan penyampaian fungsi dan layanan ekosistem, yang dapat menyebabkan krisis lingkungan global (Farooqi et al., 2022). Dinamika iklim merupakan proses perbedaan iklim yang terjadi secara terus menerus di bumi. Perbedaan iklim tersebut akan berpengaruh pada kehidupan yang ada pada waktu tersebut baik pada struktur penyusun alam atau perubahan lanskap dari fauna maupun floranya (Setijadi et al, 2016). Kehidupan manusia saat ini dan pada masa lalu, memerlukan pengetahuan dari ilmu alam, terutama dari sejarah biologi (paleobotani dan paleozoologi), geologi, ekologi, oseanografi, klimatologi, dan pedologi (ilmu tanah). Pendekatan yang dibutuhkan untuk praktik rekonstruksi tersebut adalah dengan paleoenvironmental atau ilmu tentang lingkungan di masa lampau.

Pendekatan arkeolog dan ekologi untuk rekonstruksi lingkungan masa lampau membutuhkan hipotesis ekologis secara intrinsik untuk memberikan pemahaman produktivitas ilmiah manusia (Dincauze, 1987). Bukti arkeologi dalam keilmuan palinologi digunakan untuk memahami manusia dan kegiatannya di masa lalu. Palinologi dalam hal ini untuk tanah dan polen serta serbuk sari digunakan untuk mencirikan suatu kawasan.

Interpretasi lingkungan masa lampau yang menyangkut dinamika iklim tidak terlepas dari kajian mikropaleontologi (Miall et al., 1992). Mikropaleontologi adalah studi sistematis yang membahas mikrofosil baik mengenai klasifikasi, analisis ekologi dari berbagai spesies fosil dan umur relatif sedimen. Interpretasi ekologi masa lampau dapat berupa nano plankton, polen, spora, dinoflagellata, foraminifera yang disebut dengan istilah palinomorf (Odum, 1994). Studi tentang hubungan polen-vegetasi di rawa pasang surut umumnya rumit karena drainase kontinental dan fluks air pasang surut bertindak sebagai sumber tambahan polen dari luar ekosistem rawa (Pandey, 2021).

Prinsip *uniformitarianism* yang menjelaskan bahwa “*the present serves as the crucial gateway to understanding the past.*” Artinya semua kejadian di masa kini merupakan kunci dari kejadian di masa lampau (Morley, 1990). Pengetahuan yang tepat tentang sifat zat organik yang dicampurkan dengan tanah liat aluvial ini berguna untuk mengevaluasi tutupan vegetasi di masa lalu (Fedoroff & Thompson, 1990). Endapan datar aluvial yang terhubung ke lingkungan pesisir dan daerah bakau sebagaimana dibuktikan oleh studi mikrofosil (Linhares et al., 2017). Penyebaran vegetasi mangrove yang mendominasi ada di bagian bawah laguna dengan unsur salinitas yang rendah ke sedang (Nordhaus et al., 2019).

Teori tentang zaman kuartar Holosen adalah keadaan masa dengan karakter terjadinya es di Kutub yang mencair, sehingga permukaan air laut naik. Catatan Holosen awal hingga batas maksimum Holosen akhir memiliki kronologis margin daerah es mencair (Young & Briner, 2015). Sedimen Kala Holosen memiliki ciri aluvial berbutir halus, endapan ini diinterpretasikan sebagai sedimentasi yang dangkal. Asosiasi fosil menunjukkan bahwa terdapat pengaruh dari variasi iklim pada kala ini (Colombo et al., 2009)

Lokasi pesisir mangrove memiliki stabilitas berdasarkan waktu perendaman vegetasi mangrove di lokasi bibit tumbuh. Pemeliharaan vegetasi mangrove pada fungsinya sebagai greenbelt atau sabuk hijau sebagai bentuk restorasi tersedia di area pesisir (van Bijsterveldt dkk., 2020). Kondisi lingkungan yang unik, seperti air payau, suhu tinggi (suhu maksimum >24 °C), dan tanah berpasir dan berlumpur yang kaya bahan organik, diperlukan untuk pertumbuhan mangrove (Lin et al., 2023).

Penelitian terdahulu melaporkan bahwa bukti fosil polen di lanskap Pantai Utara Jawa Tengah didominasi oleh (Rhizophoraceae) yang memiliki sifat kosmopolit pada substrat berlumpur. Spesies yang muncul di kawasan ini adalah *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, dan *Bruguiera ghimnorhiza*. Spesies tersebut mampu tumbuh pada substrat berlumpur karena memiliki akar tunjang besar dan berkayu (Suedy et al., 2006). Bukti-bukti fosil mangrove untuk mengetahui dinamika iklim suatu daerah belum banyak dilakukan. Tegakkan mangrove memiliki strata minor dan mayor, mangrove mayor atau disebut dengan tegakkan murni memiliki ciri khusus yang mampu beradaptasi dengan lingkungannya karena memiliki anatomi kelenjar garam, akar nafas, dan embrio vivipari (Widodo et al., 2012).

Kondisi keanekaragaman dari endapan sedimen dapat merekonstruksi keadaan paleovegetasi dan paleoklimatologi yang berkaitan dengan kandungan Polen dan spora yang tertanam dalam sedimen. Sehingga, dapat memberikan informasi berharga tentang komposisi dan struktur vegetasi pada masa lalu, serta perubahan iklim yang terjadi selama periode tersebut. Polen dan spora yang ditemukan dalam suatu tapak tersebut, dapat memberikan wawasan tentang jenis tanaman yang tumbuh di sekitar pada masa lampau. Deskripsi tentang keanekaragaman tersebut merupakan bagian dari nilai konservasi sumberdaya alam terutama bagi pemantauan dan pemulihan ekosistem yang terganggu. Informasi tentang komposisi dan distribusi vegetasi pada masa lalu dapat membantu dalam upaya pemulihan hutan dan lahan yang terdegradasi. Dengan demikian, tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui keanekaragaman polen mangrove dan spora didalam sedimen yang diprediksi berada pada Kala Holosen di Muara Kali Semarang sebagai bentuk interpretasi Lanskap Pantai Utara Jawa Tengah dan mengetahui dinamika iklim Kala Holosen lanskap Pantai Utara Jawa Tengah berdasarkan keanekaragaman tumbuhan pada masa Holosen.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Muara Kali Semarang dan penelitian laboratorium yang meliputi preparasi sampel sedimen dikerjakan di Laboratorium yang memuat kajian Stratigrafi dan Sedimentologi Fakultas Sains dan Teknik Jurusan Geologi Universitas Jenderal Soedirman. Pengamatan sampel yang dikerjakan dengan identifikasi melalui pustaka terkait, dilakukan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.

