

## SEDIMENTOLOGI DAN STRATIGRAFI FASIES ENDAPAN DANAU PURBA TONDANO, KABUPATEN MINAHASA (SULAWESI UTARA)

(Berdasarkan pada analisis geologi bawah permukaan sehubungan dengan studi deformasi *landform*)

*Herman Mulyana, Santoso \*)*

### SARI

Daerah penelitian yang termasuk dataran rendah di bagian utara Danau Tondano, tersusun oleh endapan Kuartar fasies danau dan sungai. Endapan bawah permukaan hasil pemboran dapat dibedakan menjadi: (a) fasies piroklastika, (b) perulangan fasies-fasies alur pasir danau, danau dan rawa, dan (c) fasies cekungan banjir dan rawa.

Puncak perkembangan lingkungan pengendapan Danau Tondano ditandai oleh terbentuknya fasies 1 hingga 3, sedangkan fasies 4 yang terletak di atasnya dipengaruhi oleh menyusutnya lingkungan danau. Meluas dan menyusutnya lingkungan danau/rawa di daerah penelitian tidak dapat diikuti secara menerus. Lingkungan ini lebih menunjukkan kombinasi rangkaian fasies yang spesifik, yakni : bagian bawah dicirikan oleh kegiatan gunung api yang diendapkan oleh medium air; bagian tengah ditandai oleh berkembangnya lingkungan danau; dan bagian atas mengindikasikan terhentinya kegiatan gunung api yang diikuti oleh berkembangnya lingkungan rawa dan cekungan banjir.

*Kata kunci: fasies, erupsi, iklim, dan tektonik*

### ABSTRACT

The studied area is located in the low-land area of the northern part of Tondano Lake which is dominated by Quaternary lake and fluvial deposits. Based on the sub-surface data, the lithofacies distribution of the deposit can be divided into: (a) pyroclastic deposit, (b) repetition between channel sand lake and lake or swamp deposits and, (c) floodbasin and swamp deposits.

The maximum development of the environmental deposition of Tondano Lake is indicated by formation of 1 up to 3 facies, while facies 4 which is situated above them was influenced by decrease of the lake environment. The increasing and decreasing of the lake environment in this area can not be traced continuously. It shows a combination of spesific facies arrangement, such as: the lower part, indicated by volcanic activities which were deposited by water; the middle part, indicated by lake invironment; and the upper part, indicated by the end of a volcanic activity which was then followed by the development of a swamp environment and flood basin.

*Keywords: facies, eruption, climate, tectonics*

### PENDAHULUAN

Peristiwa perkembangan fasies danau yang dipengaruhi oleh tektonik, umumnya merupakan suatu rekaman informasi yang baik untuk merekonstruksi perubahan iklim dan tektonik (Anadon *et al.*, 1991). Perubahan iklim selama Kuartar dalam fasies danau, terekam secara baik dan menerus. Rekaman ini dibuktikan oleh rangkaian endapannya yang dipengaruhi oleh efek iklim, termasuk flora dan geokimianya (Baltzer, 1991). Perlmutter dan Matthews (1989) juga menjelaskan betapa pentingnya fasies danau dan rawa sebagai salah satu parameter dalam mengontrol perubahan

iklim siklus Milankovitch. Oleh karena itu, meluas dan menyusutnya lingkungan tersebut mengikuti sirkulasi perubahan iklim.

Didasari oleh pemikiran di atas, perlu kiranya ditelusuri apakah endapan Kuartar yang terdapat di bawah permukaan merupakan endapan danau atau bukan. Sejauh mana hubungannya dengan evolusi Danau Tondano kini, termasuk faktor kontrol pembentuk sedimennya.

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah meng-korelasikan sedimen Kuartar bawah permukaan, di antaranya: (a) mendeskripsikan litologi dan lingkungan pengendapan, (b) mempelajari dan menginterpretasikan hubungan fasies secara

\*) Pusat Survei Geologi

mendatar dan tegak, dan (c) mendiskusikan faktor kontrol geologi pembentuk endapan dan mekanismenya.

Secara geografi daerah penelitian dibatasi oleh koordinat  $1^{\circ}15' - 1^{\circ}20' \text{ LU}$  dan  $124^{\circ}50' - 124^{\circ}56' \text{ BT}$ , dan termasuk bagian dari Lembar Manado berskala 1:50.000. Secara administratif, daerah ini berada dalam Kecamatan Tondano, Kabupaten Minahasa, Propinsi Sulawesi Utara (Gambar 1). Daerah penelitian dapat dijangkau dari Manado dengan kendaraan roda empat melalui jalan raya propinsi dan kabupaten dengan kondisi aspal yang bagus.

