

# HIDROSTRATIGRAFI AKUIFER SEBAGAI GEOINDIKATOR GENESIS BENTUK LAHAN DI WILAYAH KEPESISIRAN KABUPATEN KULONPROGO, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

## *Aquifer Hydrostratigraphy as a Geoindicator of Landform Genesis at the Kulonprogo Coastal Area, Daerah Istimewa Yogyakarta*

Langgeng Wahyu Santosa

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

E-mail: wahyus\_72@yahoo.co.id

### **ABSTRACT**

*Purpose of this research is to study on aquifer hydrostratigraphy that can be a geo-indicator of geomorphological processes on the past, that describe of landform genetic in the research area. The research method is survey. The framework of analysis in this research is landform genetic. The results of the research indicate that: (1) "the forming of aquifer hydrostratigraphy in the research area is controlled by some of main processes in geomorphology, that show of landform genetic specifically". The research area consists of 3 aquifer hydrostratigraphy systems, each of the aquifer system has the typical characteristic, showed by system and pattern of material stratigraphy in the aquifer and variation of groundwater characteristic in the unconfined aquifer. (2) "spatiotemporally, landform genetic in the research area influences on the forming of aquifer hydrostratigraphy in the 3 phases, i.e. the first stage at the end of the Tertiary epoch (end of Pliocene era), second stage at the Quaternary epoch (as long as the Pleistocene period), and third stage at the Holocene era. The genesis and chronology of landform forming in the 3 phases above influence on the forming of system and pattern of aquifer hydrostratigraphy in the research area.*

**Keywords:** genesis, hydrostratigraphy, kulonprogo coastal area, landform, and unconfined groundwater

### **ABSTRAK**

*Tujuan penelitian ini adalah mengkaji hidrostratigrafi akuifer yang dapat dijadikan sebagai bukti kunci (geoindikator) proses-proses geomorfologi masa lampau, yang menunjukkan genesis bentuklahan di daerah penelitian. Metode penelitian ini adalah survei, dengan kerangka dasar analisis adalah genesis bentuklahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) "pembentukan hidrostratigrafi akuifer di daerah dikontrol oleh beberapa asal proses utama dalam geomorfologi, yang menunjukkan kekhasan genesis bentuklahan". Di daerah penelitian tersusun atas 3 (tiga) hidrostratigrafi akuifer, masing-masing sistem akuifer mempunyai karakteristik yang khas, yang ditunjukkan oleh sistem dan pola perlapisan material penyusun akuifer dan variasi karakteristik airtanah bebas. (2) "secara spasiotemporal, genesis bentuklahan di daerah penelitian mempengaruhi pembentukan hidrostratigrafi akuifer yang secara kronologis terbentuk dalam 3 tahapan yaitu: periode akhir zaman Tersier (akhir kala Pliosen), periode kala Pleistosen, dan periode kala Holosen. Genesis dan kronologi pembentukan bentuklahan dalam 3 tahapan tersebut berpengaruh terhadap pembentukan sistem dan pola hidrostratigrafi akuifer di daerah penelitian.*

**Kata kunci:** airtanah bebas, bentuklahan, genesis, hidrostratigrafi, dan wilayah pesisir Kulonprogo

## PENDAHULUAN

Pada berbagai konsep yang didasarkan atas hasil-hasil penelitian terdahulu (de Rider, 1972; Meijerink, 1982; Todd, 1980; Fetter, 1988; Stuyfzand, 1991; Sutikno, 1992; Appelo dan Postma, 1994; Acworth, 2001), dapat dirumuskan bahwa proses pembentukan akuifer dan karakteristik airtanah dipengaruhi oleh paling tidak 5 (lima) faktor, yaitu: (i) genesis yang menunjukkan asal-usul atau proses geomorfologi masa lampau yang mempengaruhi pembentukan bentuklahan; (ii) kondisi lingkungan pengendapan saat pembentukan batuan; (iii) komposisi mineral batuan penyusun akuifer; (iv) proses dan pola pergerakan airtanah di dalam akuifer; dan (v) lamanya airtanah tinggal dalam akuifer atau terjebak pada suatu lapisan batuan (stratum akuifer).

Genesis menunjukkan asal-usul atau sejarah pembentukan bentuklahan pada suatu daerah, yang diindikasikan oleh hasil proses-proses geomorfologi (Lobeck, 1939; Thornbury, 1954; Strahler and Strahler, 1983). Proses geomorfologi masa lampau tidak dapat diamati secara langsung, tetapi akibat proses geomorfologi masa lampau akan meninggalkan bekas nyata yang memberikan sifat khas pada bentuklahan. Oleh karena itu, dengan mempelajari fenomena masa kini, maka dapat ditelusur atau direkonstruksi tentang proses dan kondisi masa lampau. Hutton (1785, dalam Thornbury, 1954), menyatakan hal tersebut dalam prinsip dasar geomorfologi, berbunyi:

"The same physical processes and laws that operate today operated throughout geologic time, although not necessarily always with the same intensity as now".

Prinsip dasar ini oleh Sir Charles Lyell disebut sebagai "*Principle of Uniformitarianism*". Terkait dengan prinsip dasar di atas, Hutton (1785 dalam Holmes, 1965) menambahkan

bahwa fenomena yang ada pada masa kini dapat dijadikan bukti kunci kejadian masa lampau, yang diungkapkan dalam pernyataan "*the present is the key to the past*".

Kondisi lingkungan pengendapan akan menentukan struktur dan ukuran butir batuan hasil proses sedimentasi, yang pada akhirnya membentuk stratigrafi akuifer tertentu. Proses pengendapan yang terjadi pada lingkungan tertentu, seperti: perairan sungai, lembah, waduk, danau, atau bahkan laut dangkal (*lithoral zone*), memberikan pengaruh terhadap karakteristik airtanah yang berbeda-beda (Meijerink, 1982; Verstappen, 1983; Kloosterman, 1989; Sutikno, 1992; Gabriela-Garcia *et al.*, 2001; dan Cartwright *et al.*, 2005), yang dapat ditunjukkan dengan hidrostratigrafi akuifernya.

Hidrostratigrafi akuifer dapat dijadikan sebagai suatu geoindikator proses-proses geomorfologi masa lampau yang mempengaruhi pembentukan dan dinamika bentuklahan, sehingga asal-usul akuifer dan airtanah pada suatu wilayah dapat dipelajari (Appelo dan Postma, 1994). Proses geomorfologi masa lampau sangat mempengaruhi pembentukan akuifer yang terdapat pada suatu bentuk lahan. Sejalan dengan waktu geologis, maka perjalanan airtanah melalui stratum batuan penyusun akuifer, dalam jangka panjang akan menyebabkan berbagai proses yang mempengaruhi dinamika karakteristik airtanah itu sendiri (Stuyfzand, 1991; Kodoatie, 1996; Cartwright *et al.*, 2005).

