

Penelitian Palinologi pada Sedimen Paleogen di Kawasan Indonesia Bagian Barat

Oleh:

Eko Budi Lelono

I. PENDAHULUAN

Singkapan sedimen umur Paleogen yang terdapat di Indonesia Barat sangat terbatas jumlahnya. Hal ini terutama disebabkan oleh aktivitas tektonik yang intensif yang berlangsung bersamaan dan sesudah umur Paleogen, yang mengakibatkan formasi umur ini tertimbun jauh di bawah permukaan. Sedangkan sedimen Paleogen yang didapat dari pemboran eksplorasi sulit diperoleh karena bersifat rahasia. Oleh karena itu tidak mengherankan kalau penelitian palinologi terhadap sedimen umur ini masih terbatas jumlahnya. Meskipun demikian, gambaran umum palinologi umur Paleogen sedikit banyak sudah terungkap. Sebagai buktinya beberapa peneliti telah menyusun zonasi polen untuk umur Paleogen seperti Morley (1991) dan Rahardjo dkk. (1994). Penelitian paling lengkap terhadap sedimen Paleogen tertua dilakukan oleh Muller (1968) terhadap Formasi Kayan (dulu bernama *Plateau Sandstone*) berumur Paleosen-Eosen Awal yang tersingkap di Sarawak. Keragaman polen dari formasi ini rendah dibandingkan dengan keragaman polen masa kini yang ada di Dataran Sunda dan umumnya tidak mempunyai kesamaan dengan spesies modern.

Di antara sedimen Paleogen yang paling kaya dengan kandungan palinomorf adalah Formasi Nanggulan berumur Eosen Tengah-Akhir yang tersingkap di desa Nanggulan, D. I. Yogyakarta. Beberapa penelitian dilakukan pada formasi ini antara lain oleh Barton (1988), Morley dan Harley (1995), dan Lelono (2000). Keragaman dan kelimpahan polen pada Formasi Nanggulan sangat tinggi terutama pada sedimen umur Eosen Tengah menunjukkan kondisi iklim basah tropis yang memungkinkan terbentuknya hutan tropis yang lebat. Selain itu, penelitian yang telah dilakukan memperlihatkan kehadiran palinomorf yang berasal dari India. Hal ini membuktikan bahwa telah terjadi migrasi tumbuhan dari India ke wilayah Asia Tenggara karena menyatunya kedua daerah tersebut

akibat tumbukan antara Lempeng India dan Lempeng Asia yang diperkirakan berlangsung pada Eosen Tengah (Hall, 1998).

Pada Oligosen Awal proses *rifting* dan *subsidence* (yang sudah dimulai pada Eosen Akhir) terus berlanjut yang ditandai dengan pembentukan *pull-apart basin* di beberapa daerah seperti Laut Cina Selatan, Sumatra dan Laut Jawa Barat Utara (Morley, 2000). Pada fase awal pembentukan *pull-apart basin* ditandai oleh terbentuknya endapan danau atau darat lainnya yang dibuktikan dengan dominasi alga air tawar *Pediastrum spp.* seperti ditemukan pada Cekungan Jawa Barat Utara. Mendekati umur Oligosen Akhir proses penurunan cekungan (*subsidence*) berlangsung sangat intensif pada area yang luas. Proses ini ditambah dengan kenaikan muka laut menyebabkan penyusutan daratan akibat penggenangan air laut, sehingga sedimentasi umumnya terjadi di lingkungan transisi sampai laut dangkal. Hal ini ditandai oleh kehadiran beragam palinomorf air payau (*mangrove* dan *back-mangrove*) pada penampang sumur umur Oligosen Akhir seperti dijumpai di Cekungan Jawa Barat Utara dan Jawa Timur Utara. Secara umum, keragaman dan kelimpahan palinomorf umur Oligosen jauh rendah dari pada umur Eosen. Hal ini disebabkan kondisi iklim lebih kering yang mendominasi umur Oligosen, meskipun di beberapa tempat dipengaruhi oleh iklim basah.

II. KETERSEDIAAN DATA

Data yang dimaksud dalam tulisan ini adalah kandungan polen dan spora yang diekstraksi dari percontoh batuan. Dalam hal ini percontoh yang digunakan berasal dari dua sumber berbeda, yaitu: Pertama, berasal dari permukaan, yang didapat dari hasil pembuatan penampang terukur (*measured sections*). Umumnya, data yang diperoleh dari lapangan tidak bersifat rahasia karena terkait dengan kegiatan penelitian LEMIGAS yang dibiayai oleh negara. Kedua, percontoh yang berasal dari bawah permukaan yang

diperoleh dari pemboran sumur migas. Percontoh sumuran baik berupa serbuk bor (*cutting*) dan inti bor (*coventional core* dan *side wall core*) adalah milik pelanggan LEMIGAS yang memerlukan jasa teknologi berupa analisis biostratigrafi percontoh sumuran. Oleh karena itu, data yang diperoleh dari analisis percontoh sumuran bersifat rahasia. Untuk kerahasiaan data, maka nama dan lokasi sumur yang digunakan dalam tulisan ini disamarkan.

III. METODOLOGI

A. Pengambilan Percontoh Batuan

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan percontoh baik yang berasal dari permukaan maupun dari bawah permukaan (sumuran). Percontoh permukaan lebih diutamakan dari pada percontoh sumuran, mengingat percontoh permukaan bebas dari pengaruh kontaminasi atau runtuh batuan di atasnya (*caving*) sebagaimana umum terjadi pada percontoh sumuran.

Pengukuran dilakukan terhadap suatu singkapan yang dianggap ideal mewakili formasi tertentu yang hendak diteliti, dan diikuti dengan pengambilan percontoh batuan. Hasil pengukuran di lapangan ini dituangkan dalam bentuk kolom stratigrafi terukur lengkap dengan posisi percontoh batuannya. Percontoh batuan dipilih yang berbutir halus dan berwarna gelap seperti batulanau, batulempung, serpih, lignit dan batubara. Untuk percontoh sumuran dipilih sesuai dengan variasi litologi yang ada atau ditentukan berdasarkan interval tertentu. Jenis litologi yang dipilih sama dengan litologi pada percontoh permukaan.