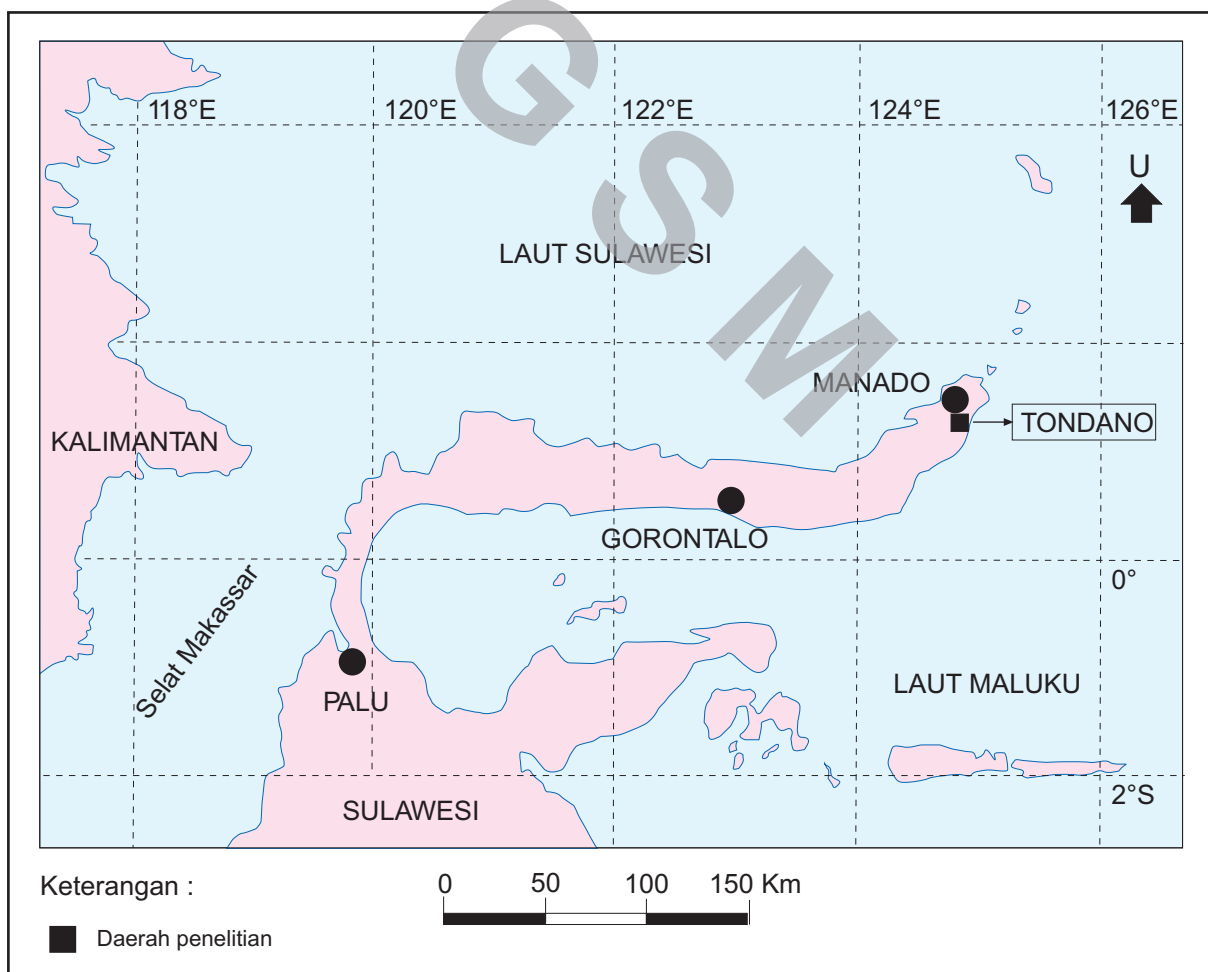
Untuk kebutuhan penelitian, telah dilakukan pemboran dangkal sebanyak 5 (lima) titik dengan kedalaman maksimum 10 m, berskala 1:100 (Gambar 2). Perubahan-perubahan fasies secara tegak baik tegas ataupun berangsur diperikan secara seksama, termasuk warna, pelapukan (paleosoil), komposisi, butiran, dan sebagainya. Konstruksi korelasi antar penampang dilakukan berdasarkan litofasies (fasies

sedimen). Hasil uji laboratorium belum dilakukan dalam penelitian ini, sehingga semua evaluasi data hanya berdasarkan pada hasil lapangan termasuk pemboran dangkal yang diperikan secara kualitatif.