### 2.2 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian dikerjakan dengan dua tahap, yaitu tahap penelitian lapangan dan tahap penelitian laboratorium. Tahap penelitian lapangan memiliki tahapan proses pengambilan data lingkungan dan data sampel sedimen. Tahap penelitian laboratorium memiliki tahapan proses preparasi sampel dengan metode asetolisis dan proses pengamatan fosil menggunakan mikroskop.

#### 2.2.1. Penentuan Lokasi Sampling

Tahap penelitian lapangan dilakukan dengan menentukan lokasi penelitian berdasarkan keberadaan muara sungai dan kedekatan dengan perairan laut. Selanjutnya, lokasi yang masih ditumbuhi oleh vegetasi mangrove.

#### 2.2.2. Pengambilan Sampel Sedimen

Metode penelitian untuk menentukan lokasi penelitian adalah dengan metode stratified sampling. Metode ini diambil sebagai bentuk metode yang memperhatikan strata dalam populasi. Tahapan penelitian lapangan dilakukan dengan mengambil sampel sedimen di Muara Kali Semarang. Pada lokasi penelitian ini, didata juga terkait dengan kondisi iklim dan vegetasi sekitar dilakukan di kawasan tepi laut. Titik sampel pengeboran ditetapkan jaraknya adalah 2 meter dari tepian laut. Sampel sedimen hasil pengeboran selanjutnya dimasukkan ke dalam pipa dan ditutup menggunakan plastik wrapping. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi kontaminasi polen yang berterbangan (Gambar 1).

Sampel sedimen yang sudah dipotong, kemudian dilakukan preparasi sampel dengan menggunakan metode asetolisis untuk memisahkan sedimen dengan fosil pollen dan sporanya. Prosedur penelitian dilakukan dengan mengukur ukuran sampel sedimen yang di teliti harus memiliki berat dan ukuran yang sama. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan homogenitas, sehingga jumlah secara kuantitatif dapat dibandingkan antar sampel sedimen.



Gambar 1. Preparasi Sampel

Tahapan analisis yang dilakukan dengan metode deskriptif untuk analisis yang sistematis, nyata dan akurat mengenai zonasi palinologi serta paleoekologi lapisan sedimen yang digunakan dalam penelitian. Sampel sedimen berada pada 2 meter di bawah permukaan air laut. Pengambilan sampel secara vertikal dimulai pada kedalaman 0,5 meter dari permukaan air laut sampai dengan kedalaman 2 meter dengan interval pengambilan 0,5 meter. Sampel 0,5 meter sebagai sampel nomor KS 50-40 dan seterusnya hingga kedalaman 2 meter. Sampel sedimen di analisa dengan mengambil sedimen polen dan spora ukuran 1 cm<sup>3</sup>. Sampel sedimen disiapkan menggunakan metode asetolisis untuk keperluan palinologi.

### 2.2.3. Analisis asetolisis

Prosesnya asetolisis yang dilakukan sebagai berikut: 50 gram sampel sedimen yang telah dikeringkan direndam dalam larutan HCl 50% selama 2 jam untuk menghilangkan karbonat, kemudian larutan dinetralkan dengan akuades. Untuk memaksimalkan hasil, dilakukan proses asetolisis dengan asam sulfat, yang kemudian dinetralkan kembali. Sampel yang telah dinetralkan tadi direndam lagi dalam larutan HF 40% selama 24 jam untuk menghilangkan silikat, kemudian dinetralkan; setelah itu direndam kembali dalam HCl 50% selama 30 menit dan dinetralkan. Fraksi organik yang mengapung diambil menggunakan pipet, kemudian dinetralkan lagi, dan akhirnya dioksidasi dengan HNO<sub>3</sub> selama 2 menit sebelum dinetralkan kembali (Sutedjo et al., 2006).

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bor tanah, pipa paralon dengan diameter 4 cm, GPS (*Global Positioning System*), meteran roll, plastik sampel dengan daya tampung 1 kg, timbangan analitik, *multiblade*, lemari asam, valcon, beaker glass, mortar, mikroskop cahaya. Bahan yang digunakan adalah sampel sedimen, larutan alkohol 70%, larutan HF 40%, CaF<sub>2</sub>, larutan HNO<sub>3</sub>, larutan KOH 10%, HCl 32%, akuades dan entellan (Gambar 2).



Gambar 2. Proses Preparasi Sampel Polen Mangrove

### 2.2.4. Pengamatan Fosil Polen dengan Mikroskop

Sampel disiapkan untuk pengamatan di bawah mikroskop. Sampel diletakkan di atas objek glass dan menambahkan pelarut atau medium pengawet tetap terjaga dan mudah diamati. Pengamatan dengan Mikroskop dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya. Mikroskop cahaya digunakan untuk pengamatan polen dalam skala yang lebih besar. Sampel diamati di bawah mikroskop, dengan menganalisis dan mengidentifikasi spesies polen yang hadir berdasarkan karakteristik morfologisnya, seperti bentuk, ukuran, dan ornamen. Ini bisa menjadi proses yang rumit dan membutuhkan keahlian dalam paleontologi dan paleobotani.

### 2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur selanjutnya yang dilakukan setelah tahapan adalah analisis keanekaragaman untuk mengevaluasi keragaman jenis polen dan spora yang ada dalam sampel sedimen. Hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan indeks keanekaragaman seperti Simpson atau Shannon-Wiener dan Simpson, yang mengukur seberapa beragamnya spesies yang ada dalam suatu lingkungan. Dengan menggunakan metode ini, peneliti dapat memahami lebih dalam tentang komposisi dan distribusi polen dan spora dalam sedimen, serta menggambarkan perubahan lingkungan yang terjadi di masa lampau.

Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah karakter fosil polen (ukuran, bentuk, struktur, apertura, dan ornamentasi) (Widodo et al., 2012). Analisis data dilakukan setelah proses identifikasi fosil polen. Identifikasi taksa ditentukan dengan menggunakan analisis deskriptif dari acuan identifikasi, sesuai dengan hasil analisis dengan mikroskop binokuler dengan perbesaran 250X dan 400X. Hasil data identifikasi selanjutnya dianalisis dengan perhitungan keanekaragaman dengan analisis indeks diversitas Simpson. Analisis *cluster* fosil polen menggunakan *program software Palaentologycal Statistic (PAST)* versi 0.99. Analisis keanekaragaman spesies fosil dianalisis secara kuantitatif menggunakan Indeks Keanekaragaman Simpson.

$$D = \sum pi^2$$

Keterangan :

D : Indeks Diversitas Simpson

pi : Kelimpahan proporsial tiap spesies

Diversitas Simpson yang digunakan mengartikan bahwa  $pi = ni$  dengan  $i = 1, 2, 3, 4 \dots 5$  dan pengertiannya adalah jumlah individu pada spesies itu. Kriteria yang digunakan untuk menginterpretasikan diversitas Simpson menurut Odum (1994) adalah 0-1 mendekati 1 memiliki indeks diversitas yang sangat tinggi atau disimpulkan sangat mirip.

Menurut Odum (1993), analisis keragaman bisa muncul, tahap selanjutnya analisis sampel menggunakan Indeks Similaritas (IS) Sorensen dengan rumus :

$$IS = 2a / (2a + b + c)$$

Keterangan:

Is : Indeks yang sama untuk menilai keanekaragaman Sorensen

a : Jumlah taksa sama pada sampel I dan II

b : Jumlah taksa pada sampel I

c : Jumlah taksa pada sampel II

Kriteria yang digunakan untuk menginterpretasikan similaritas Sorensen menurut Barbour dkk., (1987), yaitu:

Tabel 1. Kriteria Interpretasi similaritas Sorensen

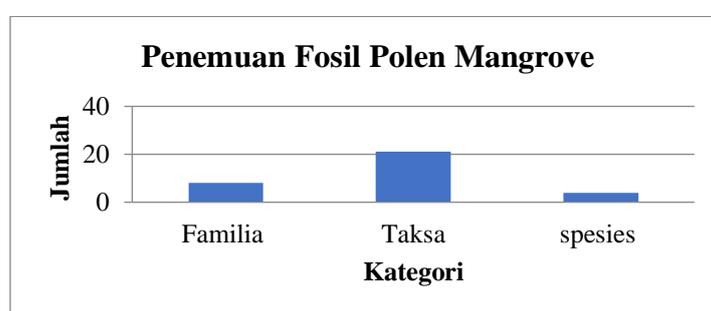
| No. | Nilai Interpretasi | Keterangan    |
|-----|--------------------|---------------|
| 1.  | $IS < 0,25$        | Sangat rendah |
| 2.  | $0,25 < IS > 0,50$ | Rendah        |
| 3.  | $0,50 < IS > 0,75$ | Tinggi        |
| 4.  | $IS > 0,75$        | Sangat mirip  |

Metode Analisis polen dan spora yang ditemukan dikelompokkan berdasarkan ekologi sesuai dengan pembagian lingkungan palinologi (Tabel 1). Hasil perhitungan persentase kemudian dikelompokkan kedalam bentuk diagram sesuai dengan nomor sampel sedimen, jenis dan kelompok ekologi masing-masing (Morley, 1990).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Keanekaragaman Polen Mangrove

Data yang muncul tentang keanekaragaman dari data hasil inventarisasi menunjukkan bahwa ada 8 taksa yang ditemukan sampai tingkat famili, 21 taksa sampai tingkat genus dan 4 taksa sampai tingkat spesies (Gambar 3). Sampel selanjutnya dikelompokkan berdasarkan keanekaragaman taksanya. Dilihat dari dendogram polen dapat dikelompokkan menjadi VIII kelompok.



Gambar 3. Penemuan Fossil Polen Mangrove.

Data hasil dari masing-masing pengelompokkan dinamai dengan kode KS 50, KS 100, KS 150, dan KS 200. KS artinya sampel yang diambil pada kedalaman 50 cm dan kelipatannya yang terlihat pada Tabel 2 serta diberi kode sampel dengan angka urutan yaitu dari 1 hingga 1 hingga 30.

Tabel 2. Kedalaman Sampel

| Kedalaman |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|
| KS-50     | KS-100 | KS-150 | KS-200 |
| 50 cm     | 100 cm | 150 cm | 200 cm |

Kelompok I yaitu sampel KS 100-23 dan 200-10, kelompok II yaitu sampel KS 200-6 dan KS 200-1, kelompok III yaitu KS 200-2 dan 150-12, kelompok IV KS 200-3, KS 50-39, KS 50-36, KS 50-38, KS 50-40, KS 50-37, KS 200-7, KS 150-15, KS 50-32, KS 50-35, KS 50-34, KS 100-30, KS 50-33, kelompok V yaitu KS 150-19 dan KS 50-31, kelompok VI yaitu KS 200-4, KS 150-16, KS 150-14, KS 150-18, KS 150-13, KS 200-5, KS 150-20, KS 150-17, KS 200-8, KS 100-25, KS 100-27, kelompok VII yaitu sampel KS 100-24, KS 100-28, KS 200-9, KS 100-21, KS 100-26, KS 100-22, KS 100-29, kelompok VIII yaitu sampel dengan kode KS 150-11. Pengelompokan ini berdasarkan indeks similaritas yang muncul dari tiap sampel. Semakin banyak kelompok menunjukkan makin rendah tingkat similaritasnya. Hasil preparasi dan analisis dari sedimen pada kawasan ini, polen tumbuhan mangrove *Avicennia*, *Exoecaria*, *Rhizophora*, *Sonneratia*, *Nypa* ditemukan berasosiasi dengan polen tumbuhan darat (*Graminae*, *Psilotum*). Keberadaan *Avicennia* merupakan tumbuhan pioner hutan mangrove. Tomlison menyatakan bahwa zonasi yang terdekat dengan laut didominasi oleh *Avicennia*

spp. dan *Sonneratia* spp. merupakan pioner karena sifat anaknya yang memerlukan cahaya matahari langsung. Graminae merupakan tumbuhan pioner yang menjadi penanda kondisi darat.