B. Preparasi Percontoh Batuan

Preparasi percontoh batuan dilakukan dengan teknik preparasi standar yang dikerjakan di Laboratorium Palinologi LEMIGAS. Percontoh yang akan diproses dipilih yang berbutir halus dan berwarna hitam atau gelap seperti tersebut di atas.

Batuan yang digunakan ditimbang seberat 15 sampai 50 gram tergantung pada jenisnya. Percontoh dibersihkan dan dihancurkan, kemudian direndam berturut-turut dalam HCl 50% selama dua jam, dalam HF selama dua puluh empat jam dan dalam HCl 10% panas. Pemisahan antara mineral dan material organik menggunakan larutan $ZnBr_2$ atau $ZnCl_2$ dengan cara *centrifuge*. Selanjutnya material organik direndam dalam HNO_3 dan dalam KOH 5% panas, diberi perlakuan ultrasonik dan disaring baru kemudian dibuat preparat (*slide*).

Khusus untuk preparasi jenis batubara percontoh hanya direndam dalam HCl 50%, HNO_3 dan KOH

5% panas. Kemudian residu disaring dan dibuat preparat.

C. Pengamatan Mikroskopis

Tahapan penelitian ini dilakukan di bawah mikroskop. Untuk determinasi palinomorf digunakan mikroskop transmisi binokuler dengan perbesaran 200 kali, 400 kali dan 1000 kali. Pada perbesaran 1000 kali digunakan minyak emersi.

D. Interpretasi/Analisis Data

Hasil pengamatan di bawah mikroskop menghasilkan keragaman (*diversity*) dan kelimpahan (*abundance*) palinomorf yang ada di setiap percontoh batuan. Data ini diplotkan dalam kolom stratigrafi sesuai dengan letak percontoh batuan dalam kolom dengan menggunakan perangkat lunak Strata Bugs. Diagram polen yang dihasilkan berupa diagram kuantitatif.

IV. PALINOLOGI PRA-EOSEN TENGAH

Pengamatan kandungan palinomorf berumur pra-Eosen Tengah mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti terdahulu terhadap sedimen umur Paleosen-Eosen Awal (Muller, 1968 dan Morley, 2000.), mengingat sulit mendapatkan percontoh umur tersebut baik yang berasal dari permukaan maupun bawah permukaan. Dari sedikit hasil penelitian palinologi umur Paleosen-Eosen Awal, penelitian yang dilakukan oleh Muller (1968) pada Formasi Kayan adalah yang terpenting. Morley (1998) melakukan interpretasi ulang data kandungan palinomorf Formasi Kayan, sehingga merevisi analisis awal yang dibuat oleh Muller (1968), terutama zonasi dan umur dari formasi ini. Dibandingkan dengan keragaman palinomorf masa kini, keragaman palinomorf pada Formasi Kayan jauh lebih rendah. Selain itu, umumnya palinomorf yang ada tidak diketahui kerabat terdekatnya yang hidup pada saat ini (*living relatives*), sehingga sulit untuk memprediksi lingkungan tempat tumbuhan tersebut hidup. Meskipun demikian ada palinomorf yang memiliki kekerabatan dengan tumbuhan yang hidup pada saat ini seperti *Spinizonocolpites echinatus* yang berkerabat dengan *Nypa* yang tumbuh di hutan *mangrove*. Polen lain yang kemungkinan hidup di lingkungan *mangrove* adalah *Proxapertites spp.* (Muller, 1968). Berdasarkan pengetahuan tentang lingkungan tempat kedua polen tersebut hidup serta dengan menerapkan suatu metode pengelompokan yang dikenal dengan *Correspondence Analysis*, Morley (2000) mencoba memprediksi lingkungan hidup tumbuhan penghasil palinomorf yang ditemukan pada Formasi Kayan. Polen yang berasal

dari vegetasi *mangrove* antara lain *Spinizonocolpites echinatus*, *S. baculatus*, *Proxapertites cursus*, dan *P. operculatus*. Sebaliknya, polen air tawar antara lain diwakili oleh *Dicolpopollis malesianus*, *D. elegans*, *Gemmatricolpites pergemmatius*, dan *Myrtaceidites spp.* Sementara itu, polen yang dihasilkan oleh vegetasi dataran tinggi antara lain adalah *Rugubivesiculites reductus*, *Pinus*, *Ephedra*, dan *Classopollis*.

Selain Formasi Kayan di Sarawak, lokasi lain tempat ditemukan sedimen umur Paleosen-Eosen Awal adalah Laut Jawa Timur Utara. Dilaporkan bahwa kandungan palinomorff yang ditemukan pada sedimen mempunyai kemiripan dengan yang dijumpai di Myanmar, tetapi sangat berbeda dengan kandungan palinomorff pada Formasi Kayan (Morley, 2000). Perbedaan kandungan palinomorff antara sedimen Paleose-Eosen Awal dengan Formasi Kayan disebabkan oleh lingkungan pengendapan yang berbeda, di mana sedimen Paleosen-Eosen Awal diendapkan di lingkungan rawa air tawar sedangkan Formasi Kayan terbentuk di lingkungan *mangrove-back-mangrove*. Keragaman palinomorff dari Laut Jawa Timur Utara dan Myanmar ini rendah karena berasal dari vegetasi yang tumbuhnya terbatas di lingkungan rawa air tawar. Diperkirakan iklim yang terjadi pada saat itu adalah iklim basah (*ever-wet*), yang dibuktikan dengan terbentuknya batubara pada sedimen tersebut (Morley, 2000). Beberapa palinomorff dapat dilacak kekerabatannya dengan palinomorff yang dihasilkan oleh tumbuhan modern, sebagai contoh adalah polen palem *Trichotomosulcate* yang mendominasi sedimen umur Paleosen-Eosen Awal diketahui mirip dengan polen masa kini yang berasal dari pohon palem yang hidup di Amerika Selatan bernama *Bactris*. Sementara itu, spora *Distaverrusporites margaritatus* yang cukup melimpah diperkirakan sebagai spesies awal dari keluarga Pteridaceae (Morley, 2000).