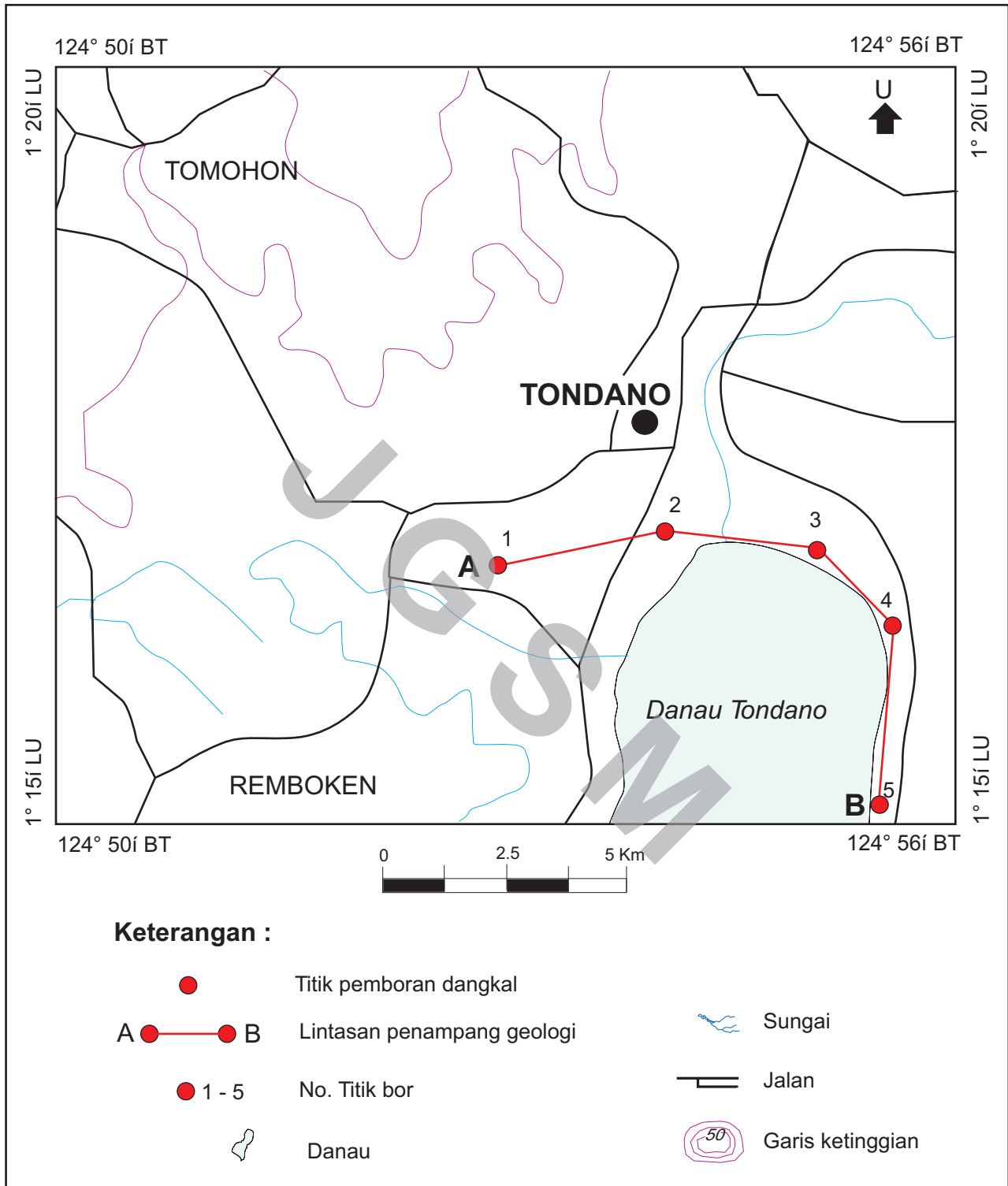
## TATAAN GEOLOGI

### Geologi Regional

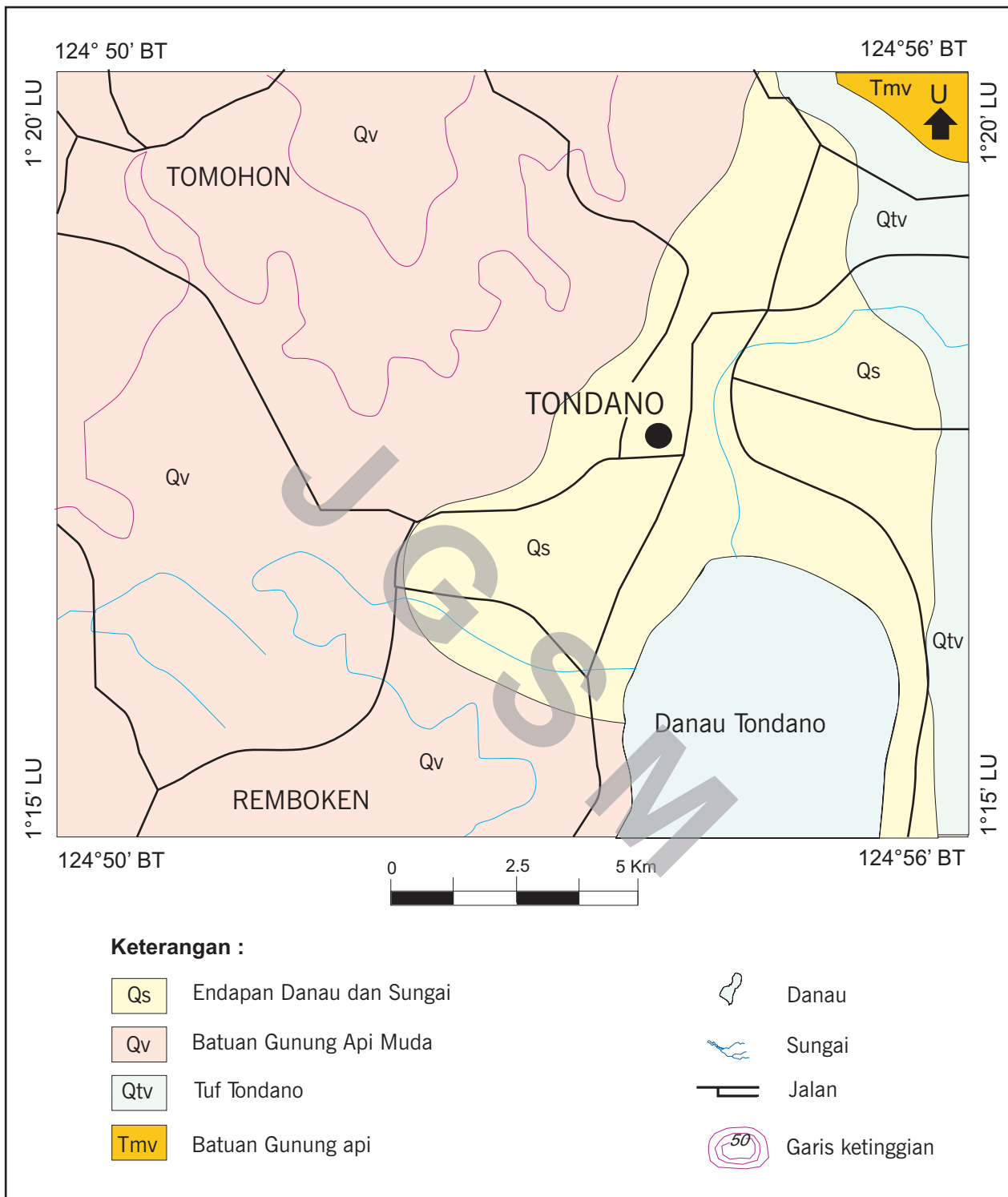
Daerah penelitian dan sekitarnya merupakan dataran rendah yang terletak di bagian utara Danau Tondano, yang menurut Effendi dan Bawono (1997) tersusun oleh endapan Kuartar berupa fasies danau dan sungai. Bentang alam ini dikelilingi oleh morfologi perbukitan dengan ketinggian antara 700 sampai 1000 m yang tersusun oleh Batuan Gunung Api (Tmv), Tuf Tondano (Qtv), Batuan Gunung Api Muda (Qv) dan Endapan Danau & Sungai (Gambar 3). Setiawan dkk. (2002), memasukkannya ke dalam bagian Blok Tektonik Tondano dengan pola struktur yang relatif rumit.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian daerah Danau Tondano, Kabupaten Minahasa, Sulawesi.



Gambar 2. Peta lokasi pemboran dangkal daerah Danau Tondano, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara.



Gambar 3. Peta geologi daerah Danau Tondano, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara (Effendi dan Bawono, 1997).

## Geologi Daerah Penelitian

### Stratigrafi

Berdasarkan Sandi Stratigrafi Indonesia, fasies didefinisikan sebagai penciri tubuh batuan sedimen yang merupakan kombinasi dari litologi, fisika dan biologi yang membedakan dengan tubuh batuan di atas dan di bawahnya (Soejono dan Djuhaeni, 1996). Fasies dapat didefinisikan dalam berbagai hal, bergantung pada skala kebutuhan pengamatan. Kuncinya adalah bagaimana kita membuat suatu kombinasi lapisan dalam ruang dan waktu serta sifat internalnya (litologi dan struktur sedimen) sebagai informasi kesebandingan satuan stratigrafi. Kumpulan fasies merupakan grup yang terdiri atas beberapa fasies yang secara genetika berhubungan satu sama lain dan mempunyai beberapa kaitan lingkungan pengendapan. Ini merupakan indikasi suatu bangunan variasi sistem pengendapan. Skala elemen bangunan dalam tubuh batuan sedimen menjadi jelas di dalam beberapa sistem pengendapan yang sifatnya menyeluruh atau universal sebagaimana fasies turbidit (Mutti & Ricci Luchii, 1972) dan fluvial (Miall, 1985).