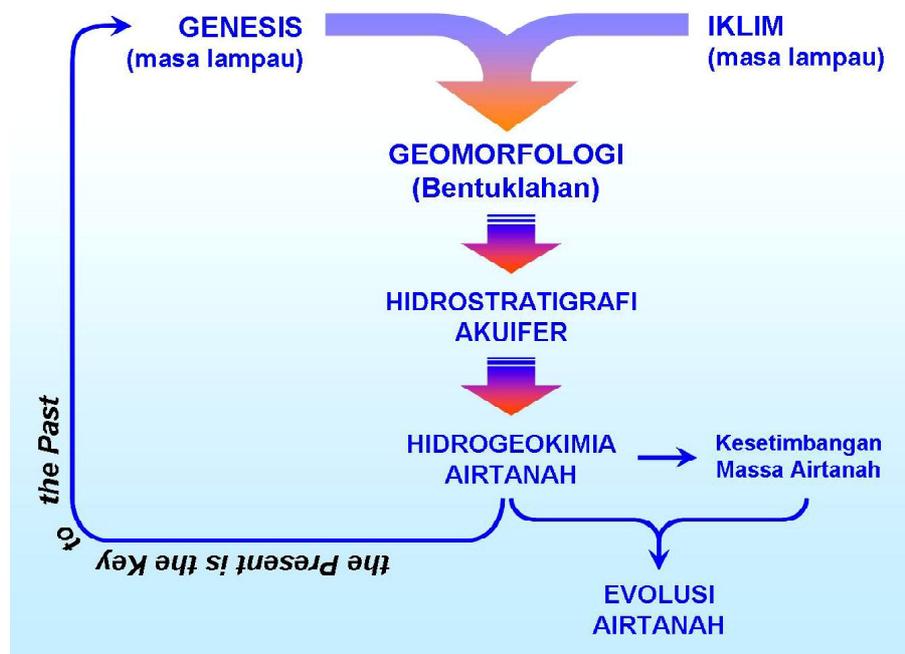
Mengacu pada berbagai konsep dan pemikiran di atas, maka dapat dinyatakan bahwa terdapat pengaruh kuat antara genesis atau proses-proses geomorfologi masa lampau terhadap pembentukan bentuk lahan, yang secara tidak langsung akan berpengaruh pula terhadap proses pembentukan akuifer dan karakteristik airtanah pada suatu daerah, yang dapat diilustrasi-

kan dalam bentuk penampang hidrostratigrafi akuifer. Dengan demikian, hidrostratigrafi akuifer dapat dijadikan sebagai geo-indikator genesis bentuklahan pada suatu wilayah tertentu, seperti disajikan dalam Gambar 1.

Salah satu daerah yang menarik untuk dikaji adalah wilayah kepesisiran Kabupaten Kulonprogo, yang proses pembentukannya dimulai sejak kala Pliosen Akhir hingga Holosen, dan menghasilkan bentuklahan dataran aluvial kepesisiran (*coastal alluvial plain*) atau dataran fluviomarin (*fluvio-marine plain*), beting gisik (*beach ridges*), gumpuk pasir (*sand dunes*) dan *swale*, hingga gisik pantai (*beach*). Fenomena geomorfologis yang variatif di daerah penelitian tentunya akan berpengaruh terhadap karakteristik akuifer dan airtanahnya. Hal ini terbukti dengan dijumpainya variasi keterdapatan airtanah

payau hingga asin, yang ditunjukkan oleh variasi nilai daya hantar listrik airtanah bebas, yang berkisar antara 1.200 hingga 4.500  $\mu\text{mhos/cm}$ . Airtanah bebas berasa payau hingga asin ini banyak dijumpai pada bentuklahan dataran fluviomarin, yang keterdapatannya bersifat lokal-lokal. Selain itu, pesisir juga merupakan area yang menarik berlangsungnya aktifitas manusia (Triyono, 2009).

Berdasarkan berbagai konsep teoretis dan kenyataan yang ada di daerah penelitian, maka peneliti melakukan kajian secara mendalam untuk menganalisis hubungan antara genesis bentuklahan dengan pembentukan akuifer dan karakteristik airtanah bebas, yang dianalisis melalui model hidrostratigrafi sebagai geoindikator. Berkaitan dengan hal tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah: (1) mengkaji sistem dan pola hidro-stratigrafi akuifer, yang



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. *Uniformitarianism* yang Menunjukkan Hubungan antara Genesis Bentuklahan dengan Pembentukan Akuifer dan Karakteristik Airtanah

dapat dijadikan dasar sebagai geoindikator untuk menelusur genesis bentuklahan di daerah penelitian; dan (2) merekonstruksi pola spasiotemporal hidrostratigrafi akuifer dalam kaitannya dengan kronologi pembentukan bentuklahan di daerah penelitian.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *survey* yang menekankan pada survei utama data primer terhadap berbagai obyek kajian geomorfologi, akuifer, dan airtanah. Data pada masing-masing obyek kajian diukur dan dipilih secara *area purposive sampling*, untuk pengamatan, pengukuran, dan analisis data geomorfologi dan airtanah bebas, serta untuk pendugaan geolistrik, sedemikian rupa sehingga merepresentasikan daerah penelitian yang bersesuaian dengan variasi bentuklahannya.

Data dianalisis secara kuantitatif untuk mendapatkan gambaran secara nyata tentang nilai dan sebaran keruangan (*spatial*) dari masing-masing obyek kajian di daerah penelitian. (1) Untuk mencapai tujuan penelitian pertama, dilakukan rekonstruksi hidrostratigrafi akuifer berdasarkan analisis data pendugaan geolistrik yang dikorelasikan hasil analisis data bor dan kondisi airtanah bebas di daerah penelitian. (2) Untuk mencapai tujuan penelitian kedua, dengan cara mengintegrasikan antara hidrostratigrafi akuifer dengan kondisi geomorfologi, yang menunjukkan genesis dan kronologi pembentukan bentuklahan di daerah penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hidrostratigrafi Akuifer sebagai Geoindikator Genesis Bentuklahan

Secara genetis, daerah penelitian merupa-

kan bentanglahan Kuartar yang pada awalnya terbentuk oleh proses utama marin, kemudian dilanjutkan dengan proses fluvial. Fenomena alam sebagai bukti kunci proses masa lampau adalah: (a) batugamping Formasi Sentolo sebagai hasil aktivitas terumbu karang yang berasal dari zona laut dangkal dalam kondisi perairan tenang; (b) terbentuknya pola morfologi lerengkaki dan tekuk lereng perbukitan Sentolo yang menyerupai pola teluk dan tanjung (bekas Teluk Wates dan Teluk Panjatan); (c) terdapatnya endapan lempung marin yang mengandung fosil moluska laut dangkal dan lapisan gambut hasil pembusukan tumbuhan rawa-rawa yang terbentuk pada lapisan tertentu di bawah permukaan tanah, yang terdapat secara setempat-setempat pada satuan dataran fluviomarin (berdasarkan hasil analisis data bor); dan (d) terdapatnya jebakan-jebakan airtanah payau hingga asin secara setempat-setempat pada satuan dataran fluviomarin, yang kedudukannya berasosiasi pada suatu morfologi cekungan bekas zona laut dangkal (*lithoral*) dengan keterdapatannya airtanah payau hingga asin (nilai daya hantar listrik airtanah  $>1.200 \mu\text{mhos/cm}$ ). Fenomena tersebut dapat dijadikan geoindikator, yang dapat dipakai sebagai dasar untuk menelusur genesis atau proses geomorfologi masa lampau yang mempengaruhi pembentukan bentuklahan pada masa kini.

Proses-proses geomorfologi masa lampau meninggalkan bekas yang nyata terhadap bentuklahan saat ini. Akibat aktivitas marin yang berupa perairan laut dangkal atau zona lithoral pada masa lampau, yaitu pada akhir zaman Tersier (kala Pliosen) hingga zaman Kuartar (kala Pleistosen), telah meninggalkan bekas berupa endapan lempung marin, fosil-fosil moluska laut dangkal, dan semakin nyata lagi karena ditemukannya jebakan-jebakan airtanah payau hingga asin. Hal ini dicerminkan dari keterdapatannya

variasi nilai daya hantar listrik airtanah bebas di daerah penelitian, seperti disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Berdasarkan data tersebut memberikan gambaran yang jelas tentang hubungan antara genesis bentuklahan di daerah penelitian dengan karakteristik airtanah bebas. Artinya bahwa sebaran dan pola karakteristik airtanah bebas yang ditunjukkan oleh nilai DHL yang tinggi merupakan bukti kunci sejarah masa lampau, yaitu keterdapatan zona laut dangkal (*lithoral*) dengan pola laguna dan teluk purba pada akhir zaman Tersier, yang ditunjukkan oleh pola keterdapatan airtanah bebas berasa asin yang mengelompok dan berlokasi di sekitar Kota Wates dan Panjatan, atau tepat di depan pola-pola kontur yang melengkung ke dalam dan diapit oleh ujung-ujung bukit di kanan-kirinya.