Berdasarkan data polen yang dapat teridentifikasi dengan jumlah 33 taksa dari polen dan spora dengan rata-rata dari tiap sampel dengan indeks keanekaragaman Simpson sebesar 80% atau mendekati sangat mirip yaitu 100%. Dilihat dari dendrogram polen dapat dikelompokkan menjadi 8 kelompok. Kelompok 1 yaitu KS 100-23 dan KS 200-10 dengan kelompok taksa yang muncul yaitu *Sonneratia caseolaris*, *Casuarina*, Graminae, *Psilotum*, *Selaginella*, *Acrostichum aureum*, *Stenochlaena palustris* dan *Lygodium* Kelompok 2 dengan kode sampel KS 200-6 dan KS 200-1 dengan kelompok taksa yang muncul yaitu *Sonneratia alba*, Bombaceae, (*Nypa*, *Casuarina*) Graminae, *Acrostichum aureum*, *Lycopodium*, *Macaranga*, Graminae, Polypodium, *Croton* tipe, Ericaceae, *Selaginella* dan *Stenochlaena palustris*. Kondisi endapan sedimen dapat menciptakan ruang yang khusus, walaupun di bawah kondisi permukaan laut yang meningkat. Analisis sedimentologi berdasarkan ilmu khusus paleontologi dilakukan untuk menafsirkan fasies sedimen. Catatan untuk kala holosen menunjukkan karakter lingkungan pesisir (gambut basal) karena adanya proses kenaikan permukaan air laut (Lima & Parise, 2020).

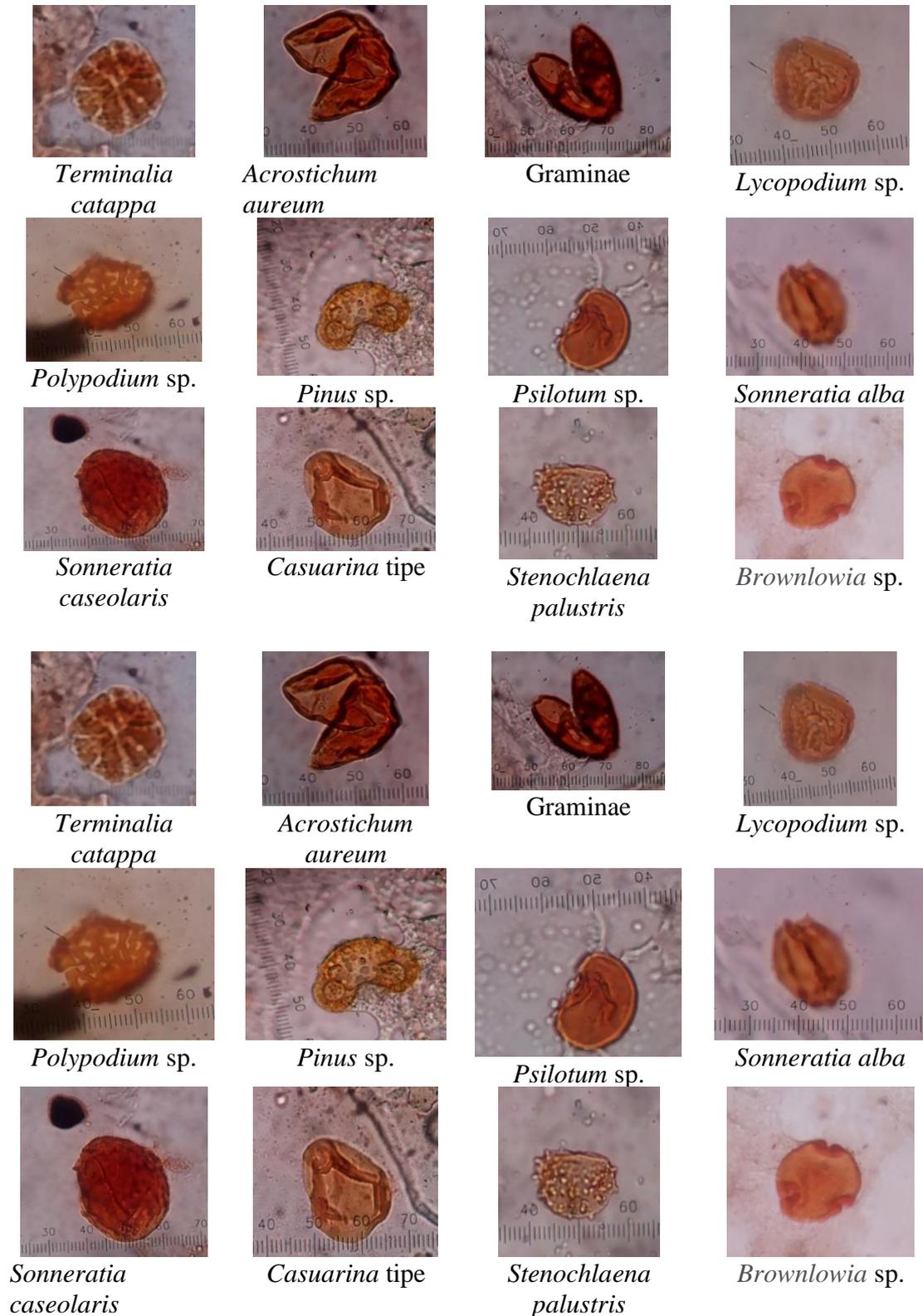
Pengelompokkan pada kelompok 3 yaitu dengan kode sampel KS 200-2 dan 150-12 dengan anggota taksa yang muncul yaitu *Avicennia*, *Sonneratia caseolaris*, Bombaceae, (*Calophyllum*), Graminae, *Canthium*, *Psilotum*, *Acrostichum aureum*, *Sonneratia alba* Ericaceae dan *Gleichenia*. Kelompok 4 KS 200-3, KS 50-39, KS 50-36, KS 50-38, KS 50-40, KS 50-37, KS 200-7, KS 150-15, KS 50-32, KS 50-35, KS 50-34, KS 100-30, KS 50-33 dengan beberapa taksa yang muncul yaitu *Sonneratia alba*, *Calophyllum*, *Barringtonia*, Asteraceae, Graminae, Ericaceae, *Psilotum*, *Acrostichum aureum*, *Lycopodium*, *Nypa*, *Lygodium*, *Rhizophora*, *Polypodium*, *Acanthus*, *Stenochlaena palustris*, *Equisetum*, *Altingia*, *Sonneratia caseolaris* dan *Casuarina*. Kelompok 5 yaitu KS 150-19 dan KS 50-31 dengan anggota taksa yang muncul yaitu *Sonneratia alba*, *Calophyllum*, Malvaceae dan *Acrostichum aureum* (lihat Gambar 4 dan 5).