Secara umum, tataan stratigrafi bawah permukaan di atas dapat dikorelasikan sebagai berikut:

- Fasies piroklastika termasuk bagian dari satuan batuan gunung api muda (Qv). Hal ini didasari pada kesamaan litologinya yaitu berupa abu vulkanik sebagai endapan tuf. Secara umum fasies vulkanik ini terdiri atas lava, bom, lapili, dan abu (Effendi dan Bawono, 1997), sehingga tidak dapat dikorelasikan dengan fasies gunung api lainnya seperti tuf Tondano (Qtv) dan batuan gunung api (Tmv).
- Kesenambungan proses sedimentasi rangkaian endapan akan membentuk susunan stratigrafi. Susunan tersebut dikelompokkan menjadi satu kesatuan proses sedimentasi yang menerus hingga sekarang. Menurut Effendi dan Bawono (1997) daerah penelitian ditutupi oleh endapan danau dan sungai yang terdiri atas pasir, lanau, konglomerat, dan lempung napalan. Komposisi ini sama dengan fasies di bawah permukaan, sehingga rangkaian fasiesnya dapat dimasukkan ke dalam endapan danau dan sungai (Qs).

Dari uraian di atas terlihat bahwa endapan Kuartar bawah permukaan merupakan hasil erupsi gunung api muda (Qv) yang selanjutnya diikuti oleh per-

kembangan fasies sedimen yang berkaitan dengan sistem lingkungan pengendapan danau. Proses erupsi gunung api tersebut berumur Plistosen bawah hingga Holosen Tengah (Effendi dan Bawono, 1997), sedimen berumur Kuartar tersebut ditafsirkan berumur Holosen-Resen. Fasies pasir danau berasal dari batuan vulkanik kegiatan erupsi gunung api tersebut, yang selanjutnya terendapkan di bagian dasar danau.

Komposisi runtunan fasies di atas, selanjutnya dibedakan berdasarkan: (a) perbedaan posisi tegak susunan lapisan, (b) bentuk atau pola lapisan, (c) sebaran lapisan, (c) komposisi/variasi litologinya dan, (d) perbedaan lingkungan fasies endapan secara datar dan tegak. Karakter stratigrafi berguna sebagai parameter dalam mengelompokkan lapisan, bahkan untuk sejarah perkembangan dinamika cekungan. Korelasi pola pengisian cekungan ini, selanjutnya dapat memberi petunjuk posisi relatif setiap kelompok lapisannya. Dengan demikian, sejarah pembentukan dan perkembangan fasies danau di daerah penelitian dapat ditelusuri.

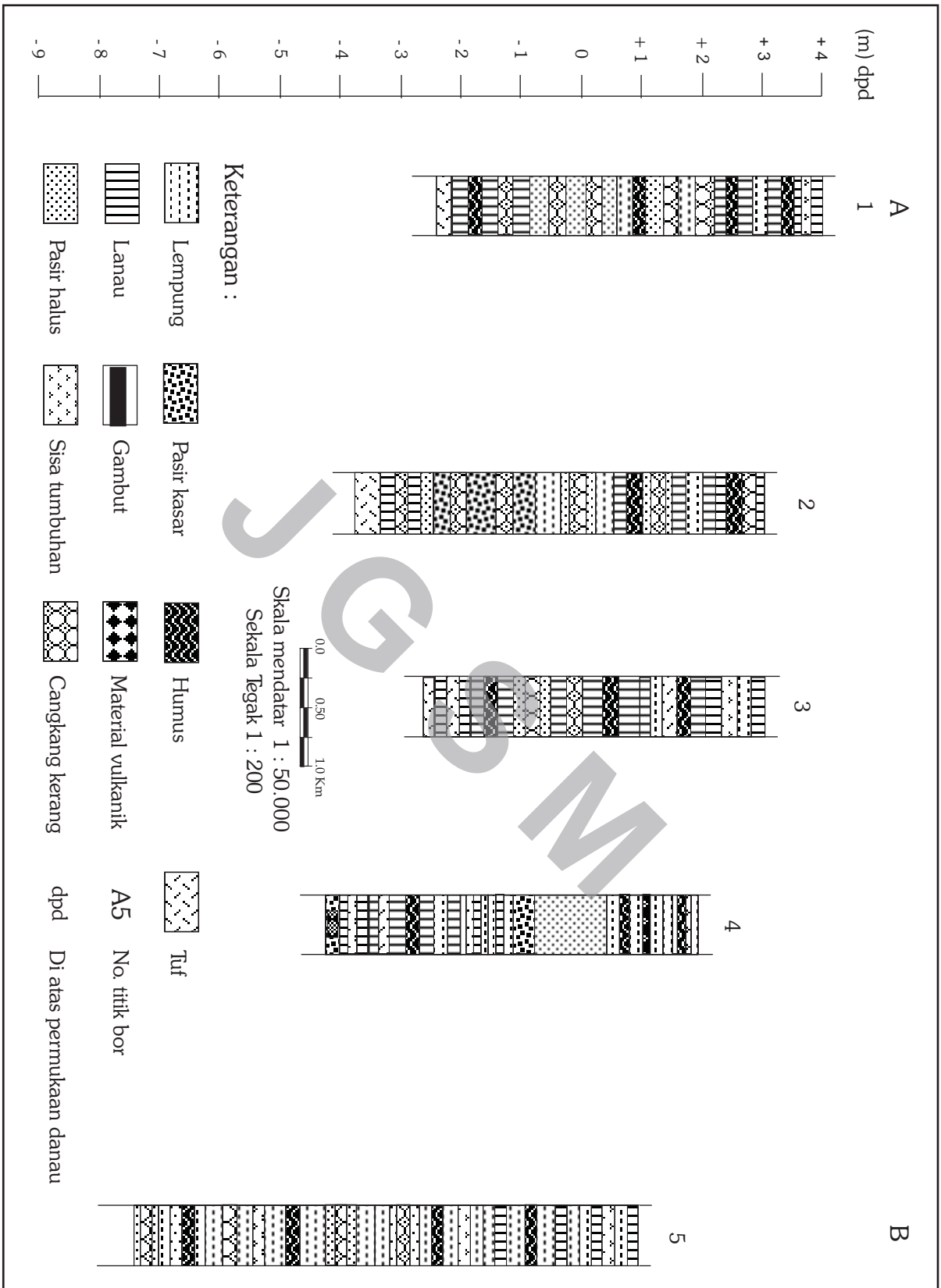
## SEDIMENTOLOGI

### Litologi dan Fasies Endapan

Ciri umum endapan bawah permukaan hasil pemboran adalah bagian bawah tersusun atas fasies piroklastika yang ditutupi oleh perulangan fasies-fasies alur pasir danau, danau dan rawa, sedangkan lapisan paling atas umumnya ditutupi oleh fasies cekungan banjir. Adanya perbedaan yang kompleks baik pada fasies berbutir halus maupun kasar membuktikan bahwa proses sedimentasi di daerah tersebut tidak sederhana, yang selanjutnya dapat dijelaskan dalam setiap mekanisme periode pengendapannya. Deskripsi litologi secara rinci dari masing-masing titik pemboran selanjutnya diuraikan dan disajikan dalam tabulasi seperti pada Gambar 4 sampai 9.

### Periode Pengendapan

Periode pengendapan Danau Tondano purba ditandai oleh adanya perulangan dari runtunan fasies-fasiesnya, yaitu fasies alur pasir danau, danau, dan rawa yang pada akhirnya ditutupi bagian atasnya oleh fasies cekungan banjir seperti yang terlihat kini. Perulangan runtunan fasies ini, dapat dijelaskan sebagai berikut (Gambar 10):

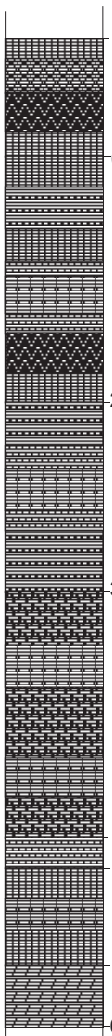


Gambar 4. Penampang tegak sedimen Kuartar hasil pemboran dangkal daerah Danau Tondano, Sulawesi Utara.



No. Bor : 2		Koordinat : N: 01° 17' 31" E: 124° 17' 58"	
Lokasi : Kampung Taler		Ketinggian : 698 M	

Litologi	Kedalaman (M)	Deskripsi Litologi	Penafsiran Genetik Litologi	Keterangan
	0.00 - 0.80	Lanau lempungan, coklat tua, banyak mengandung cangkang kerang. Di bagian bawah warnanya berubah menjadi hitam.	0.00-0.40 : Fasies danau 0.40-0.70 : Fasies rawa 0.70-2.10 : Fasies danau	↑ Kondisi iklim menuju maksimum
	0.80 - 2.50	Lanau lempungan, abu-abu kekuningan sampai coklat tua, berhumus, banyak mengandung cangkang kerang di dalam lapisan pasir halus.	2.10-2.40 : Fasies rawa 2.40-2.50 : Fasies danau Perselingan antara Fasies rawa dan danau	
	2.50 - 3.80	Lempung bersipan lapisan tipis pasir halus, banyak dijumpai cangkang kerang, berhumus, dijumpai sisa-sisa tumbuhan.	Fasies rawa	
	3.80 - 5.50	Pasir kasar, abu-abu kehijauan, banyak dijumpai sisa cangkang kerang, sedikit sisa tumbuhan.	Fasies danau	
	5.50 - 5.75	Lempung pasiran, abu-abu kehijauan, lunak, banyak dijumpai sisa cangkang kerang.	Fasies danau	
	5.75 - 6.40	Lanau, abu-abu kehijauan, sedikit dijumpai sisa cangkang kerang.	Fasies alur pasir danau	
	6.40 - 6.70	Lempung tufan, abu-abu muda, sangat padat, pejal, liat dan lengket sehingga sulit ditembus oleh bor tangan.	Fasies piroklastik	

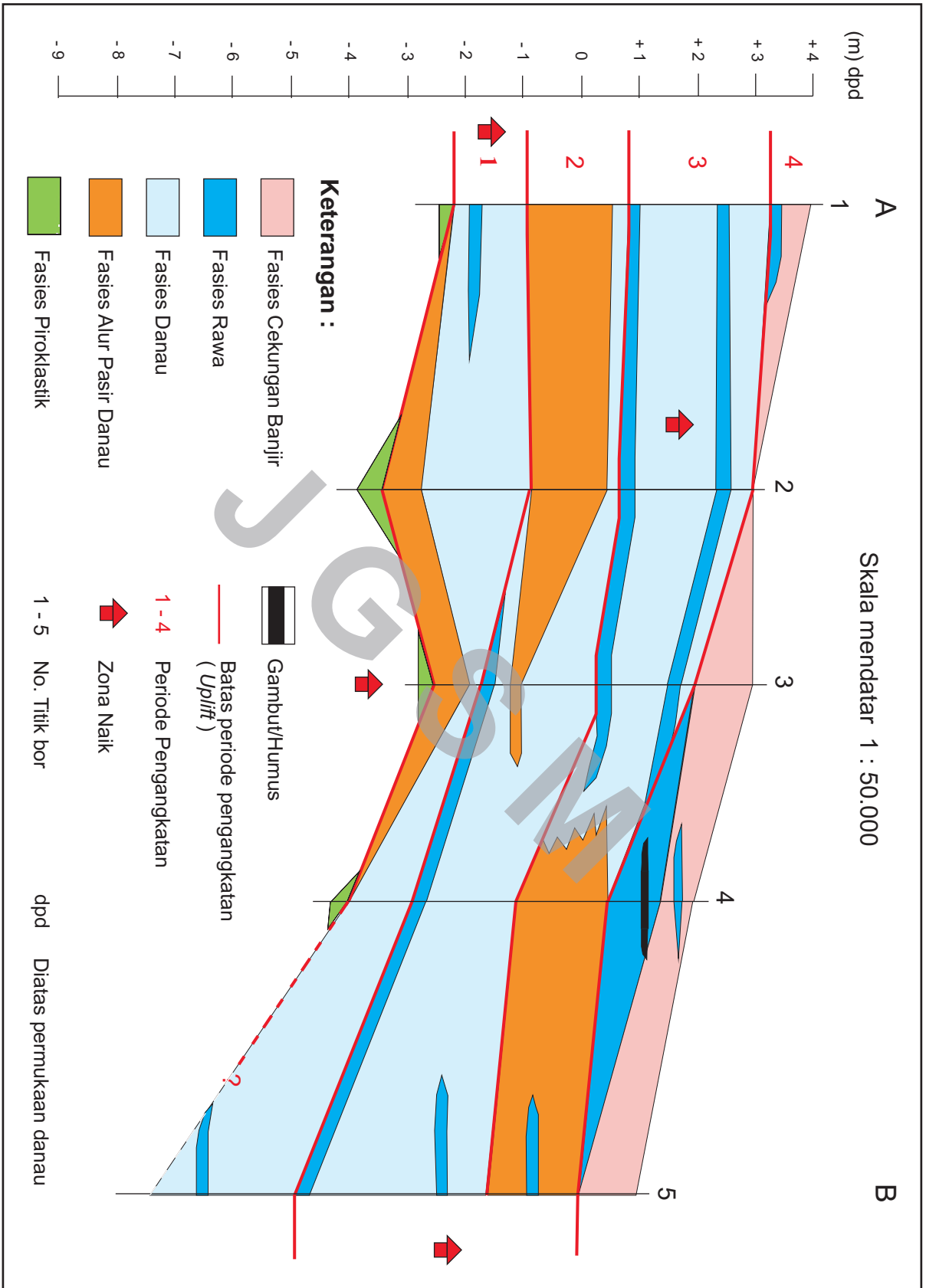
Gambar 6. Deskripsi litologi pemoran dangka lokasi No. 2, daerah Danau Tondano.



No. Bor : 4		Koordinat : N: 01° 16' 27" E: 124° 56' 06"		
Lokasi : Kuala Touliangoki		Ketinggian : 697 M		
Litologi	Kedalaman (M)	Deskripsi Litologi	Penafsiran Genetik Litologi	Keterangan
	0.00 - 0.60	Lempung, berwarna abu-abu, mengandung sisa tumbuhan dan sedikit humus.	Fasies cekungan banjir	Kondisi iklim menuju minimum
	0.60 - 1.50	Lempung bergambut, coklat tua sampai coklat kehitaman, mengandung sisa tumbuhan, di bagian tengah banyak dijumpai humus berwarna coklat tua, berubah secara tajam ke unit di bawahnya.	Fasies rawa	
	1.50 - 3.10	Pasir, abu-abu sampai abu-abu tua, berukuran halus sampai kasar, ukuran butir mengasar ke bawah, berubah secara berangsur ke unit berikutnya.	Fasies alur pasir danau	Kondisi iklim menuju maksimum
	3.10 - 3.50	Lempung lanauan sedikit pasiran, coklat tua sampai hitam, berhumus, dijumpai pecahan cangkang kerang air tawar. Dijumpai lapisan tipis pasir berbutir halus.	Fasies danau bersisipan dengan fasiesrawa	
	3.50 - 4.00	Lempung lanauan, coklat tua, dijumpai lapisan tipis lempung tufan. Mengandung lapisan tipis humus yang berkurang ke arah bawah.		
	4.00 - 5.50	Lanau lempungan, coklat kekuningan, mengandung sedikit humus, dijumpai lapisan tipis lempung tufan.		
	5.50 - 6.00	Lanau, berwarna hijau, mengandung sedikit sisa tumbuhan, diinterpretasikan sebagai endapan danau.	Fasies danau	
	6.00 - 6.20	Pasir kasar, hitam, mengandung fragmen kuarsa dan pecahan batuan, mengandung fragmen batuan vulkanik berukuran 0,8 cm.	Fasies piroklastik	

Gambar 8. Deskripsi litologi pemboran dangkal lokasi No. 4, daerah Danau Tondano.





Gambar 10. Korelasi rangkaian fasies endapan, daerah Danau Tondano, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara.

Pertama, adanya perbedaan mencolok antara fasies piroklastika dengan rangkaian fasies di atasnya, seperti: kekerasan, komposisi, warna, dan sebagainya. Fasies piroklastika mempunyai penyebaran yang luas dan menerus, akan tetapi ke arah atasnya hanya berupa bahan rombakan saja, sehingga fasies vulkanik menjadi alas rangkaian sedimen Kuartar di daerah penelitian.

Selanjutnya, proses dan pola pengendapannya memiliki kesinambungan secara mendatar. Proses perkembangan antar fasies secara jelas berkaitan dengan fasies-fasies alur pasir danau, danau, rawa dan cekungan banjir. Hubungan proses sedimentasi secara tegak antara fasies bawah dengan di atasnya dapat dijelaskan dengan adanya perkembangan alur danau (fasies pasir danau) yang ditutupi oleh endapan danau ataupun rawa. Berdasarkan proses sedimentasi, perulangan tersebut dapat terlihat dengan bertambah atau berkurangnya pasokan material dan volume air termasuk evolusi flora.

Terdapat tanda-tanda perubahan posisi endapan alur pasir danau secara tegak, yaitu dengan adanya gejala berkurangnya pasokan material ke arah cekungan yang juga berkaitan dengan dinamika cekungan, khususnya pada alas cekungan yang bergerak dan tidak stabil. Perulangan dan perubahan lingkungan rawa yang berkembang di bagian tengah lingkungan danau dan alur pasir danau terjadi di daerah yang batuan dasarnya tidak (tidak stabil sesuai dinamika cekungan), dan perpindahan alur (*shifting*) yang semuanya diakibatkan oleh Bergeraknya alas cekungan (*base-level*).

Akhirnya, perkembangan lingkungan danau berhenti dan selanjutnya diikuti oleh perkembangan rawa dan cekungan banjir. Kondisi ini berlangsung sampai sekarang. Ini menandakan bahwa siklus perkembangan lingkungan danau terhenti dan selanjutnya diganti oleh siklus Danau Tondano sekarang.

### Runtunan Fasies

Fasies piroklastika mempunyai sebaran yang luas baik secara tegak ataupun mendatar. Selanjutnya, perulangan pengendapan yang terbentuk di atasnya dapat dikelompokkan menjadi empat rangkaian. Rangkaian yang dimaksud dapat dijelaskan sebagai berikut (Gambar 10):

1. Rangkaian Fasies 1. Secara mendatar interval bagian bawah ditandai oleh terbentuknya lingkungan alur pasir danau yang diikuti oleh terbentuknya lingkungan danau ke arah atas. Selanjutnya, lingkungan danau kembali berkembang yang sebelumnya ditempati oleh lingkungan rawa di bagian barat (lokasi 1) dan di sebelah selatan (lokasi 5).
2. Rangkaian Fasies 2. Secara mendatar di bagian barat berkembang alur pasir danau yang menipis ke arah timur. Di sebelah selatan (lokasi 4 dan 5) diawali oleh berkembangnya lingkungan rawa, yang diikuti oleh terbentuknya lingkungan danau dengan selingan endapan rawa. Lingkungan danau ini semakin meluas ke sebelah barat yang menutupi alur pasir danau.
3. Rangkaian Fasies 3. Perulangan lingkungan rawa dan danau menjadi ciri endapan di bagian barat yang saling menjemari dengan fasies alur pasir danau dengan sisipan endapan rawa di bagian timur.
4. Rangkaian Fasies 4. Awal terbentuknya lingkungan rawa menjadi ciri bagian bawah rangkaian fasies, kemudian diikuti oleh terbentuknya cekungan banjir ke arah atas. Pada lokasi 4, perulangan interval fasies rawa relatif lebih dominan. Cekungan banjir merupakan akhir endapan bagian atas yang mencirikan kondisi lingkungan sekarang.

Secara umum cekungan Kuartar di atas memiliki karakter sebagai berikut:

- Puncak perkembangan lingkungan danau berada pada kisaran rangkaian Fasies 1 sampai 3. Kondisi ini disebabkan oleh tingginya volume air. Volume air ini sangat bergantung pada tingkat kelembaban (*humidity*) yang diperkirakan pada waktu itu kondisi iklim menuju ke maksimum (*humid*).
- Fasies alur pasir danau terbentuk pada interval bawah di setiap periode rangkaian fasies, dimana pola endapan ini mengalami perubahan posisi dalam setiap rangkaian. Umumnya fasies alur danau terbentuk di bagian dasar danau, dan pasokan materialnya berasal dari sungai, longsoran, maupun erupsi gunung api. Bergesernya fasies secara lateral dan vertikal kemungkinan berkaitan dengan bermigrasinya cekungan akibat naik-turunnya dasar danau. Hal ini disebabkan oleh gerak-gerak mendatar atau tegak (tektonik).

- Perkembangan secara spesifik lingkungan rawa adalah pada periode-periode tertentu dan tidak menerus. Lingkungan ini umumnya terbentuk pada bagian pinggir/paparan danau, sebaliknya alur pasir danau akan terendapkan pada poros cekungan. Pengaruh tektonik pada cekungan ini diperkuat dengan pola perkembangan lingkungan rawa dan alur pasir yang berpindah dalam setiap periode pembentukan rangkaian fasies.
- Lingkungan cekungan banjir merupakan lingkungan akhir yang sebelumnya tidak berkembang. Munculnya lingkungan tersebut berhubungan erat dengan berkurangnya volume air dan naiknya dasar cekungan. Faktor tektonik dan iklim juga berperan dalam perkembangan fasies ini. Tidak homogenya akumulasi endapan ini menandakan bahwa efek tektonik masih berpengaruh.

## PROSES EKSTERNAL

### Erupsi Gunung Api, Iklim, dan Tektonik

Alas sedimen Kuartar bawah permukaan berupa satuan batuan gunung api muda (Qv), kemungkinan diendapkan di bawah pengaruh medium air di lingkungan pengendapan danau. Selain itu, tingginya pasokan material erupsi yang masuk ke dalam cekungan, juga dipengaruhi kondisi iklim yang mengarah ke minimum (kering). Faktor inilah sebagai salah satu penyebab yang menjadikan fasies piroklastika tidak berkembang sebagai lapisan sedimen yang normal. Selanjutnya fasies tersebut ditutupi oleh perulangan runtunan sedimen danau (*lake/lacustrine*) yang diselingi oleh kegiatan erupsi. Volume air danau di saat tersebut relatif tinggi, dan mengakibatkan pasokan material secara teratur menjadi diendapkan di dasar danau, dan membentuk alur sebagai bagian dari fasies danau.

Puncak berkembangnya lingkungan danau ditandai oleh terbentuknya rangkaian Fasies 1 hingga 3, sedangkan rangkaian Fasies 4 yang terletak di atasnya mempengaruhi penyusutan lingkungan danau. Perlmutter dan Matthews (1989) menyatakan bahwa meluas dan menyusutnya lingkungan danau dan rawa mengikuti sirkulasi iklim, yaitu puncak berkembangnya akumulasi endapan lingkungan tersebut yang terjadi pada iklim maksimum (*humid*). Sebaliknya pada kondisi iklim mencapai minimum ditandai oleh menyusutnya

lingkungan danau/rawa. Meluas dan menyusutnya lingkungan danau/rawa di daerah penelitian secara lateral tidak dapat diikuti secara menerus, tetapi lingkungan tersebut lebih menonjolkan kombinasi rangkaian fasies yang memperlihatkan spesifik waktu, yaitu:

- a. Bagian bawah dicirikan oleh kegiatan erupsi gunung api yang diendapkan di bawah pengaruh medium air
- b. Bagian tengah ditandai oleh berkembangnya lingkungan danau yang diselingi oleh kegiatan erupsi gunung api (rangkain Fasies 1-3). Pada waktu itu lingkungan rawa tidak berkembang secara baik, tetapi memperlihatkan permukaan-permukaan yang spesifik
- c. Bagian atas mencerminkan kegiatan erupsi gunung api terhenti yang diikuti oleh berkembangnya lingkungan rawa secara baik, selanjutnya ditandai oleh terbentuknya cekungan banjir.

### Periode Pengangkatan

Perkembangan dan sistem pengisian cekungan, lebih lanjut diuraikan sebagai berikut (Gambar 10):

- Setelah pengendapan material erupsi gunung api di cekungan, dasar cekungan ini berada di bagian tengah sebagai poros cekungan (lokasi 2 dan 3). Di tempat ini diendapkan alur pasir danau. Kemudian, kedalaman air menyusut yang ditandai oleh berkembangnya lingkungan rawa di bagian barat (lokasi 1) dan di bagian selatan (lokasi 5). Danau meluas, sebagian besar daerah ini ditutupi oleh permukaan air danau yang diikuti oleh proses pengangkatan yang mengakibatkan danau kembali menyusut. Sistem pengisian tersebut termasuk dalam rangkaian Fasies 1. Proses pengangkatan diduga akibat gaya dari sebelah timur (lokasi 3), sehingga alas cekungan terjadi penurunan di daerah sebelah timur.
- Peristiwa erupsi gunung api kembali berlangsung dan mengendapkan material di bagian dasar danau (lokasi 1 dan 2), sedangkan ke arah timur merupakan bagian paparan danau yang ditempati oleh lingkungan rawa. Proses selanjutnya ditandai oleh meluasnya lingkungan danau. Proses pengangkatan masih berlangsung

saat itu, yang terbukti dari turun-naiknya dasar sungai yang memberi kesempatan muncul dan hilangnya lingkungan rawa. Gaya pengangkatan selama pembentukan rangkaian Fasies 2, diduga berasal dari sebelah barat (lokasi 1), yang mengakibatkan dasar cekungan berpindah ke arah timur hingga selatan (lokasi 4 dan 5).

- Rangkaian Fasies 3 diawali oleh terakumulasinya pasokan material erupsi gunung api di sebelah timur, sedangkan bagian barat merupakan paparan dangkal tempat berkembangnya lingkungan rawa. Kemudian ke arah barat berkembang lingkungan danau, sedangkan di bagian timur merupakan bagian paparnya. Diperkirakan proses pengangkatan di timur kembali berlangsung, sehingga di bagian barat dasar danau menjadi turun yang diselingi oleh lingkungan rawa. Terhentinya pengendapan bagian timur diakibatkan oleh intensitas pengangkatan yang relatif tinggi, sedangkan lingkungan rawa yang berkembang di sebelah barat diduga berkaitan dengan naik-turunnya dasar cekungan.
- Rangkaian Fasies 4 ditandai oleh terbentuknya lingkungan rawa di sebelah barat dan di bagian timur. Pengisian cekungan di bagian barat kemungkinan berlangsung karena merupakan bagian cekungan yang turun sebelumnya. Sementara itu, tingginya intensitas pengendapan di bagian timur diduga karena turunnya permukaan yang terjadi kemudian. Gaya pengangkatan tersebut terjadi di sebelah barat (lokasi 2).

Peristiwa perkembangan cekungan di atas telah berlangsung sekurang-kurangnya selama 4 periode. Setiap kejadian dapat disebut sebagai periode pengangkatan (Gambar 10). Gaya-gaya yang bekerja untuk merubah bentuk dasar cekungan bukan akibat zonasi struktur geologi tersebut terletak di dasar cekungan, namun efek tektonik tersebut sangat tercermin pada pola struktur yang berada di bagian paparan cekungan secara keseluruhan. Untuk menentukan penyebab efek tektonik, diperlukan penelitian yang lebih akurat lagi, yaitu dengan jalan mengkorelasikan beberapa penampang lintasan.

Dengan demikian, mekanisme pengangkatan secara 3 dimensi dapat direkonstruksi, sehingga pada akhirnya gerak-gerak tektonik sesungguhnya dapat diketahui.

## KESIMPULAN

- Proses erupsi gunung api, sirkulasi iklim, dan tektonik merupakan proses eksternal di Cekungan Kwartir Tondano. Ketiga faktor tersebut tercermin dari rangkaian fasies bawah permukaan. Setiap peristiwa tersebut merupakan efek tersendiri (*independent factors*) sehingga kejadiannya tidak bersama-sama, akan tetapi saling berkaitan. Maka, masing-masing peristiwa mempunyai siklus tersendiri. Hubungan ketiga peristiwa tersebut merupakan dinamika proses bumi yang mempengaruhi cekungan. Produk yang dihasilkan memiliki karakteristik susunan fasies, dan dapat menjelaskan hubungan antara proses yang satu dengan lainnya, yaitu: (a) di saat iklim pada kondisi minimum ditandai oleh erupsi gunung api, dan (b) di kala kondisi iklim menuju maksimum yang ditandai oleh proses tektonik yang berupa pengangkatan.
- Interaksi antara proses-proses erupsi gunung api, sirkulasi iklim, dan tektonik merupakan satu kesatuan siklus pengendapan. Tiga periode siklus pengendapan telah dapat didiskusikan, sedangkan rangkaian fasies teratas ditafsirkan sebagai periode pembentukan rangkaian fasies yang belum selesai (lengkap). Masing-masing rangkaian fasies tersebut dapat dinyatakan sebagai periode pengangkatan.
- Rekonstruksi periode siklus pengendapan dapat dijadikan indikator dalam kajian deformasi *landform*. Oleh sebab itu setiap periode tersebut mencerminkan proses perubahan lingkungan.
- Menyusut/meluas dan berpindahnya Danau Tondano purba ke posisi sekarang bukan saja dipengaruhi oleh berubahnya iklim, tetapi juga diakibatkan oleh erupsi gunung api dan tektonik.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Ir. Herman Moechtar atas saran-saran yang diberikan, sehingga makalah ini dapat disusun. ■

## ACUAN

- Anadon, P., Cabbera L.L and Kelts K., 1991. Preface., Lacustrine Facies Analysis: *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, v. 13.
- Effendi, A.C. & Bawono S.S., 1997. Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara, Skala 1:250.000. *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Baltzer, T., 1991. Late Pleistocene and Recent detrital sedimentation in the deep parts of northern Lake Tanganyika (East Africa rift), in Anadon, P., Cabber L.L., and Kelts K., eds., Lacustrine Facies Analysis: *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, v. 13, 147-173.
- Miall, A.D., 1985, Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits: *Earth Sci. Rev.*, v. 22, p. 261-308.
- Mutti, E. and Ricci Lucchi F., 1972. Le torbiditi dell' Appennino settentrionale: introduzione all' analisi di facies: *Memorie della Societa Geologica Italiana*, v. 11, p. 161-199. English Translation by T.H. Nilsen, 1978, *International Geology Review*, v. 20, p. 125-166.
- Perlmutter, M.A. & Matthews M.A., 1989. *Global Cyclostratigraphy*. In: T.A. Cross (ed.), *Quantitative Dynamic Stratigraphy*. Prentice Englewood, New Jersey, 233-260.
- Setiawan, J.H., Lumbanbatu U.M. dan Poedjoparjitno S., 2002. Pemetaan Seismotektonik Daerah Manado dan Sekitarnya Propinsi Sulawesi Utara. *Puslitbang Geologi*, Tidak diterbitkan, 43 h.
- Soejono, M. dan Djuhaeni, 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, IAGI, 25 h.