Dataran fluviomarin di daerah penelitian merupakan dataran aluvial bekas zona laut dangkal, sehingga sangat dimungkinkan dijumpainya jebakan-jebakan lempung marin dengan sistem perlapisan yang selang-seling antara lempung marin dan endapan fluvial, seperti ditunjukkan dalam data hasil bor (Gambar 3). Menurut McDonald dan Partners (1984), dataran fluviomarin dengan kompleks gumuk pasir dan beting merupakan suatu sistem akuifer yang terpisah, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Fenomena ini diperkirakan sebagai penyebab sistem aliran airtanah bebas dari arah satuan perbukitan terhenti pada satuan dataran fluviomarin, akibat terhalang oleh kompleks gumuk pasir dan beting gisik.

Hasil interpretasi litologi detail setiap data bor yang ada, menunjukkan bahwa pada satuan bentuklahan dataran fluviomarin, akuifer didominasi oleh material yang relatif seragam berupa endapan lempung dengan sisipan lanau dan sedikit pasir halus di bagian atas, dan endapan lempung marin

dengan sisipan lanau dan pasir halus di bagian bawah dengan struktur menjari. Komposisi ketiga material ini mempunyai permeabilitas yang rendah hingga sangat rendah, namun demikian tetap ada kemungkinan untuk meloloskan airtanah, meskipun gerakannya sangat lambat (Todd, 1980; Fetter, 1988). Hampir pada semua data bor menunjukkan keterdapatan lensa-lensa pasir marin yang menyisip di antara lapisan lempung marin yang luas. Hal ini mengindikasikan kuat bahwa bentuklahan dataran fluviomarin merupakan bekas mintakat atau zona transisi marin dengan darat, yang dapat dikatakan sebagai zona laut dangkal (*lithoral*). Pada beberapa lokasi menurut McDonald dan Partners (1984), indikator bekas zona laut dangkal ditunjukkan adanya laguna dengan keterdapatan lapisan gambut yang terjebak pada endapan lempung marin pada kedalaman tertentu, seperti disajikan dalam Gambar 5.

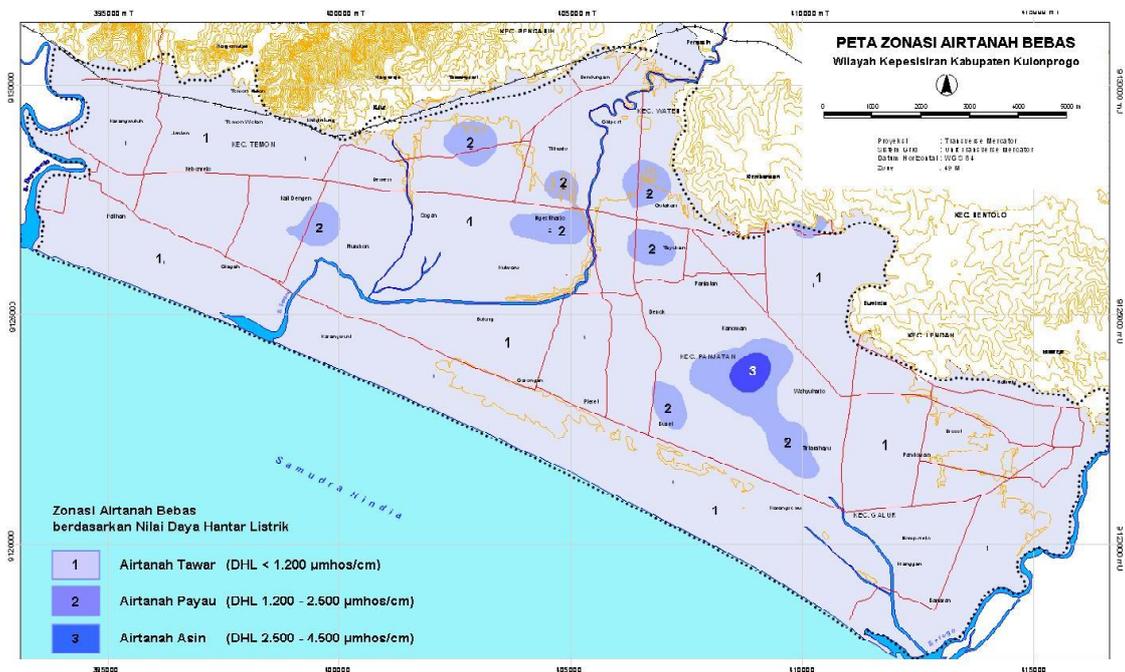
Fenomena alam yang menjadi kunci atau geoindikator proses geomorfologi masa lampau di daerah penelitian adalah: (a) terdapatnya endapan lempung marin zona lithoral yang mengandung fosil moluska laut dangkal dan lapisan gambut hasil pembusukan vegetasi pada laguna purba, dan (b) jebakan-jebakan airtanah payau hingga asin secara lokal-lokal pada lapisan lempung marin, yang kedudukannya berasosiasi dengan laguna dan teluk purba (Santosa, 2010). Temuan ini lebih mempertajam konsep umum yang dikemukakan oleh McDonald dan Partners (1984), yang menyatakan bahwa pada beberapa lokasi, indikator bekas zona laut dangkal dan laguna yang telah berkembang menjadi rawa belakang (*back swamp*) yang berada di belakang beting gisik tua di daerah penelitian, ditunjukkan oleh keterdapatan gambut yang terjebak pada lapisan endapan lempung marin pada kedalaman tertentu.

Mengingat daerah penelitian secara genetika dikontrol oleh kerjasama proses marin-flu-

Tabel 1. Faktor dalam Perhitungan SES (*Soil Erosion Status*)