Kelompok 6 yaitu KS 200-4, KS 150-16, KS 150-14, KS 150-18, KS 150-13, KS 200-5, KS 150-20, KS 150-17, KS 200-8, KS 100-25 dan KS 100-27 dan taksa yang muncul yaitu *Sonneratia alba*, *Calophyllum*, *Nypa*, *Rhizophora*, Graminae, *Selaginella*, *Stenochlaena palustris*, *Acrostichum aureum*, *Lygodium*, *Sonneratia caseolaris*, Ericaceae, *Psilotum*, *Lygodium*, *Avicennia*, *Casuarina*, *Gleichenia*, *Lycopodium*, Graminae dan *Polypodium*. Kelompok VII yaitu sampel KS 100-24, KS 100-28, KS 200-9, KS 100-21, KS 100-26, KS 100-22, KS 100-29 dengan taksa yang muncul yaitu *Calophyllum*, *Lygodium*, *Casuarina*, *Polypodium*, *Stenochlaena Palustris*, *Acrostichum aureum*, *Pinus*, *Sonneratia alba*, *Polygonum* dan *Avicennia*. Kelompok VIII yaitu sampel dengan kode KS 150-11 dengan taksa yang muncul yaitu *Stenochlaena palustris*, *Psilotum* dan dua taksa yang hanya muncul pada sampel ini yaitu *Excoecaria* dan Euphorbiaceae (Gambar 4).

Pengelompokkan taksa berdasarkan ekologiya terbagi menjadi (AP), (NAP) serta Spora (S):

1. Taksa termasuk (AP); *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, *Macaranga*, *Avicennia*, *Bombaceae*, *Calophyllum*, *Canthium*, *Asteraceae*, *Barringtonia*, *Nypa*, *Rhizophora*, *Casuarina*, Malvaceae, *Brownlomia*, *Pinus* dan *Altingia*.
2. Taksa termasuk (NAP); Asteraceae, Graminae, *Canthium*, Ericaceae. *Croton* tipe,

- Polygonum*, *Ericaceae*, *Acanthus* sp. dan *Euphorbiaceae*.  
 3. Taksa termasuk (S); *Psilotum*, *Selaginella*, *Equisetum*, *Lycopodium*, *Lygodium*, *Acrostichum aureum* dan *Stenochlaena palustris*.



Gambar 4. Hasil Identifikasi Beberapa Tipe Fosil Mangrove

Persentase AP dan NAP serta S pada diagram AP/NAP menunjukkan perubahan dan tingkat kelembaban memengaruhi pertumbuhan vegetasi mangrove. AP merupakan kelompok polen yang berasal dari tumbuhan yang berkayu, yang mengindikasikan lingkungan dengan iklim lembab. *Non Arboreal Pollen* (NAP) merupakan kelompok polen yang tidak berasal dari tumbuhan berkayu dan mengindikasikan lingkungan dengan iklim kering.