Dengan memperhatikan keragaman palinomorff pada formasi umur Paleosen-Eosen Awal, tampaknya belum muncul spesies pendatang dari luar wilayah Asia Tenggara, kecuali beberapa spesies asal India yang hadir pada umur Eosen Awal seperti *Proxapertites operculatus* dan *P. cursus*. Kondisi ini menunjukkan bahwa, setidaknya sampai Eosen Awal *Sunda Land* merupakan daerah yang terisolasi. Interpretasi ini sejalan dengan prediksi kondisi tektonik pada umur Paleosen-Eosen Awal, di mana pada kala ini Mikrokontinen India belum menumbuk Lempeng Asia dan Lempeng Pasifik masih jauh dari Lempeng Asia (Hall, 2002), sehingga tidak memungkinkan terjadi migrasi

tumbuhan ke dan dari Asia Tenggara. Kondisi ini berbeda dibandingkan dengan Eosen Tengah di mana banyak dijumpai palinomorff asal India yang menggambarkan telah terjadi migrasi tumbuhan dari India ke Asia Tenggara dan sebaliknya sebagai akibat dari tumbukan antara Mikrokontinen India dengan Lempeng Asia pada umur ini.

V. PALINOLOGI EOSEN TENGAH

Kandungan palinomorff umur Eosen Tengah paling beragam dan melimpah dijumpai pada Formasi Nanggulan. Formasi ini dikenal sebagai formasi yang mengandung palinomorff umur Eosen paling melimpah dan paling beragam antara Cekungan Gippsland di Australia dan India (Morley, kom. prib.). Formasi Nanggulan juga dikenal sebagai lokasi klasik di wilayah Indo-Pasifik untuk fauna Eosen, seperti moluska, foraminifera, koral, briozoa, ekinoida dan krustasea (Oppenoorth dan Gerth, 1929 dan Bemmelen, 1949). Kehadiran fauna-fauna Eosen ini memungkinkan pengecekan umur palinomorff yang ditemukan pada formasi ini, sehingga dapat diketahui dengan pasti palinomorff indeks yang mencirikan umur Eosen. Beberapa peneliti terdahulu seperti Takahashi, 1982, Morley, 1982, Barton, 1988 dan Harley dan Morley, 1995 telah mengindikasikan adanya aspek khusus palinologi pada Formasi Nanggulan seperti kehadiran palinomorff Eosen dengan keragaman dan kelimpahan tinggi. Meskipun demikian belum pernah dilakukan kajian mendalam tentang palinologi Formasi Nanggulan, sehingga karakteristik palinologi Eosen di formasi ini belum diketahui dengan rinci. Penelitian yang dilakukan oleh penulis menunjukkan kandungan palinomorff yang sangat melimpah, di mana sedikitnya ditemukan 300 jenis palinomorff (Lelono, 2000). Palinomorff penciri umur Eosen yang ditemukan pada Formasi Nanggulan antara lain *aff. Beaupredites matsuoekae*, *Ruellia type*, *Proxapertites cursus*, *Palmaepollenites kutchensis*, *Cupanieidites cf. flacidiformis*, dan *Dandotiospora laevigata* (Gambar 1). Penelitian menunjukkan bahwa palinomorff tersebut dijumpai secara melimpah pada umur Eosen Tengah. Palinomorff tersebut muncul pula pada umur Eosen Akhir, tetapi dengan kelimpahan yang rendah dan muncul tidak menerus (Gambar 2). Kondisi yang sama dijumpai pula pada umur Oligosen, di mana sebagian palinomorff tersebut muncul dengan kelimpahan sangat rendah, sedangkan sebagian palinomorff yang lain tidak muncul, seperti *aff. Beaupreacidites matsuoekae*, *Cicatricosisporites eocenicus*, *Cupanieidites cf. flacidiformis*, dan *Ruellia type*. Dengan demikian dapat disimpulkan

bahwa secara palinologi, umur Eosen Tengah dicirikan oleh kelimpahan tinggi polen *Palmaepollenites kutchensis*, *Proxapertites operculatus*, *P. cursus*, dan *Dicolpopollis malesianus*. Selain itu, umur Eosen Tengah ditandai pula oleh kemunculan palinomorf berikut ini: *Cicatricosisporites eocenicus*, aff. *Beaupreacidites matsuoaka*, *Cupanieidites cf. flacidiformis*, *Spinizonolpites baculatus*, *Ixonanthes type*, dan *Ruellia type*.