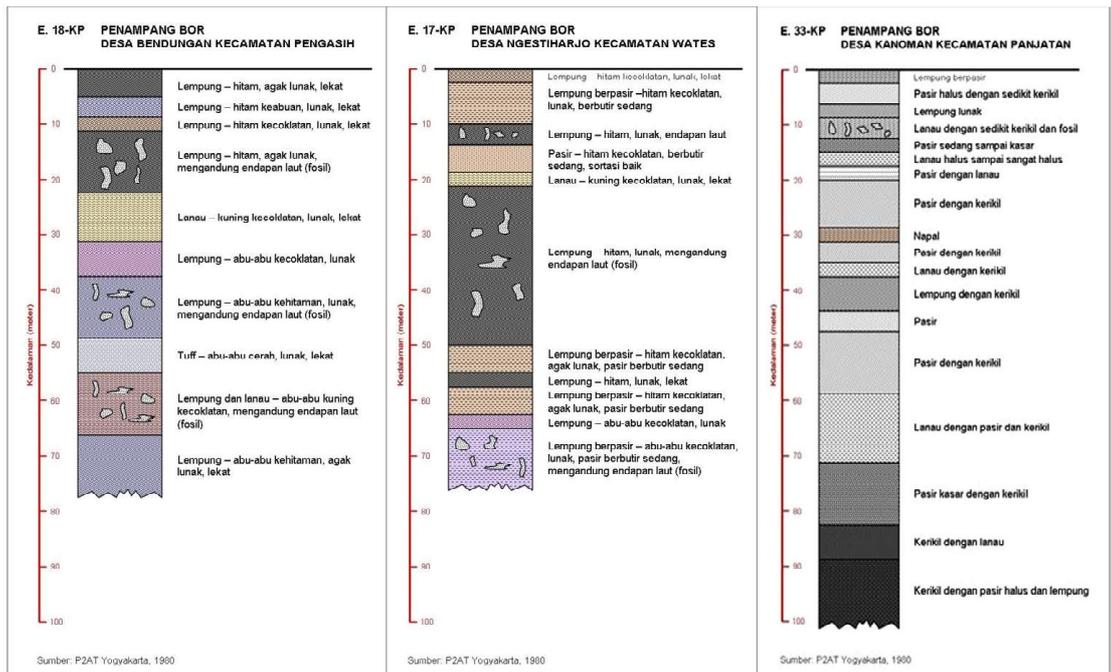
Zona Airtanah Bebas	Nilai DHL ( $\mu\text{mhos/cm}$ )	Sebaran pada Satuan Bentuklahan
Airtanah Tawar	< 1200	Terdapat di semua bentuklahan, khususnya pada beting gisik dan kompleks gumuk pasir, serta dataran banjir dan tanggul alam Sungai Progo.
Airtanah Payau	1200 - 2500	Terdapat secara lokal-lokal dan tersebar merata di seluruh satuan dataran fluviomarin.
Airtanah Asin	2500 - 4500	Terdapat secara lokal dan mengelompok pada satuan dataran fluviomarin di sekitar Desa Kanoman, Kecamatan Panjatan; sekitar Desa Giripeni, Kecamatan Wates; dan di sekitar muara Sungai Serang, Desa Plumbon, Kec. Temon. Polanya mengikuti pola morfologi teluk lama di depan Perbukitan Sentolo, yang dapat disebut sebagai Teluk Wates dan Teluk Panjatan.
Airtanah Sangat Asin	> 4500	Tidak dijumpai di daerah penelitian.

Sumber: hasil survei lapangan dan analisis data (2008, dalam Santosa, 2010)



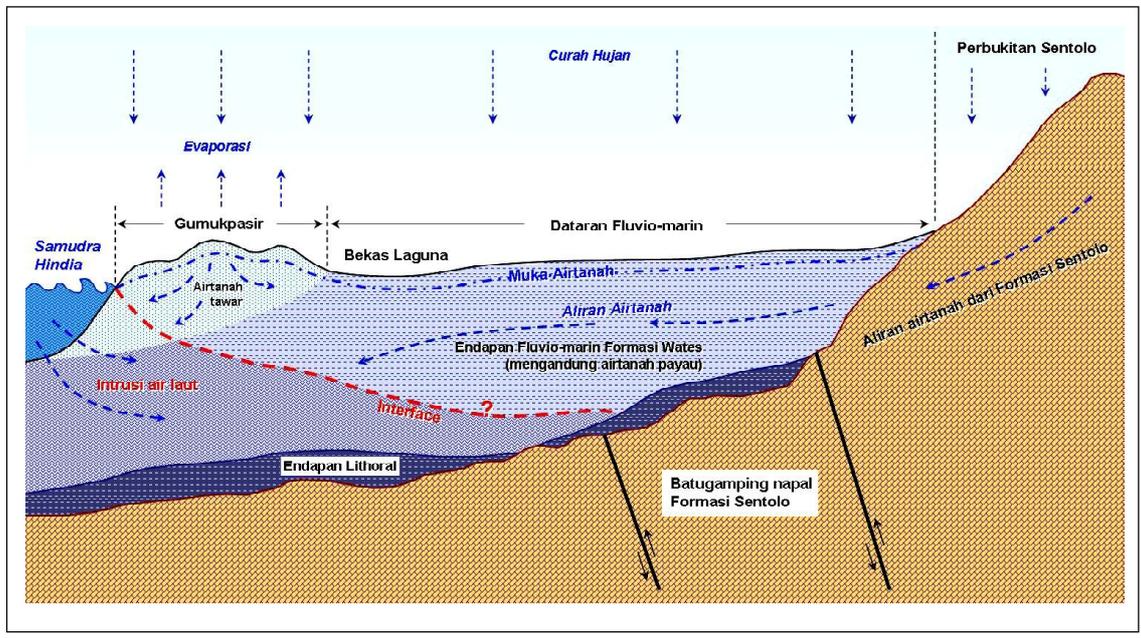
Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Zonasi Airtanah Bebas berdasarkan Nilai Daya Hantar Listrik di Wilayah Kepesisiran Kabupaten Kulonprogo



Sumber: P2AT Yogyakarta, 1980

Gambar 3. Beberapa Data Bor yang Menunjukkan Stratigrafi Material Penyusun pada Satuan Dataran Fluvio-marine di Daerah Penelitian



Sumber: McDonald dan Partners, 1984

Gambar 4. Sistem Aliran Airtanah Bebas di Daerah Penelitian

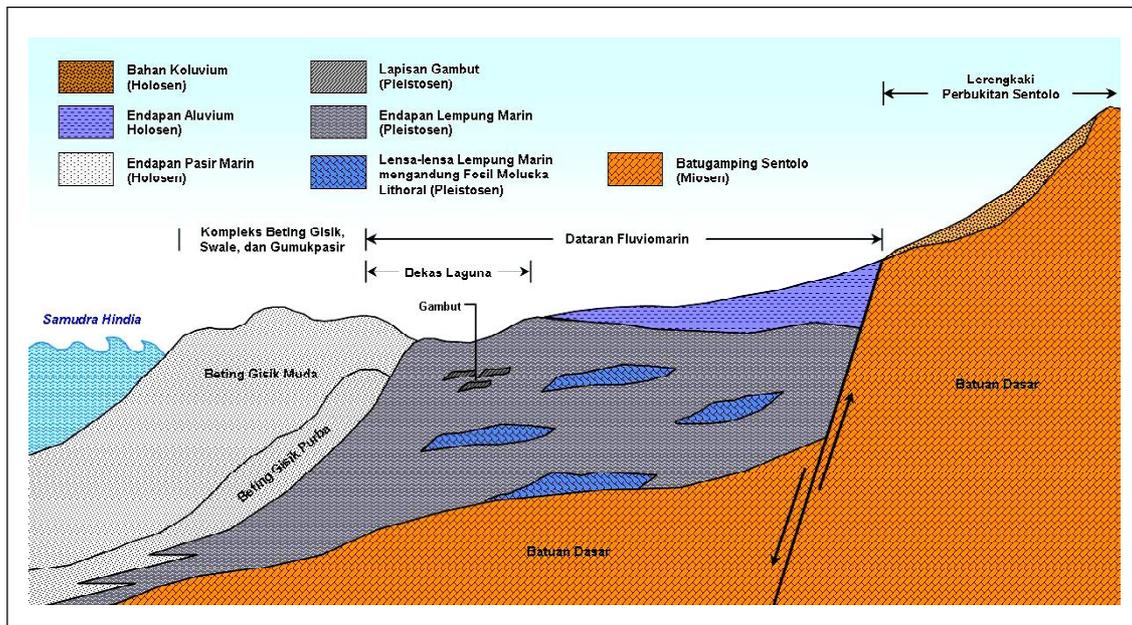
vial dan marin-eolian, dengan material didominasi oleh bahan-bahan endapan lempung marin zona lithoral, pasir marin, dan aluvium sungai (pasir, kerikil dan kerakal), maka diperlukan standar kriteria kisaran nilai tahanan jenis yang dirumuskan dan diinterpretasi berdasarkan hasil pendugaan geolistrik yang dikorelasikan dengan data bor, dan hasil-hasil pengamatan lapangan terhadap kondisi hidrogeomorfologi secara langsung, yang secara umum seperti disajikan dalam Tabel 2. Penampang melintang (cross section) lokasi pendugaan geolistrik dan uji bor di daerah penelitian, disajikan dalam Gambar 6.