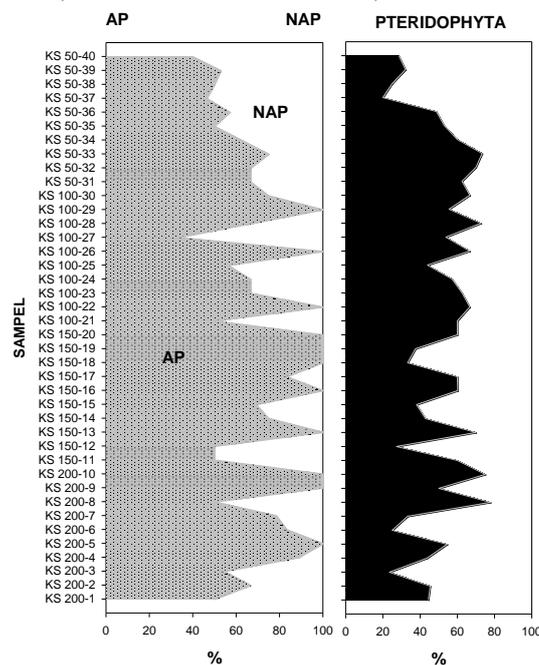
Persentase *Arboreal Pollen* (AP) dan *Non Arboreal Pollen* (NAP) pada diagram AP/NAP/Spora menunjukkan iklim yang bersifat kering dan basah. Persentase *Arboreal Pollen* (AP) juga dapat menunjukkan tingkat perkembangan suatu vegetasi hutan dikarenakan *Arboreal Pollen* (AP) merupakan bagian dari hutan yang ditunjukkan oleh sifat tumbuhannya yang berkayu. Sedangkan *Non Arboreal Pollen* (NAP) menunjukkan iklim yang kering. Perubahan tingkat kelembaban lingkungan dapat dilihat dari persentase spora pada diagram AP/NAP. Flora dengan habitusnya pohon (AP) yaitu tipe *Avicennia*, *Nypa fruticans*, *Podocarpus imbricatus*, *Sonneratia caseolaris*, *Rhizophora* sp. Flora dengan habitus non pohon (NAP) antara lain Gramineae, *Croton* tipe, dan dari taksa tumbuhan paku (Pteridophyta) adalah *Acrostichum aureum*, *Stenochlaena palustris*, dan *Polypodium* (Setijadi et al., 20176). Data keanekaragaman taksa tumbuhan dikelompokkan berdasarkan habitus tumbuhan penghasil polen dan spora. Taksa penghasil polen dari tegakkan pohon dikelompokkan sebagai *Arboreal Pollen* atau AP. Selanjutnya, taksa penghasil polen dari tumbuhan bentuk herba dan semak yang dikelompokkan sebagai *Non Arboreal Pollen* atau NAP. Sedangkan, taksa penghasil spora berasal dari tumbuhan dengan kelompok lumut (Briofita) dan kelompok paku Pteridophyta.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Lanskap Pantai Utara di Semarang tersusun atas 72,02% adalah taksa dari kelompok taksa tumbuhan tegakkan pohon atau *Arboreal Pollen* AP. *Avicennia alba*, *Avicennia floridum*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Nypa fruticans*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba*, dan *Ceriops tagal* merupakan jenis mangrove yang memiliki kepadatan kayu dengan skor terbaik (Hilmi, 2018). Rata-rata untuk persentase AP yaitu sebesar 72,02%, persentase NAP 27,98% dan persentase spora sebesar 50,95%. Persentase *Arboreal Pollen* AP terbesar yaitu 83,33% terdapat pada kode sampel KS 200-6 dan KS 150-17 dan persentase terkecil yaitu 33,33% pada kode sampel KS 100-27. Persentase *Non Arboreal Pollen* NAP terbesar yaitu 66,67% pada kode sampel KS 100-27. Persentase Spora S terbesar pada kode sampel KS 200-8 sebesar 77,78% dan persentase terkecil pada KS 200-6 sebesar 25%. Hasil pengamatan fosil polen di area penelitian yang mendominasi adalah spesies *Acrostichum aureum* yang muncul dengan jumlah 23,28 %, *Sonneratia alba* dengan jumlah 13,74%. Selain itu, golongan pteridofita persentase dominan yang paling tinggi yaitu polypodium (pteridofita) sebesar 6,65%, disusul dengan persentase pteridofita yang cukup tinggi yaitu 4,96%, dan golongan *Psilotum* dengan persentase 4,82. *Acrostichum aureum* memiliki daun yang besar, lancip, dan berwarna hijau mengkilap. Daun-daunnya tersusun dalam bentuk roset pada ujung rimpang yang tenggelam dalam lumpur atau air payau (Van Bijsterveldt et al., 2020). Tanaman ini tidak memiliki akar udara atau pneumatofor hanya memiliki akar rimpang.

Fosil polen *Acrostichum aureum* dapat memberikan informasi tentang sejarah penyebaran geografis dan perubahan populasi spesies ini seiring waktu. Dengan mempelajari fosil polen *Acrostichum aureum*, dapat diperoleh pemahaman tentang evolusi dan adaptasi spesies ini dalam menanggapi perubahan iklim dan kondisi lingkungan saat fosil polen dari golongan Graminae (rumput-rumputan) yang bersamaan

dengan munculnya fosil polen tumbuhan mangrove, mengindikasikan pengaruh yang cukup signifikan dari kondisi terestrial atau darat. Keberadaan genus dari kelompok tumbuhan paku Pteridophyta yang muncul dari *Psilotum* (4,82%) dan *Polypodium* (6,65%) juga mendukung kondisi lingkungan darat pada masa itu di Lanskap Pantai Utara, Jawa Tengah. Spesies tersebut menunjukkan organisme yang mampu tumbuh dengan persebaran dari bagain daerah pegunungan, daratan rendah, hingga pesisir.

Tegakkan tumbuhan dari kelompok tumbuhan *non-pollen* yang melimpah menunjukkan bahwa zona terbuka didominasi oleh tanamam polen yang mengalami musim kemarau (Sasmito et al., 2020). Karakteristik tutupan vegetasi rawa air tawar menunjukkan terdapat spesies tanaman indikator dari yang menghasilkan jumlah spora yang banyak dengan penyebaran yang luas. Spesies yang paling seringditemui dari famili Cyperaceae, Chenopodiaceae, Poaceae, dan Asteraceae (komen: taxa seperti Cuperaceae, Chenopodiaceae, Poaceae dan Asteraceae merupakan butir polen bukan spora). Penyebaran spora tersebut disebabkan oleh angin atau pasag surut air tawar. Spesies yang selanjutnya paling sering ditemui adalah *Azolla filiculoides* dari kemompok Pteridophyta yang menjadi indikasi kondisi rawa dengan salinitas air permukaan rendah (Medeanic et al., 2016). Klasifikasi zona iklim berdasarkan keanekaragaman) fosil polen mangrove dianalisis berdasarkan kurva dinamika vegetasi yang dapat ditentukan dalam 4 zona iklim. Keanekaragaman hayati mangrove dilakukan dalam pengelolaan hutan dengan survei yang dilakukan melalui pola, status, dan pola distribusi spesies. Pola zonasi yang terbentuk dengan pengelompokkan spesies mangrove yang ditentukan oleh faktor lingkungan dan geografis (Sreelekshmi et al., 2018).