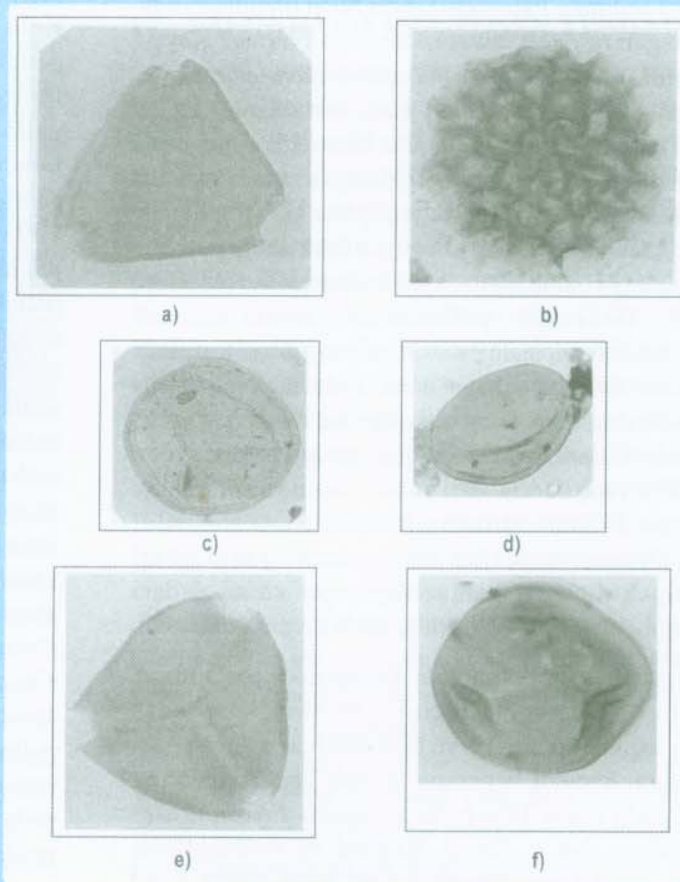
Memperhatikan kandungan palinomorf umur Eosen Tengah, ternyata banyak ditemukan palinomorf yang datang dari luar Asia Tenggara. Palinomorf tersebut berasal dari India yang diperkirakan hidup pada umur Paleosen-Eosen Awal, antara lain: aff. *Beaupreacidites matsuoaka*, *Cupanieidites cf. flacidiformis*, *Palmaepollenites kutchensis*, *Proxapertites operculatus*, *P. cursus*, dan *Ixonanthes type*. Kehadiran palinomorf India pada sedimen umur Eosen Tengah di Indonesia Barat erat kaitannya dengan peristiwa tumbukan antara Lempeng India dan Asia pada Eosen Tengah (Hall, 2000) akibat pergerakan Lempeng India ke arah utara (Gambar 3). Hilangnya penghalang laut antara ke dua lempeng tersebut memungkinkan terjadinya migrasi tumbuhan dari India ke Asia Tenggara dan sebaliknya. Migrasi tumbuhan ini juga terjadi karena pada Eosen Tengah, India dan Indonesia (Asia Tenggara) memiliki iklim serupa, yaitu iklim basah (*ever-wet climate*). Tampaknya vegetasi ini lebih agresif dari pada rekannya di Asia Tenggara, terbukti dengan banyak dijumpainya palinomorf India di Asia Tenggara dari pada sebaliknya (Morley, 2000).

Identifikasi sedimen umur Eosen Tengah berdasarkan kandungan palinomorf seperti tersebut di atas sangat penting artinya, mengingat fosil ini sangat melimpah dan beragam sehingga memungkinkan penyusunan zona palinologi lokal secara rinci dan lengkap.