Berdasarkan hasil interpretasi data geolistrik yang dikorelasikan dengan data bor dan hasil kajian kondisi airtanahnya, menggambarkan secara jelas bahwa genesis daerah penelitian telah mempengaruhi pembentukan dan karakteristik akuifer, yang tercermin pada kondisi hidrostratigrafi pada setiap satuan bentuklahan hasil proses marin, eolian, dan fluvial yang

ada. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa "genesis bentuklahan berpengaruh terhadap pembentukan hidrostratigrafi akuifer di daerah penelitian". Pernyataan ini dibuktikan oleh hasil rekonstruksi hidrostratigrafi, yang disajikan dalam Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.

Berdasarkan penampang hidrostratigrafi pada gambar-gambar tersebut, menunjukkan bahwa genesis bentuklahan dan proses-proses geomorfologi masa lampau, telah berpengaruh terhadap pembentukan 2 (dua) sistem akuifer utama yang benar-benar terpisah, yaitu: sistem akuifer kompleks beting gisik dan gumuk pasir, dengan sistem akuifer dataran fluviomarin yang masing-masing mempunyai pola khas (Santosa, 2010).

(a) Sistem akuifer kompleks beting gisik dan gumuk pasir merupakan sistem akuifer yang berbentuk mangkok, tersusun atas material pasir marin-eolian yang mengandung airtanah tawar, yang ditunjukkan oleh nilai tahanan jenis batuan sekitar 25 hingga 750



Sumber: McDonald dan Partners, 1984

Gambar 5. Sketsa Stratigrafi Akuifer di Daerah Penelitian dengan Arah Utara-Selatan

ohm meter. Sistem akuifer ini mempunyai kisaran kedalaman yang relatif seragam antara 30 hingga 40 meter. Pada bagian bawah sistem akuifer ini dibatasi oleh material lempung marin bercampur lanau dan pasir marin halus, dengan kedalaman rerata mulai 40 hingga 100 meter, yang ditunjukkan oleh nilai tahanan jenis batuan sekitar 10 hingga 25 ohm meter dan bersifat sebagai akuitard.

Selanjutnya pada bagian dasar dari sistem akuifer kompleks beting gisik dan gumuk pasir didasari oleh lapisan lempung marin purba mengandung airtanah payau hingga asin, yang ditunjukkan oleh nilai tahanan jenis sekitar 1 hingga 10 ohm meter, yang diperkirakan bersifat akuklud. Lapisan ini mempunyai batas lapisan atas pada kedalaman berkisar antara 60 hingga 100

Tabel 2. Hubungan antara Kondisi Material Penyusun dengan Nilai Tahanan Jenis pada setiap Satuan Bentuklahan di Daerah Penelitian

Tahanan Jenis (Ohm-meter)	Kondisi Material Penyusunan (Hidrostratigrafi)
<b>Satuan Bentuklahan Gisik Pantai, Kompleks Beting Gisik, Swale, dan Gumuk Pasir</b>	
> 750	Pasir marin-eolian kering (indikasi zona aerasi).
25 - 750	Pasir marin jenuh airtanah tawar (indikasi akuifer).
10 - 25	Lempung marin bercampur lanau dan pasir marin halus mengandung airtanah payau (indikasi akuitard).
1 - 10	Lempung marin mengandung airtanah payau (indikasi akuiklud).
< 1	Lempung marin mengandung airtanah asin (indikasi zona <i>interface</i> ).
<b>Satuan Bentuklahan Dataran Banjir dan Tanggul Alam</b>	
> 250	Material permukaan yang masih terpengaruh naik-turunnya debit aliran sungai (indikasi zona aerasi).
25 - 250	Aluvium sungai mengandung airtanah tawar (indikasi akuifer)
10 - 25	Lempung marin terkadang mengandung fosil moluska lithoral bercampur aluvium sungai mengandung airtanah payau (indikasi akuitrad).
1 - 10	Lempung marin mengandung airtanah payau (indikasi akuiklud).
<b>Satuan Bentuklahan Dataran Fluviomarin</b>	
> 250	Material permukaan yang masih dipengaruhi fluktuasi permukaan airtanah bebas (indikasi zona aerasi)
25 - 250	Aluvium sungai mengandung airtanah tawar (indikasi akuifer).
10 - 25	Lempung marin terkadang mengandung fosil moluska lithoral berselang-seling dengan aluvium sungai dan mengandung airtanah payau (indikasi akuitard).
1 - 10	Lempung marin berselang-seling dengan lanau dan pasir marin halus, mengandung fosil-fosil moluska lithoral dan airtanah payau hingga asin (indikasi selang-seling akuiklud-akuitard).

Sumber: Hasil Interpretasi Data Geolistrik yang dikorelasikan dengan Data Bor (dalam Santosa, 2010)

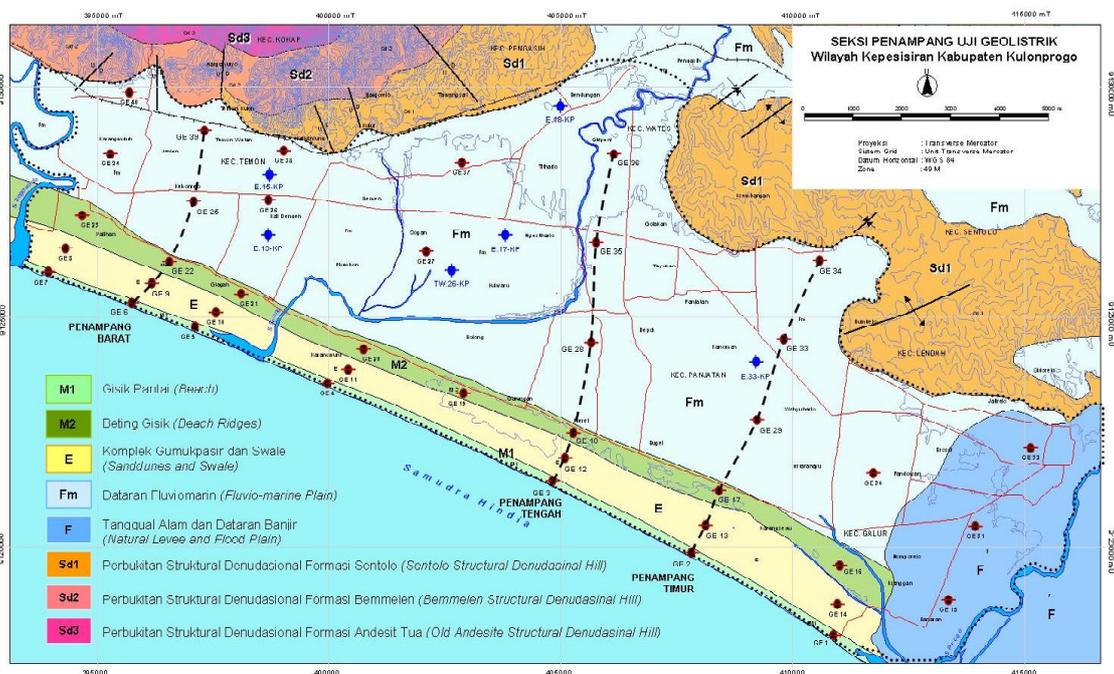
meter, dan diperkirakan sebagai zona *interface*, dengan kedudukan permukaan *inteface* pada kedalaman rerata >100 meter di bawah permukaan tanah.