Gambar 5. Kurva Dinamika Vegetasi Berdasarkan Arboreal (*Pollen*) (AP) dan *Non Arboreal Polle*) (NAP)

Sumber : Analisis Penulis berdasarkan Software PAST

a. Zona Keanekaragaman I

Zona iklim I merupakan zona antara sampel KS 50-40 – KS 50-32. Pada awal zona, persentase AP tinggi mencapai 52,94% pada sampel KS 50-39, dan mengalami penurunan hingga 46,43 % pada sampel KS 50-37. Persentase AP kemudian mengalami

kenaikan kembali dan cukup tinggi hingga 57, 14% dan mengalami sedikit penurunan kembali menjadi 50% dengan persentase NAP yang sama yaitu 50%. Persentase AP kembali tinggi hingga 75% diikuti dengan NAP 25%. Ini menunjukkan pada awal zona, iklim yang berlangsung adalah iklim panas dan basah serta cenderung lembab yang ditandai dengan tingginya persentase AP dan spora bersamaan dengan persentase NAP yang rendah. Perubahan iklim menjadi dingin dan kering pada sampel KS 50-37 ditandai dengan peningkatan muka laut akibat pencairan es kutub. Diakhir zona, persentase AP tetap tinggi setelah mengalami sedikit penurunan persentase yaitu 66,67% diikuti dengan rendahnya persentase NAP yaitu 33,33% dan tingginya persentase spora yaitu sebesar 66,67%. Zona I mengalami fluktuasi terus menerus namun tidak signifikan persentase kenaikan dan penurunannya. Keseluruhan persentase pada zona I didominasi dengan persentase AP yang besar diikuti oleh persentase spora dan NAP. Ini menunjukkan pada awal zona hingga akhir zona merupakan iklim panas dan basah serta memiliki kelembaban yang tinggi.

b. Zona Keanekaragaman II

Zona keanekaragaman II merupakan zona kelompok antara kode sampel KS 50-31 – KS 100-24. Pada awal zona, persentase AP mengalami kenaikan yang signifikan dari 66,67% menjadi 100% diikuti dengan NAP yang sangat signifikan mengalami penurunan dari 33,33% hingga tidak ada 0%. Ini menunjukkan pada awal zona merupakan iklim panas dan basah ditandai dengan tingginya persentase AP serta kelembaban yang tinggi ditandai dengan tingginya persentase spora, selanjutnya penurunan persentase AP 66,67% diikuti dengan kenaikan NAP 33,33%. Perubahan iklim menjadi dingin dan kering terjadi pada sampel KS 100-27 ditandai dengan penurunan muka air laut akibat pembekuan es kutub dan penurunan kelembaban yang ditandai dengan penurunan persentase spora. Pada akhir zona, persentase AP kembali pada persentase di awal zona yaitu 66,67% diikuti persentase NAP yang relatif stabil sebesar 33,33% dan persentase spora yang sangat tinggi yaitu mencapai 72,73%, ini mengindikasikan iklim panas dan basah dan cenderung lembab. Zona iklim II merupakan zona antara kode sampel KS 100-23 – KS 150-20. Pada awal zona terjadi kenaikan sampai puncak tertinggi yaitu 100% dengan tidak adanya kemunculan NAP, dan terjadi penurunan persentase AP menjadi 50% dengan kenaikan NAP 50%. Pada akhir zona, AP kembali berada pada puncak persentase terbesar yaitu 100% yang mengindikasikan iklim panas dan basah.

c. Zona Keanekaragaman III

Zona keanekaragaman III merupakan kelompok zona antara kode sampel KS 150-19 – KS 150-12. Pada awal zona, AP mengalami kenaikan yang sangat signifikan hingga 100% dan NAP 0%, lalu terjadi penurunan pada AP hingga persentase 75% diikuti dengan NAP sebesar 25%. Pada akhir zona, AP mengalami penurunan yang tinggi yaitu dari persentase sebesar 100% sampai dengan persentase 50%, diikuti oleh NAP yang terus mengalami kenaikan yaitu dari persentase 0% hingga 50% serta persentase spora yang rendah yaitu 27,27% hal tersebut mengindikasikan iklim dingin dan kering serta kelembaban yang rendah. Zona iklim III merupakan zona dengan satu kode sampel yaitu KS 150-11. Pada awal hingga akhir zona memiliki persentase AP 50% dan NAP 50% serta spora 60%, hal tersebut mengindikasikan iklim yang lembab.

d. Zona Keanekaragaman IV

Zona keanekaragaman IV merupakan kelompok zona antara kode sampel KS 200-10 – KS 200-1. Pada awal zona, terjadi kenaikan AP hingga 100% dan NAP 0%. AP mengalami penurunan hingga 50% diikuti NAP yang mengalami kenaikan hingga 50%.

Fluktuasi kenaikan dan penurunan AP dan NAP terus terjadi namun tidak bergerak signifikan persentasenya. AP kembali mengalami kenaikan yaitu sebesar 66,67% diikuti oleh NAP yang mengalami penurunan sebesar 33,33%. Pada akhir zona terjadi penurunan AP hingga 50% dan kenaikan NAP hingga 50% serta cukup tingginya persentase spora yaitu 44,44%, hal tersebut mengindikasikan iklim relatif kering.

Berdasarkan kurva AP dan NAP sebagai kurva penunjuk perubahan iklim dan tingkat kelembaban dari suatu lingkungan dan kurva persentase spora sebagai kurva penunjuk tingkat kelembaban. Pada kawasan ini dari kode sampel KS 50-40 – KS 200-1 kurva AP dan NAP bahwa daerah Kawasan Pantai Utara dari bukti Palinomorf Muara Kali Semarang didominasi oleh Arboreal Pollen (AP) dengan persentase 72,02% yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Non Arboreal Pollen* (NAP) dengan jumlah persentase rata-rata sebesar 27,98%. Ini menunjukkan bahwa Kawasan Pantai Utara dari bukti Palinomorf Muara Kali Semarang memiliki iklim yang panas dan relatif basah. Sedangkan dalam kurva persentase spora, pada kawasan ini menunjukkan persentase spora yang cukup tinggi dengan jumlah rata-rata persentase sebesar 50,95%. Ini mengindikasikan bahwa kawasan ini memiliki kelembaban yang tinggi. Dapat disimpulkan bahwa daerah ini memiliki iklim panas dan sedikit lembab.

#### 4. KESIMPULAN

1. Keanekaragaman tumbuhan Kala Holosen kawasan Pantai Utara Jawa Tengah berdasarkan bukti palinomorf di Muara Kali Semarang diperoleh 33 taksa tumbuhan yang ditemukan terdiri atas 8 tingkat famili, 21 tingkat genus dan 4 tingkat spesies.
2. Terdapat 4 perubahan keanekaragaman hayati fosil polen.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan kalimat terima kasih kepada Program Studi Arsitektur Lanskap dan Program Studi Biologi Institut Teknologi Sumatera. Terima kasih juga kami ucapkan kepada Dr. Erwin Ardli, rer, nat dan Almarhum Dr. Rachmat Setijadi dari Universitas Jenderal Soedirman yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Colombo, F., Busquets, P., Sole de Porta, N., Limarino, C. O., Heredia, N., Rodriguez-Fernandez, L. R., & Alvarez-Marron, J. (2009). Holocene intramontane lake development: A new model in the Jáchal River Valley, Andean Precordillera, San Juan, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 28(3), 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.03.002>.
- Dincauze, D. F. (1987). Strategies for Paleoenvironmental Reconstruction in Archaeology. In *Advances in Archaeological Method and Theory* (Vol. 11). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-003111-5.50008-7>.
- Farooqi, T.J. et al. (2022). Global progress in climate change and biodiversity conservation research, *Global Ecology and Conservation*, 38. doi:10.1016/j.gecco.2022.e02272.

- Fedoroff, N., & Thompson, M. L. (n.d.). 1990. Micromorphological evidence holocene  
García Massini, J.L. et al. (2006) The occurrence of the fern acrostichum in  
oligocene volcanic strata of the northwestern Ethiopian Plateau, *International  
Journal of Plant Sciences*, 167(4), pp. 909–918. doi:10.1086/504390. paleosols.  
653–665.
- Hilmi, E. (2018). Mangrove landscaping using the modulus of elasticity and rupture  
properties to reduce coastal disaster risk. *Ocean and Coastal Management*,  
165(August), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.08.002>.
- Lima, L. G., & Parise, C. K. (2020). Holocene coastal evolution of the transition from  
transgressive to regressive barrier in southern Brazil. *Catena*, 185(January 2019),  
104263. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104263>.
- Lin, G. et al. (2023). *Late quaternary mangrove biogeography and paleoenvironments in  
the reef area of the South China Sea based on analysis of palynomorph  
assemblages*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 624, p.  
111641. doi:10.1016/j.palaeo.2023.111641.
- Linhares, A. P., Gaia, V. do C. de S., & Ramos, M. I. F. (2017). The significance of  
marine microfossils for paleoenvironmental reconstruction of the Solimões  
Formation (Miocene), western Amazonia, Brazil. *Journal of South American Earth  
Sciences*, 79, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.07.007>.
- Medeanic, S., Costa, C. S. B., & Diniz, D. 2016. Modern pollen–vegetation relationships  
in saltmarsh habitats along a salinity gradient of a fluvial estuary. *Review of  
Palaeobotany and Palynology*, 233, 67–76.  
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2016.07.010>.
- Miall, A.D., R.G.Walker & James, N.P., (1992). *Alluvial Models, Facies Models*
- Morley, R.J., 1990. Short Course Introduction to Palynology With Emphasis on  
shoutheast Asia. Purwokerto: Fakultas Biologi Unsoed.
- Nordhaus, I., Toben, M., & Fauziyah, A. (2019). Impact of deforestation on mangrove  
tree diversity, biomass and community dynamics in the Segara Anakan lagoon,  
Java, Indonesia: A ten-year perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*,  
227(July), 106300. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106300>.
- Odum, E.P. 1994. *Dasar-dasar Ekologi*. Edisi Ketiga. Universitas Gadjah Mada Press  
Yogyakarta (Penerjemah Tjahjono Samingar).
- Pandey, S. et al. (2021) Modern pollen and vegetation relationships in a mangrove tidal  
creek, South Andaman, Andaman & Nicobar Islands, India and their  
palaeoecological implications, *CATENA*, 200, p. 105130.  
doi:10.1016/j.catena.2020.105130.
- Sasmito, S. D., Kuzyakov, Y., Lubis, A. A., Murdiyarso, D., Hutley, L. B., Bachri,  
S., Borchard, N. (2020). Organic carbon burial and sources in soils of coastal  
mudflat and mangrove ecosystems. *Catena*, 187(December 2019), 104414.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104414>.
- Setijadi, R., Widodo, S., & Suedy, A. (2016). Dinamika Iklim Berdasarkan Rekam Data  
Sporomorf pada Sedimen Sungai Bengawan Kabupaten Cilacap. *Dinamika Iklim  
Berdasarkan Rekam Data Sporomorf Pada Sedimen Sungai Bengawan Kabupaten  
Cilacap*, 24(1), 115–121. <https://doi.org/10.14710/baf.v24i1.11703>.
- Sreelekshmi, S., Preethy, C. M., Varghese, R., Joseph, P., Asha, C. V., Bijoy Nandan, S.,  
& Radhakrishnan, C. K. (2018). Diversity, stand structure, and zonation pattern of  
mangroves in southwest coast of India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11(4),  
573–582. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.08.001>.

- Suedy, S.W.A. dkk., 2006. Keanekaragaman Flora Hutan Mangrove di Pantai Kaliuntu Rembang Berdasarkan Bukti Palinologinya. *Jurnal Biodiversitas*, 7(4), p.2.
- Sutedjo, A., Marasabessy, A., & Soedijono, E. (2006). Analisis Polen dan Spora sebagai Indikator Perubahan Lingkungan di Daerah Pesisir Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. *Jurnal Ekologi Perairan*, 8(2), 105-115.
- Van Bijsterveldt, C. E. J., van Wesenbeeck, B. K., van der Wal, D., Afiati, N., Pribadi, R., Brown, B., & Bouma, T. J. (2020). How to restore mangroves for greenbelt creation along eroding coasts with abandoned aquaculture ponds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235, 106576. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106576>.
- Widodo, S., Suedy, A., & Sabiham, S. (2012). Fosil Polen Mangrove Berumur Pliosen Dari Formasi Tapak Daerah Kedung Randu , Banyumas Mangrove Pollen Fossils From The Tapak Formation Kedung Randu Area , *Banyumas Abstrak*. 14(1).
- Young, N. E., & Briner, J. P. (2015). Holocene evolution of the western Greenland Ice Sheet: Assessing geophysical ice-sheet models with geological reconstructions of ice-margin change. *Quaternary Science Reviews*, 114, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.01.018>.