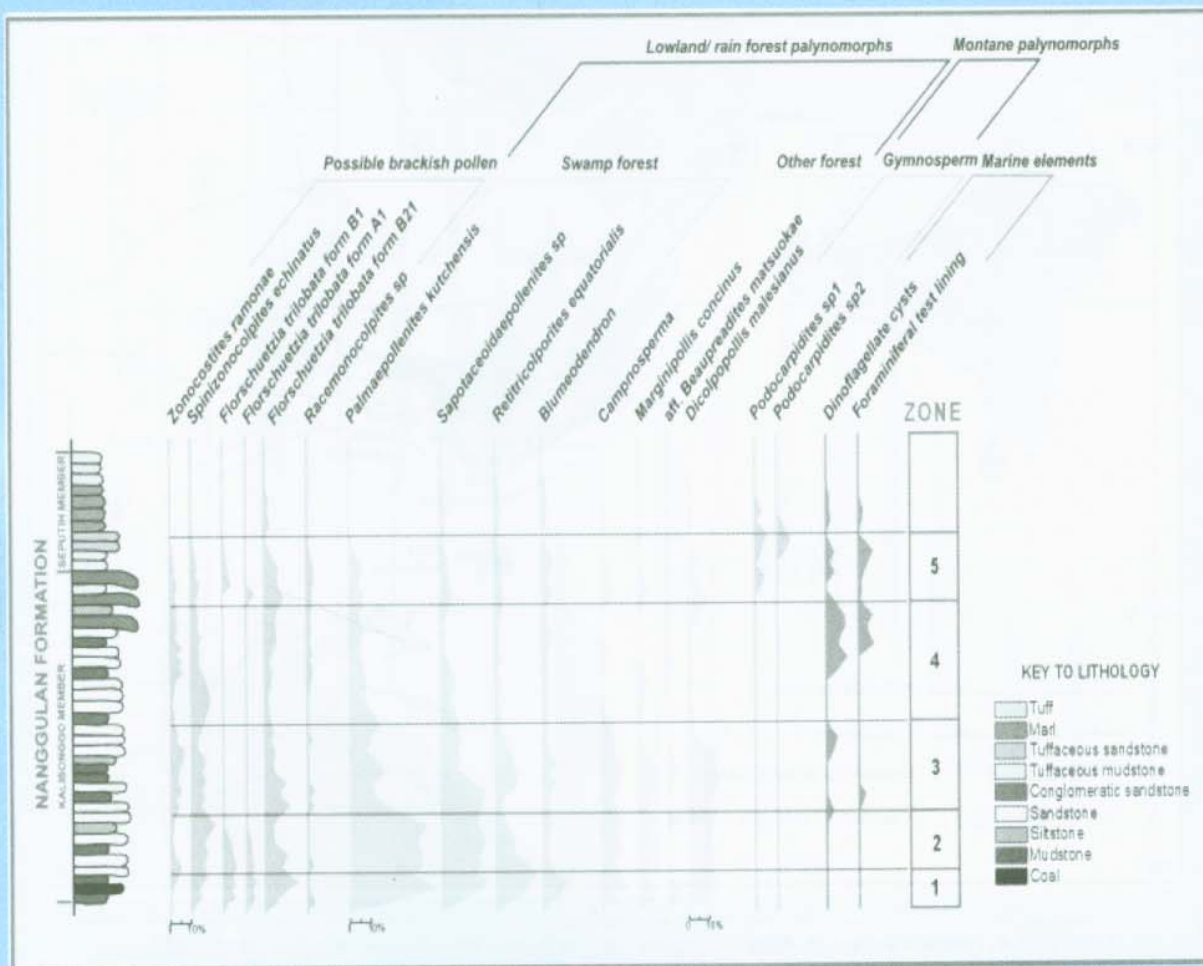
VI. PALINOLOGI EOSEN AKHIR

Sedimen umur Eosen Atas didapat dari bagian atas Formasi Nanggulan

(Yogyakarta), Formasi Toraja (Sulawesi Selatan), Formasi Ngimbang (Jawa Timur), Formasi Bayah (Jawa Barat) dan percontohan sumuran dari Kalimantan Timur. Ciri umum yang mudah diamati dari sedimen umur Eosen Akhir adalah kandungan palinomorf yang menurun secara drastis, baik keragaman maupun kelimpahannya, dibandingkan dengan sedimen Eosen Tengah. Beberapa palinomorf yang muncul melimpah pada Eosen Tengah menurun drastis pada Eosen Akhir, seperti *Palmaepollenites kutchensis*, *Proxapertites operculatus*, *P. cursus*, aff. *Beaupreacidites matsuoaka*, *Cupanieidites cf. flacidiformis*, *Ruellia type*, *Ixonanthes type*, dan *Dandotiospora laevigata*. Selain itu, umur Eosen Akhir ditandai pula oleh kemunculan polen *P. operculatus* dengan retikulasi lebih halus dibandingkan dengan polen sejenis yang



Gambar 1
Palinomorf penciri umur Eosen Tengah-Akhir yang berasal dari India, antara lain: aff. *Beaupredites matsuoaka* (a), *Ruellia type* (b), *Proxapertites cursus* (c), *Palmaepollenites kutchensis* (d), *Cupanieidites cf. flacidiformis* (e), dan *Dandotiospora laevigata* (f). Perbesaran 1000 kali



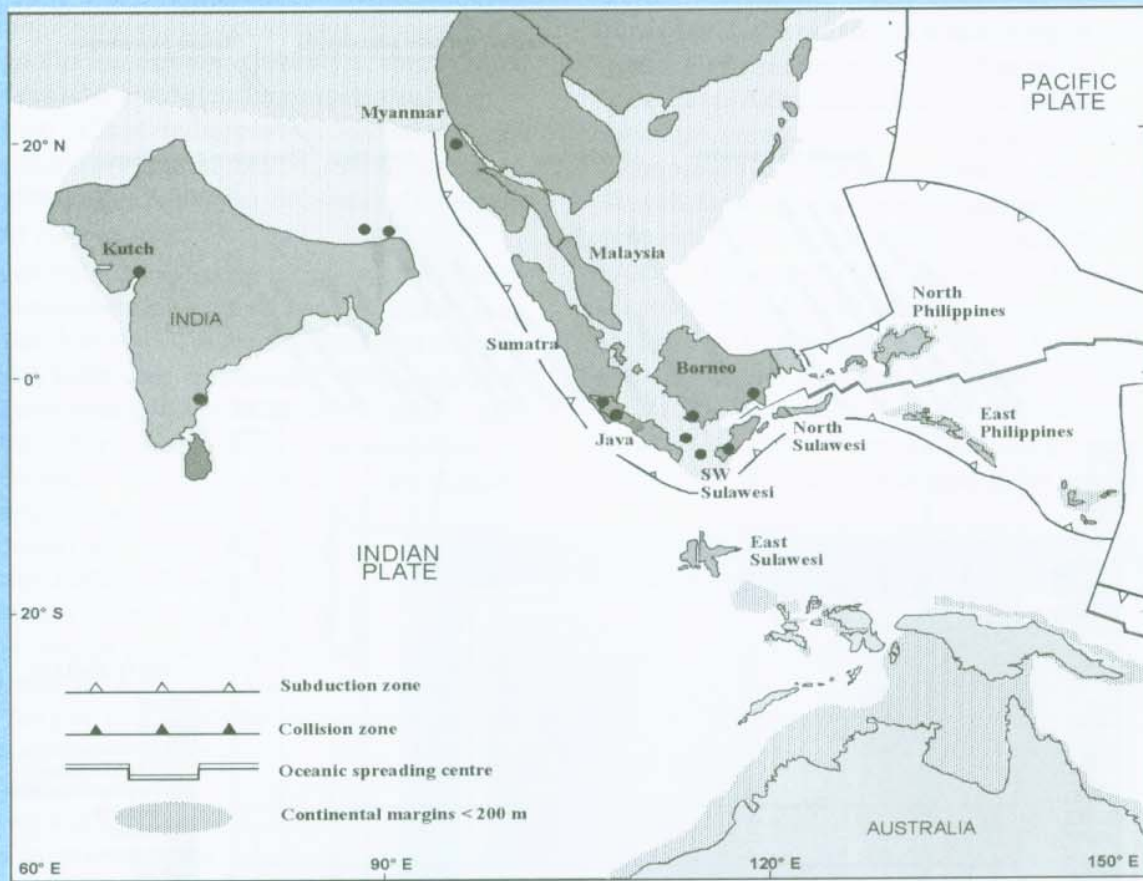
Gambar 2
Ringkasan diagram polen dari farmasi Nanggulan umur esosen tengah-akhir yang tersingkap di Desa Nanggulan, Yogyakarta

muncul pada umur Eosen Tengah (Gambar 4). Polen *P. operculatus* yang memiliki retikulasi halus ini dilaporkan muncul pula pada Formasi Bayah umur Eosen Akhir yang tersingkap di Jawa Barat (Morley, kom. prib.).

Berkurangnya kandungan palinomorf pada Eosen Akhir sebagian disebabkan oleh penurunan daratan diikuti oleh kenaikan muka laut yang mengakibatkan berkurangnya daratan tempat vegetasi penghasil polen tumbuh. Di samping itu, berkurangnya kandungan palinomorf juga terkait dengan terbentuknya iklim yang lebih kering dari pada iklim Eosen Tengah. Hal ini dibuktikan dengan hadirnya polen gimnosperm dalam jumlah memadai seperti *Podocarpidites spp.* (Gambar 2). Indikasi iklim kering pada Eosen Akhir ditemukan pula di Amerika Utara (Wolfe, 1992) dan Eropa Barat

(Collinson, 1992). Puncak dari iklim kering ini terjadi pada akhir Eosen Akhir yang dikenal dengan istilah *terminal Eocene cooling event*, yang ditandai dengan menurunnya keragaman dan kelimpahan palinomorf secara drastis. Di sisi lain, polen gimnosperm meningkat kelimpahannya secara signifikan. Meskipun demikian perlu diingat bahwa di Asia Tenggara efek dari *event* ini tidak dapat secara langsung diamati karena keterbatasan data palinologi dari sedimen umur Eosen Akhir. Yang jelas banyak palinomorf umur Eosen yang tidak lagi ditemukan pada umur Oligosen seperti *aff. Beaupreadites matsuoeki*, *Monoporites punctatus*, *Proxapertites operculatus*, *P. cursus*, dan "reticulate" *Anacolocidites spp.* ■

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa umur Eosen Akhir ditandai oleh penurunan drastis palinomorf

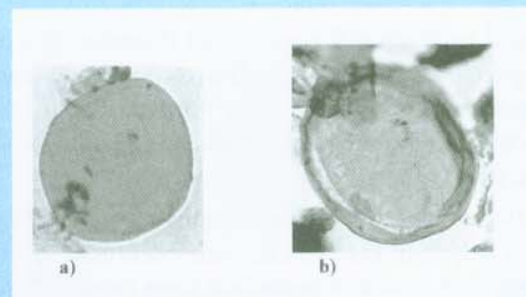


Gambar 3
Rekonstruksi tektonik daerah Asia Tenggara – India pada umur Eosen Tengah (Hall,1998) dan penyebaran polen India *Palmaepollenites kutchensis* (●) (Harley dan Morley, 1995)

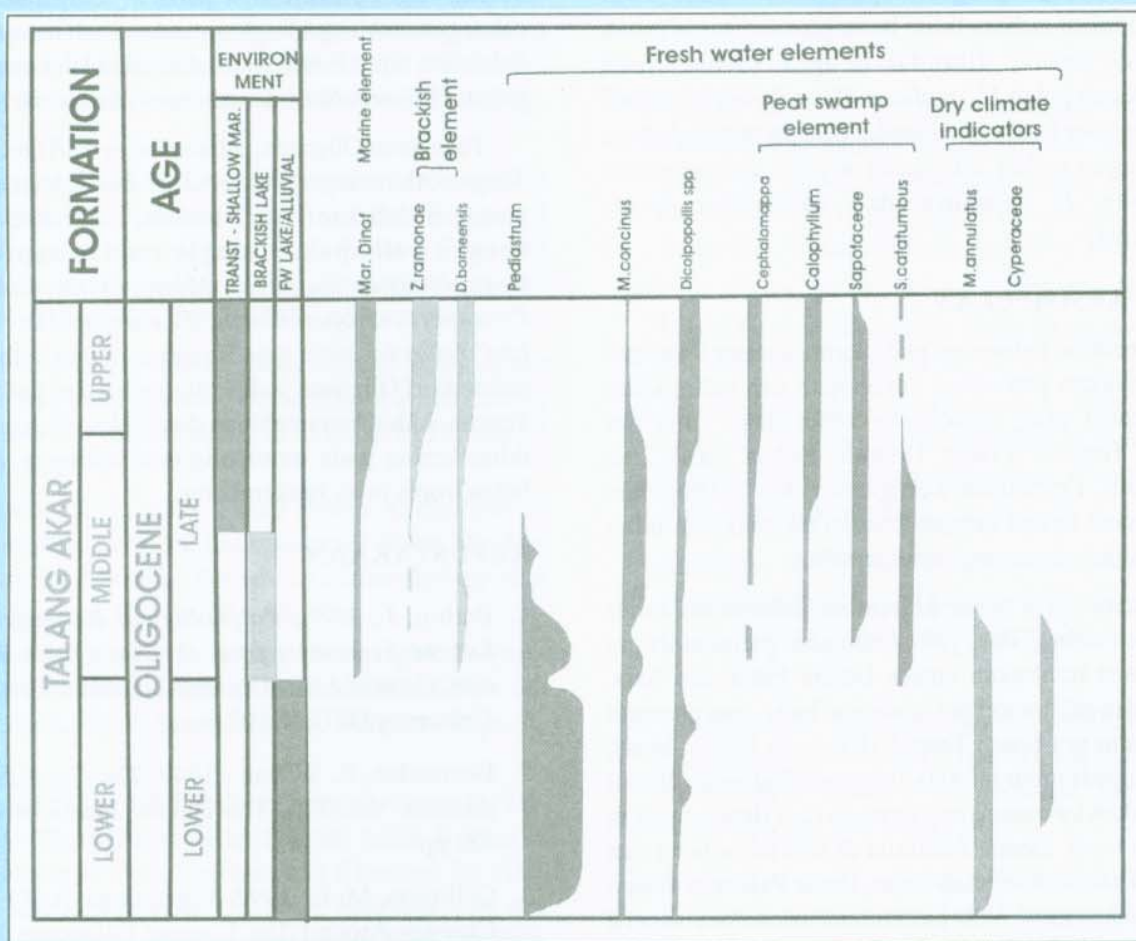
yang semula melimpah pada Eosen Tengah. Penurunan kelimpahan palinomorf ini terkait dengan penurunan tingkat kelembapan yang terjadi pada Eosen Akhir (Katz, 1991 dan Harley dan Morley, 1995). Tingkat kelembapan yang rendah ditandai dengan jarang ditemukan lapisan batubara selama umur Eosen Akhir.

VII. PALINOLOGI OLIGOSEN

Secara tektonik umur Oligosen dicirikan oleh pembentukan *pull-apart basins* seperti terjadi di Laut Cina Selatan, Sumatra dan Laut Jawa Barat Utara. Pada awal pembentukannya, sedimentasi umumnya berlangsung di lingkungan danau air tawar, seperti dibuktikan oleh kumpulan palinomorf Oligosen yang ada di Cekungan Jawa Barat Utara (Gambar 5). Endapan danau air tawar yang terbentuk di cekungan ini relatif tebal dan ditandai oleh kelimpahan tinggi alga air tawar *Pediastrum spp.* Pada endapan ini tidak ditemukan



Gambar 4
Proxapertites operculatus yang muncul di Formasi Nanggulan umur Eosen Tengah yang tersingkap di Yogyakarta(a). *P. operculatus* dengan retikulasi halus yang mencirikan umur Eosen Akhir, yang ditemukan di Formasi Toraja, Sulawesi Selatan dan Formasi Bayah, Jawa Barat (b). Perbesaran 1000 kali



Gambar 5
Ringkasan diagram polen dari sedimen umur Oligosen yang berasal dari Laut Jawa Barat Utara

palinomorff air payau (*mangrove* dan *back-mangrove*), menandai belum ada pengaruh laut. Sementara itu, proses penurunan (*subsidence*) di daerah tersebut di atas terus berlangsung mengurangi elevasi daratan. Pada Oligosen Akhir-Miosen Awal muka laut naik secara signifikan (Haq, 1988). Akibat ke dua peristiwa ini, cekungan yang terdapat di Indonesia Barat umumnya tenggelam di bawah permukaan laut dan menghasilkan endapan-endapan laut dangkal. Hal ini dibuktikan dengan kehadiran palinomorff air payau pada endapan yang terletak di atas endapan danau air tawar, seperti *Zonocostites ramonae*, *Florschuetzia trilobata*, dan *Spinizonocolpites echinatus* (Gambar 5).

Keragaman dan kelimpahan palinomorff umur Oligosen sangat berbeda dibandingkan dengan umur

Eosen. Sebagian besar palinomorff penciri umur Eosen tidak dijumpai pada umur Oligosen. Disamping itu, palinomorff umur Oligosen menunjukkan kelimpahan jauh lebih rendah dibandingkan dengan umur Eosen, terutama Eosen Tengah. Umur Oligosen ditandai oleh kemunculan spora *Cicatricosisporites dorogensis*. Selain itu, umur ini dicirikan pula oleh kehadiran *Meyeripollis naharkotensis* yang pertama kali muncul pada umur Eosen Akhir dan memperlihatkan kelimpahan tinggi pada umur Oligosen. Polen *back-mangrove* *Florschuetzia trilobata* dijumpai pada umur Oligosen tanpa kehadiran *F. levipoli* dan *F. meridionalis*. Polen Dipterocarpaceae diduga pertama kali muncul pada umur Oligosen (Morley, 2000).

Seperti halnya Eosen Akhir, diperkirakan umur Oligosen didominasi oleh iklim kering. Hal ini dibuktikan

dengan kelimpahan tinggi *grass pollen Monoporites annulatus* sepanjang endapan danau, pada awal pembentukan terban. Iklim berangsur-angsur berubah menjadi basah, ditandai dengan menurunnya kelimpahan polen *M. anulatus*. Iklim basah ini terjadi pada fase *sea level rise*, ditandai dengan meningkatnya kandungan polen air payau seperti *Zonocostites ramonae*, *F. trilobata*, dan *Spinizonocolpites echinatus*.

VIII. KESIMPULAN

Penelitian palinologi pada formasi umur Paleogen menunjukkan perbedaan keragaman dan kelimpahan palinomorf yang mencirikan keberadaan umur pra Eosen Tengah, Eosen Tengah, Eosen Akhir dan Oligosen. Perbedaan keragaman dan kelimpahan palinomorf terkait dengan kondisi tektonik dan iklim yang terjadi sepanjang umur tersebut.

Secara garis besar kumpulan palinomorf umur Paleogen terbagi dua, yaitu kumpulan palinomorf pra dan pasca tumbukan antara Benua India dan Asia. Kumpulan palinomorf pra tumbukan India-Asia dijumpai pada umur pra Eosen Tengah (Paleosen-Eosen Awal), di mana pada umur ini Asia Tenggara (Indonesia Barat) merupakan kawasan yang terpisah dari Benua India di sebelah barat, Benua Australia di sebelah selatan dan Benua Pasifik di sebelah timur. Umur Paleosen-Eosen Awal didominasi oleh palinomorf khas Asia seperti *Spinizonocolpites echinatus*, *S. baculatus*, *Dicolpopollis malesianus*, *D. elegans*, *Gemmatricolpites pergemmatius*, *Myrtacidites spp.*, *Rugubivesiculites reductus*, *Pinus*, *Ephedra*, dan *Classopollis*. Sebaliknya, palinomorf pasca tumbukan dijumpai pada Eosen Tengah-Akhir, di mana Benua India telah menumbuk Benua Asia sehingga meniadakan penghalang laut antara kedua benua tersebut. Selanjutnya dengan berkembangnya iklim basah yang meliputi kedua benua ini memungkinkan terjadi migrasi tumbuhan dari dan ke India/ Asia Tenggara. Rekaman palinomorf Eosen Tengah di Indonesia Barat memperlihatkan kehadiran palinomorf asal India dengan keragaman dan kelimpahan signifikan, menunjukkan agresivitas palinomorf India yang tinggi. Palinomorf India yang dijumpai pada Eosen Tengah-Akhir antara lain *Palmaepollenites kuchensis*, *Proxapertites operculatus*, *P. cursus*, *aff. Beaupreacidites matsuoekae*, *Cupanieidites cf. flacidiformis*, *Ruellia type*, *Ixonanthes type*, dan *Dandotiospora laevigata*. Palinomorf tersebut dijumpai melimpah pada Eosen Tengah, tetapi menurun

drastis pada Eosen Akhir akibat berkembangnya iklim kering dan berlanjutnya proses penurunan dasar cekungan, sehingga lingkungan berubah menjadi laut. Selain itu, umur Eosen Akhir ditandai oleh kemunculan palem *P. operculatus* dengan retikulasi lebih halus.

Pada umur Oligosen, palinomorf penciri umur Eosen Tengah-Akhir seperti tersebut di atas sebagian besar punah. Sedangkan yang bertahan, umumnya muncul dengan kelimpahan sangat rendah seperti *aff. Beaupreadites matsuoeki*, *Monoporites punctatus*, *Proxapertites operculatus*, *P. cursus*, dan "reticulate" *Anacolodites spp.* Keragaman dan kelimpahan palinomorf Oligosen jauh lebih rendah dari pada Eosen Tengah-Akhir, kemungkinan disebabkan oleh dominasi iklim kering pada umur oligosen sehingga vegetasi hutan tropis tidak berkembang.

KEPUSTAKAAN

1. Barton, J., 1988. *Palynological Investigation of Eocene Sediments from the Nanggulan Formation, Central Java*. Unpublished MSc Thesis, The University Of Hull, 107 pp.
2. Bemmelen, R. W. van., 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. 1 A, The Hague, Martinus nijhoff, 732 pp.
3. Collinson, M. E., 1992. Vegetational And Floristic Changes Around The Eocene/ Oligocene Boundary In Western And Central Europe. In: Prothero, D. R. and Berggren, W. A. (eds.), *Eocene-Oligocene Climatic And Biotic Evolution*, Princeton University Press, pp. 437 – 450.
4. Hall, R., 1998. The Plate Tectonics of Cenozoic SE Asia and the Distribution of Land and Sea. In: Hall, R. and Holloway, J. (eds.), *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*, Backhys Publishers, Amsterdam, pp. 99 - 132.
5. Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20, pp. 353-431.
6. Haq, B. U., Hardenbol, J., Vail, P. R. and Baum, G. R., 1988. Mesozoic And Cenozoic Chronostratigraphy And Eustatic Cycles. In: Wilgus, C. K., Hasting, B. S., Posamentier, H. and Van Wagoner, J. (eds.), *Sea Level Change: An Integrated Approach*, Society Of Economic Palaeontologists And Mineralogists, Special Publication, 42, pp. 71 – 108.

7. Harley, M. M and Morley, R. J., 1995. Ultrastructural Studies of Some Fossil and Extant Palm Pollen, and the Reconstruction of the Biogeographical History of Subtribes Iguanurinae and Calaminae. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 85, pp. 153-182.
8. Hartono, H. M. S., 1969. Globigerina Marl and their Planktonic Foraminifera from the Eocene of Nanggulan, Central Java. *Contributions From The Cushman Foundation For Foraminiferal Research*, Vol. XX, Part 4, 152 – 159.
9. Lelono, E. B., 2000. *Palynological Study of the Eocene Nanggulan Formation, Central Java, Indonesia*. Unpublished PhD Thesis. University Of London.
10. Morley, R. J., 1982. Fossil Pollen Attributable to *Alangium* Lamarck (Alangiaceae) From The Tertiary Of Malesia. *Review of Palaeobotany And Palynology*, 36, pp. 65 – 94.
11. Morley, R. J., 1991. Tertiary Stratigraphic Palynology in Southeast Asia: Current Status and New Directions. *Geol. Soc. Malaysia*, Bulletin 28, pp. 1-36.
12. Morley, R. J., 1998. Palynological Evidence for Tertiary Plant Dispersal in The SE Asian Region in Relation to Plate Tectonic and Climates. In: Hall, R. and Holloway, J. D. (eds.), *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*, Backhys Publishers, Amsterdam, pp. 211 – 234.
13. Morley, R. J., 2000. *Origin And Evolution Of Tropical Rain Forests*. Wiley, London.
14. Muller, J., 1968. Palynology Of The Pedawan And Plateau Sandstone Formations (Cretaceous-Eocene) In Sarawak, Malaysia. *Micropaleontology*, 14, (1), pp. 1 – 37.
15. Okada, M. 1981. Calcareous Nannofossils Of Cenozoic Formations In Central Java. In: Saito, T. (ed.), *Micropal., Petrol. And Litho. Of Cenoz. Rocks Of The Yogya Reg.-Cent. Java*, Dept. Of Earth Sci., Yamagata Univ., pp. 25 – 34.
16. Oppenoorth, W. W. F. and Gerth, H., 1929. The Upper Eocene Nanggulan Beds. *Excursion Guide*, 4th Pac. Sci. Congr., Java.
17. Purnamaningsih, S and Harsono, P., 1981. Stratigraphy and Planktonic Foraminifera of the Eocene - Oligocene Nanggulan Formation, Central Java. *Palaeontology Series*, 1, pp. 9 – 28.
18. Rahardjo, A. T., Polhaupessy, A. A., Wiyono, S., Nugrahaningsih, L. and Lelono, E. B., 1994. Zonasi Polen Tersier Pulau Jawa. *Proc. IAGI, 23rd Annual Convention*.
19. Takahashi, K., 1982. Miospores From The Eocene Nanggulan Formation In The Yogyakarta Region, Central Java. *Trans. Proc. Palaeont. Soc., Japan*. N. S., 126, pp. 303 – 326.
20. Wolfe, J. A., 1992. Climatic, Floristic, And Vegetational Changes Near The Eocene/ Oligocene Boundary In North America. In: Prothero, D. R. and Berggren, W. A. (eds.) *Eocene-Oligocene Climatic And Biotic Evolution*, Princeton University Press, pp. 421 – 436. •