(b) Pada sistem akuifer dataran fluviomarin secara umum tersusun atas 2 lapisan utama, yaitu: (i) pada bagian bawah berupa lapisan lempung marin berselang-seling dengan endapan lanau dan pasir marin halus, mengandung fosil-fosil moluska zona laut dangkal dan terdapat jebakan airtanah payau hingga asin, sebagai hasil proses sedimentasi marin purba, yang diindikasikan oleh nilai tahanan jenis berkisar 1 hingga 10 ohm meter; dan (ii) pada bagian atas berupa lapisan lempung marin yang berselang-seling dengan endapan aluvium hasil proses sedimentasi fluvial, dengan kondisi airtanah yang bervariasi dari tawar hingga payau.

Pada bagian tengah, lapisan lempung marin bercampur lanau dan pasir halus yang

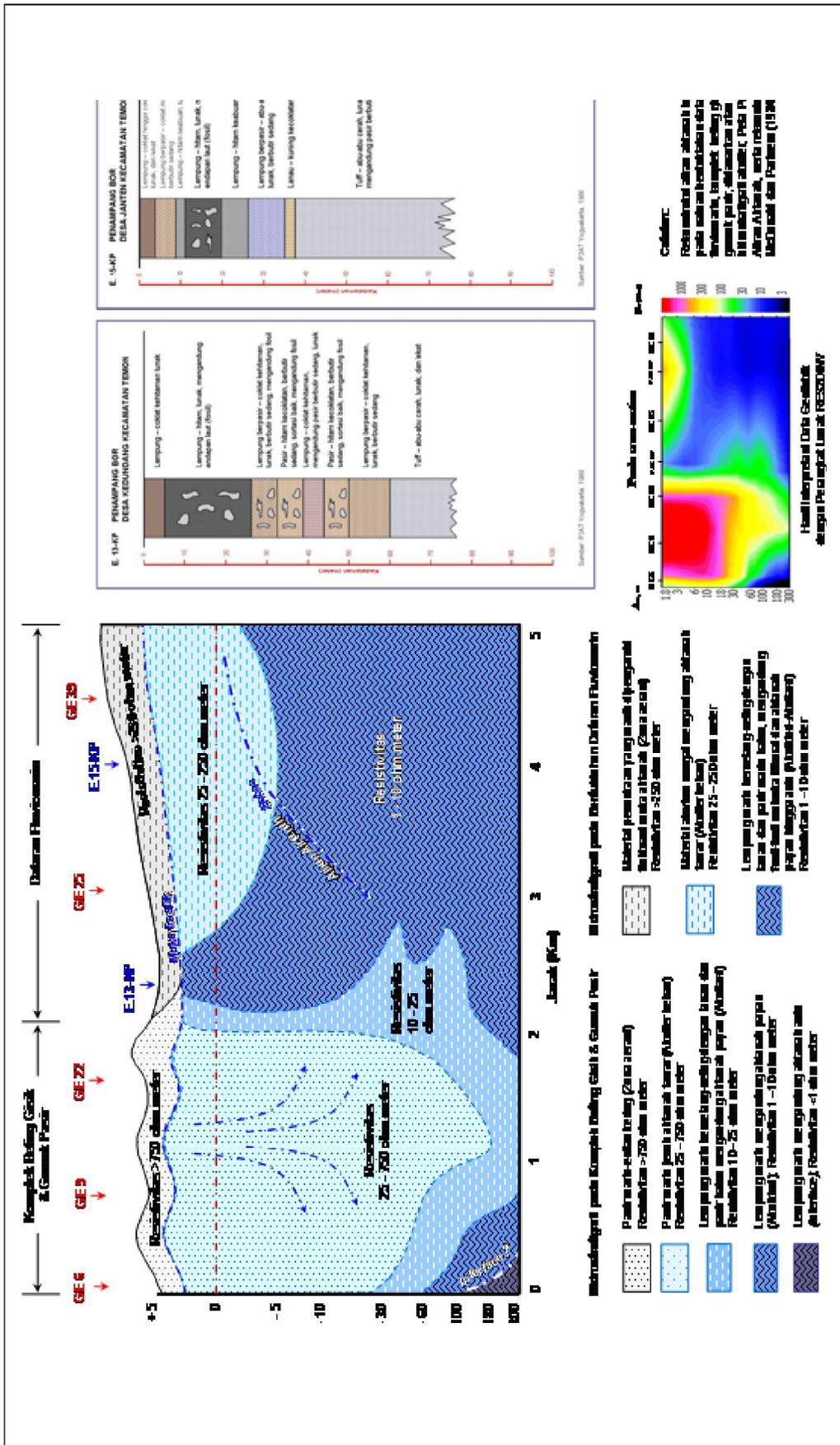
mengandung fosil-fosil moluska laut dangkal sebagai hasil proses marin purba, dijumpai mulai dari permukaan airtanah bebas hingga kedalaman pendugaan geolistrik (300 meter). Fenomena ini menunjukkan bahwa pada bagian tengah daerah penelitian, benar-benar merupakan konsentrasi aktivitas marin purba, yang berasosiasi dengan kedudukan Teluk Wates dan Teluk Panjatan purba, sebagai pusat cekungan laut dangkal pada masa itu. Menurut McDonald dan Partners (1984), Widiyanto (1986), Santosa (2004), dan Santosa (2010), lokasi teluk-teluk tersebut merupakan bekas laguna yang terkubur oleh sedimentasi fluvial, yang selanjutnya berkembang menjadi dataran fluviomarin.

Di samping kedua sistem akuifer di atas, di daerah penelitian terdapat satu sistem akuifer lagi yang bersifat lokal, yang terbentuk sebagai hasil proses geomorfologi fluvial, yaitu sistem akuifer dataran banjir dan tanggul alam. Sistem akuifer ini secara



Sumber: hasil analisis

Gambar 6. Penampang Melintang Lokasi Pendugaan Geolistrik di Daerah Penelitian



Sumber: Hasil Interpretasi Data Pendugaan Geolistrik (2007) yang dikorelasikan dengan Data Bor P2AT Yogyakarta (1980), dalam Santosa (2010)

Gambar 7. Penampang Hidrostratigrafi Akuifer Memotong Seluruh Satuan Bentuklahan (Selatan - Utara) di Bagian Barat Daerah Penelitian





lokal terdapat pada satuan bentuklahan dataran banjir dan tanggul alam Sungai Progo, tersusun atas material aluvium yang berasal dari hasil pengendapan material-material vulkanik Merapi Muda berukuran pasir dan kerikil dengan sedikit lempung, yang dikenal dengan Formasi Yogyakarta.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa "genesis bentuklahan berpengaruh kuat terhadap pembentukan hidrostratigrafi akuifer di daerah penelitian". Di daerah penelitian tersusun atas 3 (tiga) sistem akuifer, yaitu: Sistem Akuifer Dataran Fluvimarin; Sistem Akuifer Komplek Beting Gisik, Swale, dan Gumuk Pasir; serta Sistem Akuifer Dataran Banjir dan Tanggul Alam. Masing-masing sistem akuifer mempunyai karakteristik yang khas, yang ditunjukkan oleh sistem dan pola perlapisan material penyusun akuifer dan variasi karakteristik airtanah bebas. Dengan demikian, dapat dinyatakan dengan pernyataan terbalik bahwa "hidrostratigrafi akuifer dapat dipakai sebagai geoindikator untuk menelusur genesis bentuklahan pada suatu wilayah".

### **Rekonstruksi Spasiotemporal Hidrostratigrafi Akuifer Kaitannya dengan Kronologi Pembentukan Bentuklahan**

Berdasarkan hasil analisis hidrostratigrafi, menunjukkan pula bahwa selama kurun waktu zaman Tersier Akhir hingga Kuartar, yaitu mulai kala Pliosen hingga Holosen, akibat bekerjanya proses-proses geomorfologi masa lampau, telah berakibat pada dinamika bentuklahan secara bertahap (kronologis) di daerah penelitian (Santosa, 2010), seperti direkonstruksikan pada Gambar 10a, 10b, dan 10c.

Tahap pertama pada akhir zaman Tersier (akhir kala Pliosen)

Pada kala itu, daerah penelitian merupakan suatu zona laut dangkal dengan banyak la-

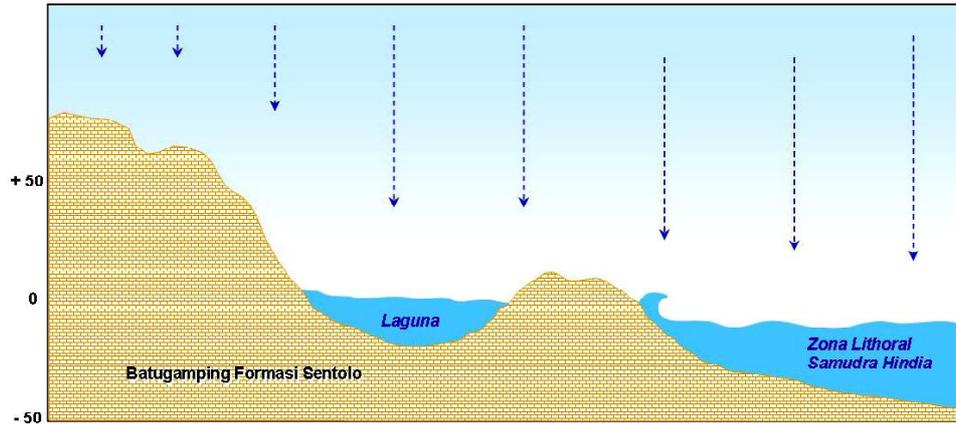
guna pada bagian teluk-teluknya. Hal ini dibuktikan dengan ditemukannya pola jalur atau igir perbukitan di sebelah utara daerah penelitian yang mengindikasikan garis pantai lama seperti teluk dan tanjung. Di samping itu, berdasarkan hasil analisis data bor dan pendugaan geolistrik ditemukan lapisan-lapisan endapan lempung marin mengandung fosil kerang, lanau, dan pasir halus yang berselang-seling, tersortasi dengan baik hingga kedalaman mencapai >100 meter, yang tersebar merata di seluruh satuan dataran fluvimarin hingga batas tekuk lereng perbukitan di bagian utara.

Tahap kedua pada zaman Kuartar (kala Pleistosen)

Pada kala itu terjadi perubahan iklim dunia secara drastis (Pannekoek, 1949; Bemmelen, 1970), yang ditandai dengan periode kering yang sangat panjang. Kondisi ini berakibat besar terhadap wilayah perairan laut di Indonesia, yaitu muka air laut turun antara 50 - 100 meter (*eustatic sea level lowering*). Zona laut dangkal di daerah penelitian pada saat itu dimungkinkan mengering karena penguapan yang sangat tinggi, sehingga menjadi suatu daratan yang luas. Sedimen marin berupa lempung lithoral mengandung pasir marin halus dan fosil-fosil moluska laut dangkal terakumulasi pada dasar laguna. Di samping itu, air laut yang menguap meninggalkan kristal-kristal garam, yang ikut terjebak bersama sedimen lempung marin pada dasar laguna. Hal ini ditunjukkan oleh terdapatnya airtanah bebas berada payau hingga asin dengan nilai DHL 1.200 hingga 4.500  $\mu\text{mhos/cm}$ , pola mengelompok, dan mendominasi pada satuan dataran fluvimarin yang bersesuaian dengan pola teluk purba di daerah penelitian.

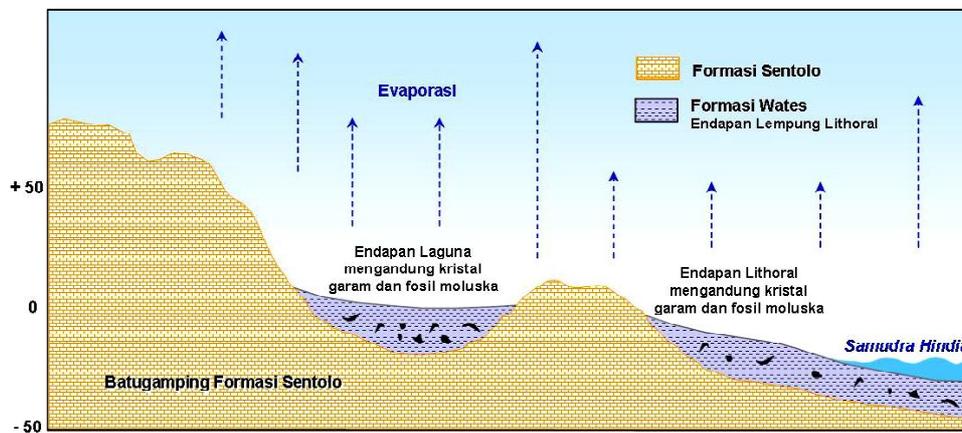
Tahap ketiga pada akhir kala Pleistosen memasuki kala Holosen

Pada saat itu iklim mulai normal kembali



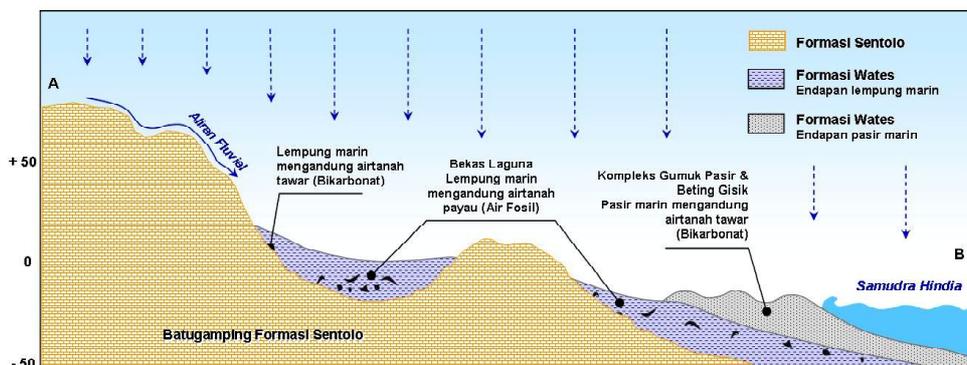
Sumber:

Gambar 10a. Rekonstruksi Hubungan antara Hidrostratigrafi Akuifer dengan Genesis Bentuklahan di Daerah Penelitian pada Akhir Kala Pliosen (Tersier Akhir)



Sumber:

Gambar 10b. Rekonstruksi Hubungan antara Hidrostratigrafi Akuifer dengan Genesis Bentuklahan di Daerah Penelitian pada Kala Pleistosen (Kuartar Awal)



Sumber:

Gambar 10c. Rekonstruksi Hubungan antara Hidrostratigrafi Akuifer dengan Genesis Bentuklahan di Daerah Penelitian pada Kala Holosen (Kuartar Akhir)

dan proses geomorfologi mulai didominasi oleh aktivitas fluvial. Di daerah penelitian, endapan lempung marin mengandung lanau dan fosil kerang yang terdapat di dasar zona laut dangkal, tertutup oleh endapan fluvial berupa lempung dan pasir halus berumur Holosen, yang membentuk Formasi Wates (Widiyanto, 1986; Barianto, 2006). Selanjutnya air hujan yang meresap ke dalam akuifer pada satuan ini mulai melarutkan kristal-kristal garam laut purba yang terjebak saat sedimentasi lempung marin, membentuk airtanah berasa payau hingga asin, dengan nilai daya hantar listrik tinggi di daerah penelitian.

Merujuk pada hasil penelitian ini, maka dapat dinyatakan bahwa "genesis bentuklahan telah berpengaruh terhadap pembentukan hidrostratigrafi akuifer dan karakteristik airtanah bebas di daerah penelitian". Hasil penelitian ini menjelaskan dan memperkuat prinsip "*Uniformitarianism*" dalam geomorfologi dengan pernyataan "*the present is the key to the past*".

## KESIMPULAN DAN SARAN

(1) Genesis dan proses-proses geomorfologi masa lampau di daerah penelitian telah berpengaruh terhadap pembentukan 3 (tiga) hidrostratigrafi yang menunjukkan sistem akuifer utama yang benar-benar terpisah. (a) Sistem akuifer (hidrostratigrafi) kompleks beting gisik dan gumuk pasir merupakan sistem akuifer yang ber-bentuk mangkok, tersusun atas material pasir marin-eolian yang mengandung airtanah tawar, dengan kedalaman mencapai 30 hingga 40 meter, yang ditunjukkan oleh nilai tahanan jenis batuan antar 25 hingga 750 ohm meter. (b) Sistem akuifer (hidrostratigrafi) dataran banjir dan tanggul alam merupakan sistem akuifer lokal yang terdapat di sekitar muara Sungai

Progo, tersusun atas material aluvium yang berasal dari hasil pengendapan material-material vulkanik Merapi Muda berukuran pasir dan kerikil dengan sedikit lempung. (c) Sistem akuifer (hidrostratigrafi) dataran fluviomarin secara umum tersusun atas 2 lapisan utama, yaitu: (i) pada bagian bawah berupa lapisan lempung marin berselang-seling dengan endapan lanau dan pasir marin halus, mengandung fosil-fosil moluska laut dangkal dan terdapat jebakan airtanah payau hingga asin, dengan nilai tahanan jenis berkisar 1 hingga 10 ohm meter; dan (ii) pada bagian atas berupa lapisan lempung marin yang berselang-seling dengan endapan aluvium hasil proses sedimentasi fluvial, dengan kondisi airtanah yang bervariasi dari tawar hingga payau.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hidrostratigrafi akuifer dapat dipakai sebagai geoindikator untuk menelusur kronologi pembentukan bentuklahan di daerah penelitian, yang memperkuat prinsip dasar "*Uniformitarianism*" dalam geomorfologi dengan pernyataan "*the present is the key to the past*".

(2) Secara spasiotemporal, genesis bentuklahan di daerah penelitian berpengaruh terhadap pembentukan hidrostratigrafi akuifer dan karakteristik airtanah bebas dalam 3 tahapan atau kronologi, yaitu: pada akhir zaman Tersier (akhir kala Pliosen), kala Pleistosen, dan kala Holosen. Genesis atau kronologi pembentukan bentuklahan tersebut dibuktikan dengan pola hidrostratigrafi yang unik, berupa selang-seling lapisan material lempung marin mengandung fosil-fosil moluska laut dangkal (*lithoral*) dengan endapan lempung aluvial (sungai), dan keterdapat lensa-lensa akuitard mengandung airtanah payau hingga asin (DHL antara 1.200 hingga 4.500  $\mu\text{mhos/cm}$ ) di daerah penelitian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya disampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Sutikno, Guru Besar pada Fakultas Geografi UGM, yang selama ini telah membina

dan membimbing penulis untuk meraih derajat pendidikan tinggi, sejak S1, S2, hingga S3, terkhusus dalam meng-ajarkan dan mengembangkan keilmuan Hidrogeomorfologi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Acworth, R.I., 2001. Physical and Chemical Properties of a DNAPL Contaminated Zone in a Sand Aquifer. *Quarterly Journal of Engineering Geology*. Australia
- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1994. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam, 536p
- Bariato, D.H., 2006. Penggunaan Citra Landsat TM dalam Penentuan Letak Pusat Erupsi dan Sebaran Batuan Vulkanik serta Rekonstruksi Paleogeografi Tersier Pegunungan Kulonprogo. *Tesis*. Program Pascasarjana Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta
- Bemmelen, R.W. van, 1970. *The Geology of Indonesia*. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Government Printing Office. The Haque
- Cartwright, I. And Tamie R. Weaver, 2005. Hydrogeochemistry of the Goulburn Valley Region of the Murray Basin Australia Implications for Flow paths and Resource Vulnerability. *Hydrogeology Journal*. Official Journal of the International Association of Hydrogeologists. Volume 13 Number 5-6 October 2005. Pages 752 – 770. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- De Rider, 1972. *Hydrogeology of Different Types of Plain*. ILRI. Wageningen
- Fetter, C.W., 1988. *Applied Hydrogeology*. 3th edition. Mac Millan Publishing. New York
- Gabriela-Garcia, M., Margarita-Hidalgo, del V., and Miguel-Blesa, A., 2001. Geochemistry of Groundwater in the Alluvial Plain of Tucuman Province, Argentina, *Hydrogeology Journal*. Official Journal of the International Association of Hydrogeologists. Volume 9 December 2001. Pages 597 – 610. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Holmes Arthur, 1965. *Principles of Physical Geology*. 2<sup>nd</sup> Edition Completely Revised Published. Thomas Nelson and Sons Ltd. Britain
- Kloosterman, F.H., 1989. *Groundwater Flow System in the Northern Coastal Lowlands of West- and Central Java, Indonesia*. An Earth-Scientific Approach. Kanisius Publishing Company, Yogyakarta
- Kodoatie, R.J., 1996. *Pengantar Hidrogeologi*. Penerbit: Andi Offset. Yogyakarta

- Lobeck, A.K., 1939. *Fundamental of Geomorphology*. John Wiley and Sons. New York
- McDonald and Partners, 1984. *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study*. Overseas Development Administration. London
- Meijerink, 1982. *Hydrogeomorphology*. Department Geomorphology. ITC the Netherlands
- Pannekoek, A.J., 1949. *Outline of the Geomorphology of Java*. E.J. Brill. Leiden
- Santosa, L.W., 2004. Studi Akuifer pada Bentanglahan Kepesisiran Kabupaten Kulonprogo D.I. Yogyakarta, *Jurnal Majalah Geografi Indonesia*, Vol. 18 No. 2, Sept. 2004, Hal 117 - 133
- Santosa, L.W., 2010. Pengaruh Genesis Bentuklahan terhadap Hidrostratigrafi Akuifer dan Hidrogeokimia dalam Evolusi Airtanah Bebas - Kasus pada Bentanglahan Kepesisiran Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta, *Disertasi*, Program Doktor pada Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta
- Strahler, N.A. dan Strahler, H.A., 1983. *Modern Physical Geography*. John Wiley and Sons. New York
- Stuyfzand, P.J., 1991. A New Hydro-chemical Classification of Water Types: Principles and Application to the Coastal Dunes Aquifer System of the Netherlands. *Salt Water Intrusion Meeting*. The Dief
- Sutikno, 1992. Pendekatan Geomorfologikal Untuk Kajian Airtanah Dangkal Daerah Perbukitan Sangiran, Sragen, Jawa Tengah. *Laporan Penelitian*. Fakultas Geografi, UGM. Yogyakarta
- Todd, D.K., 1980. *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Sons. New York
- Thornbury, 1954. *Principles of Geomorphology*. John Wiley and Sons. London - New York
- Verstappen, H. Th., 1983. *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier. Amsterdam - Oxford - New York
- Widiyanto, 1986. Geomorfologi Daerah Glagah – Bogowonto, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Laporan Penelitian*. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta