

Perubahan fasies hidrokimia dalam akuifer aluvium pantai: kajian kes di kawasan Pekan-Nenasi, Pahang

ISMAIL C. MOHAMAD¹, ABDUL RAHIM SAMSUDIN¹, ABDUL GHANI RAFEK¹
& MOHD TADZA ABDUL RAHMAN²

¹Program Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor

²Institut Penyelidikan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT)
43000 Bangi, Selangor

Abstrak: Kajian kimia air tanah telah dijalankan sebagai sebahagian daripada kajian hidrogeologi bagi mengenalpasti punca masalah peningkatan kadar kemasinan secara berterusan dalam akuifer air tawar di loji bekalan air awam Nenasi, Pekan, Pahang. Kajian di kawasan tersebut telah bermula pada tahun 1999 bagi tujuan menentukan sifat-sifat dan perlakuan akuifer aluvium pantai dari segi perubahan kimia air tanah kesan pengepaman tak terkawal di kawasan tersebut. Maklumat kajian ini menunjukkan bahawa berlakunya perubahan yang ketara terhadap kepekatan klorida terutamanya di kawasan loji bekalan air di Nenasi dan di kawasan ternakan belut di Tanjung Batu. Di kawasan Tanjung Batu, kepekatan klorida didapati melebihi had piawai air minuman yang ditetapkan oleh WHO. Kajian ini menunjukkan bahawa berlakunya penerobosan air masin yang serius di kawasan kajian.

Abstract: Study of ground water chemistry has been carried out as part of the hydrogeological studies to identify the cause of continuous increasing in salinity of the fresh water aquifer at the public water work in Nenasi, Pekan, Pahang. This study has been carried out since 1999 to determine the characteristic and behavior of the coastal alluvial aquifer in aspect of its chemical changes due to unchecked pumping activities in the area. Results had shown that, there is obvious change in chloride concentration especially at the public water work in Nenasi and eel breeding farm in Tanjung Batu. In Tanjung Batu area, chloride concentration has exceeded WHO standard for drinking water. This study indicates that there is a serious problem of saline water intrusion in the study area.

PENDAHULUAN

Pembangunan sumber air tanah secara tidak terkawal daripada akuifer aluvium pantai sering menyebabkan kejadian penerobosan air masin. Sumber air tanah daripada akuifer aluvium pantai di kawasan antara Pekan-Nenasi, Pahang telah diterokai bagi kegunaan industri akuakultur dan juga sumber bekalan air awam. Keputusan program pengawasan air tanah yang dijalankan oleh Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia (sekarang dikenali sebagai Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia) menunjukkan terdapatnya peningkatan kadar kemasinan dalam akuifer air tawar secara berterusan. Peningkatan kadar kemasinan telah di kesan di beberapa buah telaga pengawasan berhampiran pantai dan telaga pengeluaran bagi bekalan air awam di Nenasi, Pekan, Pahang. Kandungan klorida daripada telaga pengeluaran di Loji Air Nenasi di dapati meningkat daripada 48 mg/l pada Mac 1991 kepada 118 mg/l pada Mei 2001. Masalah peningkatan berterusan kemasinan dalam air tawar di kawasan ini perlu diberi perhatian kerana ia akan menjejaskan sumber bekalan air bersih bagi loji tersebut.

Kajian kimia air tanah dijalankan sebagai sebahagian daripada kajian hidrogeologi bagi mengenalpasti punca masalah tersebut. Selain digunakan bagi menentukan sifat-sifat akuifer, kajian kimia air tanah ini juga bertujuan bagi

memahami perlakuan akuifer dari segi perubahan kimia air tanah kesan daripada pengepaman air tanah di kawasan tersebut. Maklumat-maklumat ini penting bagi tujuan pengurusan dan pembangunan sumber air tanah.

GEOLOGI

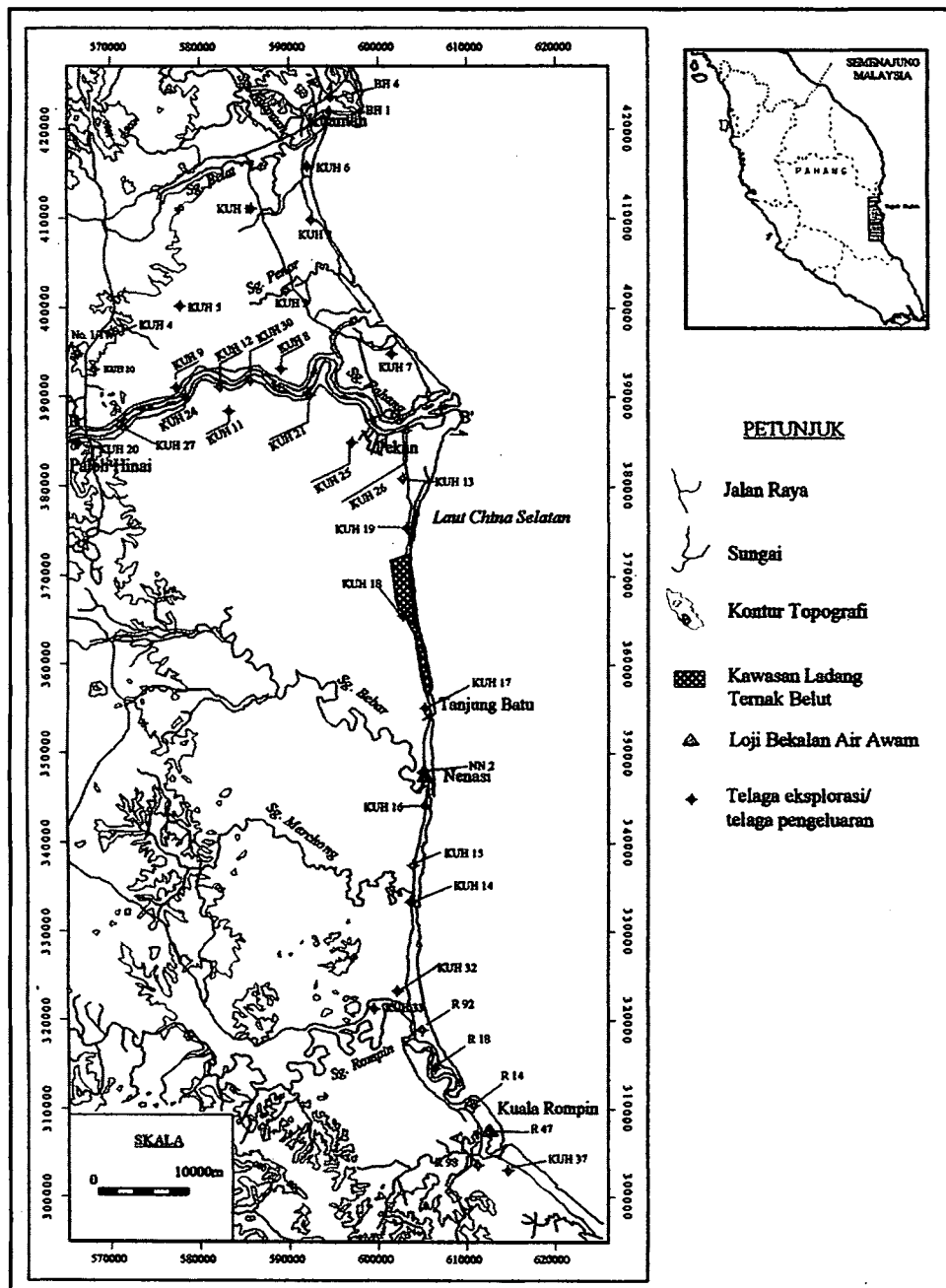
Kawasan kajian adalah meliputi kawasan seluas lebih kurang 2,000 kilometer persegi yang terdiri daripada sebahagian besar Daerah Pekan dan Daerah Rompin, Pahang (Rajah 1). Ia merupakan kawasan rendah yang diliputi oleh enapan aluvium. Aluvium Kuaterner ini mengandungi pasir, kelikir, lempung serta lodak. Ketebalan secara menyeluruhan enapan aluvium di kawasan ini tidak diketahui dengan jelas. Walau bagaimanapun, kajian yang dijalankan oleh Che Aziz (2001) dan Umar (2001) di delta Sungai Pahang menunjukkan ketebalannya boleh mencapai sehingga lebih 200 meter, di mana ianya menebal ke arah timur atau berhampiran garis pantai serta di tengah lembangan Sungai Pahang. Batuan dasarnya terdiri daripada batuan metamorf dan granit yang berusia Paleozoik-Mesozoik. Umumnya, singkapan batuan granitoid dan vulkanik boleh dijumpai di utara dan di barat-daya kawasan ini, manakala batuan sedimen dan metasedimen didapati di sebelah barat kawasan kajian. Terdapat satu singkapan batuan vulkanik yang terasing dijumpai ditepi pantai, iaitu

di Kampung Tanjung Batu yang terletak berhampiran Nenasi.

HIDROGEOLOGI

Keratan rentas hidrogeologi kawasan kajian adalah seperti di dalam Rajah 2. Secara umumnya, akuifer aluvium tersebut boleh dikelaskan kepada dua sistem akuifer utama, iaitu sistem akuifer cetek tak terkekang dan sistem akuifer dalam terkekang (Ismail et al., 2001). Akuifer cetek yang mempunyai ketebalan kurang daripada 10 meter ini adalah merupakan permatang pasir yang didapati di sepanjang pantai kawasan kajian. Akuifer cetek tak terkekang ini

terdiri daripada pasir bersaiz halus hingga sederhana. Menurut Che Aziz (2001), sedimen nipis yang terdapat di bahagian atas dalam enapan aluvium ini adalah berusia Holosen. Akuifer dalam pula kebiasaannya ditemui di kedalaman lebih daripada 20 meter dari paras permukaan bumi. Di kawasan berhampiran pantai akuifer terkekang ini di tindih oleh lapisan lempung samudera. Umumnya, akuifer ini agak nipis berhampiran kaki bukit dan menebal di tengah lembangan dan pinggir pantai. Sedimen tebal ini dipercayai berusia Pleistosen. Ia terdiri daripada lapisan pasir bersaiz sederhana hingga kasar bercampur kerikil. Lensa lempung sering ditemui di dalam lapisan akuifer terkekang ini terutamanya di kawasan berhampiran pantai.



Rajah 1. Peta lokasi kawasan kajian.

Umumnya, akuifer dalam ini membentuk dua unit lapisan utama di sepanjang pantai dan menjadi satu unit apabila menjauhi pantai. Kedua-dua unit tersebut dipisahkan oleh lapisan lempung berpasir. Lempung tersebut biasanya ditemui di kedalaman lebih kurang 60 meter daripada purata paras laut. Secara rantau akuifer terkekang ini boleh dianggap sebagai satu unit akuifer. Kedua-dua unit akuifer dalam tersebut mempunyai perbezaan kualiti air tanah, di mana unit pertama (atas) akuifer terkekang ini adalah mengandungi air payau atau masin, manakala unit kedua (bawah) adalah mengandungi air tawar (Saffeen, 1993). Akuifer cetek tak terkekang yang didapati di sepanjang pantai adalah mengandungi air tawar kecuali di kawasan berhampiran muara sungai utama seperti Sungai Pahang, Sungai Merchong dan Sungai Bebar. Di bahagian muara sungai utama, akuifer cetek ini mengandungi air payau atau masin kesan penerobosan air masin akibat pasang surut air laut. Bagi akuifer terkekang pula, di kawasan pendalaman atau jauh daripada pantai ianya mengandungi air tawar.

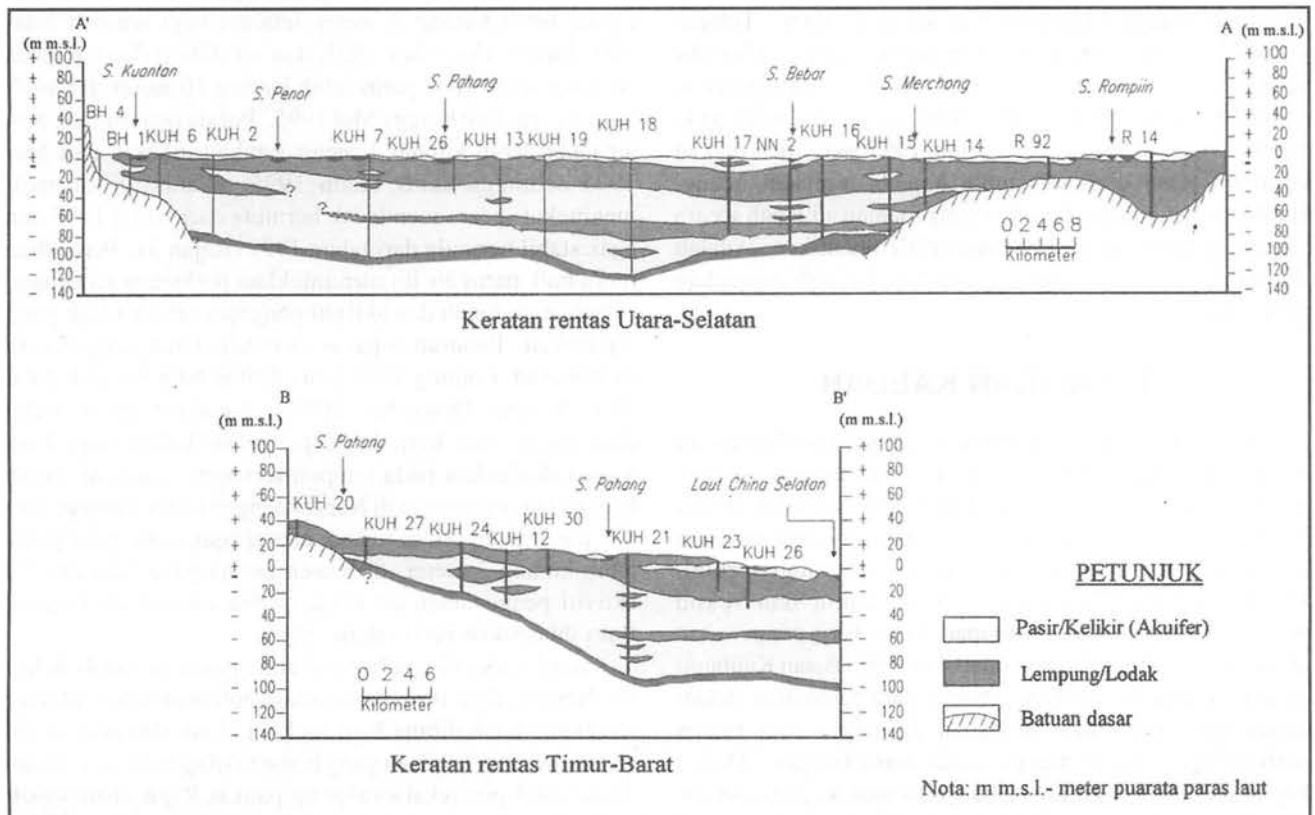
Keputusan program pengawasan air tanah yang dijalankan oleh Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia sehingga tahun 1995 yang dilaporkan oleh Ismail & Ang (1996) menunjukkan terdapat kejatuhan paras piezometrik air tanah berterusan di dalam beberapa telaga pengawasan termasuk di loji bekalan air awam di Nenasi, Pekan, Pahang. Kesan pengepaman air tanah bagi tujuan bekalan air dan industri akuakultur telah menyebabkan kejatuhan paras air tanah di dalam akuifer terkekang terutamanya di kawasan

antara Pekan dan Nenasi. Kerucut surutan berjejari pengaruh lebih kurang 20 kilometer telah terbentuk di kawasan tersebut. Paras piezometrik telaga pengawasan berhampiran pusat kerucut surutan yang dilaporkan pada September 1995 mencapai sehingga 26 meter di bawah paras permukaan bumi atau 21 meter di bawah paras purata paras laut. Kesan pengepaman tersebut juga telah menyebabkan kejatuhan paras air tanah di akuifer cetek sekitar kawasan Tanjung Batu. Kesan kejatuhan paras air tanah di dalam akuifer cetek ini telah menyebabkan berlakunya pengeringan telaga-telaga gali yang digunakan oleh penduduk kampung di kawasan tersebut (Ashraf & Saiful, 1993).

Bagi akuifer tak terkekang, imbuan air tanah adalah didapati secara terus daripada hujan, manakala bagi akuifer terkekang imbuan air tanah adalah diterima dari penyusupan larian air permukaan berhampiran kaki-kaki bukit di sebelah barat dan utara kawasan kajian. Selain daripada itu, kemungkinan juga berlaku penyusupan air permukaan dari kawasan berpaya gambut ke dalam sistem akuifer terkekang. Luahan air tanah pula adalah menerusi aliran dasar ke laut dan sungai dan juga kerja-kerja pengepaman yang dijalankan di kawasan tersebut.

PENGGUNAAN AIR TANAH

Umumnya, lebih daripada sebahagian daripada penduduk kampung sekitar kawasan Pekan-Nenasi, Pahang menggunakan air tanah yang didapati dari akuifer cetek



Rajah 2. Keratan rentas hidrogeologi kawasan kajian (diubahsuai daripada Saffeen, 1994).

sepanjang pantai sebagai sumber bekalan air bersih untuk kegunaan harian. Bekalan tersebut didapati daripada telaga-telaga gali yang dibina di dalam akuifer cetek tak terkekang dengan kedalaman kurang daripada 10 meter. Sumber air tanah juga digunakan sebagai sumber bekalan air awam di loji air di Nenasi, Pekan, Pahang. Sumber air tanah tersebut didapati daripada dua buah telaga tiub yang dibina di dalam akuifer terkekang pada kedalaman lebih kurang pada 70–90 meter di bawah paras permukaan bumi (Abdul Rashid, 1990). Purata jumlah pengeluaran harian kedua telaga tiub tersebut adalah lebih kurang 175 meter padu sehari (Ismail & Ang, 1996).

Penggunaan air tanah secara intensif hanya bermula pada tahun 1990 apabila aktiviti akuakultur dijalankan secara aktif di kawasan berhampiran Tanjung Batu, iaitu kira-kira 9 km ke utara Nenasi. Aktiviti menternak udang yang pada mulanya beroperasi pada tahun 1988 telah ditukar dengan kegiatannya menternak belut secara besar-besaran pada April 1990. Fasa pertama melibatkan pembinaan 200 buah kolam ternakan belut yang dibangunkan di kawasan seluas 800 ekar dan pada tahun 1993, Fasa kedua pula telah dimulakan dengan tambahan 180 kolam di kawasan seluas 1,200 ekar lagi. Sumber air untuk pengisian kolam-kolam tersebut diperolehi dari sumber air tanah. Air tanah tersebut diperolehi menerusi sejumlah 336 telaga tiub yang dibina dalam akuifer terkekang pada kedalaman lebih kurang 100 meter di bawah paras permukaan bumi. Dipercayai bahawa telaga-telaga tersebut menyedut air tanah dari akuifer yang sama dengan telaga-telaga di Loji Air Nenasi (Ismail & Ang, 1996). Umumnya penggunaan air pada kuantiti yang banyak adalah pada peringkat pengisian kolam. Telaga-telaga tersebut kemudiannya akan digunakan secara bergilir selepas pengisian kolam. Ismail (1994) menganggarkan sejumlah 22,500 meter padu sehari air tanah dipam pada tahun 1993. Bermula dari tahun 1997 aktiviti ternakan belut ini telah ditukar semula kepada ternakan udang. Berikutan dengan itu, kegiatan pengepaman air tanah secara intensif di kawasan tersebut juga telah dihentikan. Adalah dianggarkan lebih kurang 10 % air tanah masih digunakan masa kini.

BAHAN DAN KAEDAH

Kerja-kerja persampelan dan pengukuran paras air tanah telah dijalankan di dalam telaga eksplorasi atau pengeluaran sediada yang digunakan sebagai telaga pengawasan (Rajah 1), bagi tujuan analisis kimia air tanah dan mendapatkan maklumat paras air tanah terkini. Disamping itu, data-data analisis kimia dan rekod pengukuran paras air tanah daripada kerja-kerja pengawasan air tanah yang dijalankan oleh Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia juga digunakan sebagai data tambahan dalam kajian ini. Data-data tambahan dikumpul bagi tujuan perbandingan kualiti dan paras air masa lampau. Dalam kajian ini, analisis kimia air hanya dirujuk kepada ion-ion utama air tanah seperti natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), karbonat (CO_3), bikarbonat (HCO_3)

klorida (Cl) dan sulfat (SO_4).

Data-data paras air tanah serta kimia air tanah seperti klorida dan keberkonduksian daripada telaga pengeluaran loji air di Nenasi, Pekan diplot dengan masa bagi melihat perubahannya dengan kesan-kesan pengepaman yang dijalankan di kawasan tersebut. Data-data daripada loji tersebut digunakan sebagai kawalan dalam kajian ini. Berdasarkan kepada corak perubahan paras air tanah di loji tersebut, peta-peta permukaan potensiometrik air tanah dibina bagi melihat corak dan arah aliran air tanah bagi masa tertentu. Data analisis kimia air tanah bagi siri persampelan masa tersebut digunakan dalam gambarajah trilinear/Piper bagi penentuan jenis fasies hidrokimia air tanah. Dalam teknik grafik menggunakan gambarajah trilinear, peratusan kation dan anion utama ditentukan berdasarkan kepekatan setiap ion dalam milisetaraan per liter yang dijumlahkan. Peratusan milisetaraan kation utama dan anion utama ini diplotkan sebagai titik data di dua segitiga asas (peratusan kation dan peratusan anion). Titik data daripada dua segitiga asas tadi kemudiannya diunjurkan ke grid yang berbentuk rombus. Hasil unjuran ini dapat memberikan gambaran yang berguna mengenai fasies hidrokimia air serta boleh menunjukkan persamaan dan perbezaan kualiti kimia air tanah secara relatif.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Data-data paras air tanah yang diplot terhadap masa (Rajah 3) untuk telaga pengeluaran di Loji Air Nenasi, menunjukkan terdapatnya kejatuhan paras air tanah dengan purata lebih kurang 3 meter setahun bagi tempoh Julai 1991 hingga Disember 1993, dan ini diikuti dengan paras air yang stabil pada paras lebih kurang 10 meter di bawah purata paras laut hingga Mei 1995. Purata penurunan paras air tanah lebih kurang 1 meter setahun dikesan dari Mei 1995 sehingga akhir tahun 1996. Paras air didapati meningkat secara mendadak bermula dari tahun 1997 dan agak stabil bermula dari tahun 1999 (Rajah 3). Perubahan turun naik paras air itu menunjukkan perkaitannya dengan imbuhan air tanah dan aktiviti pengepaman air tanah yang dijalankan. Penurunan paras air tanah akibat pengepaman di kawasan Tanjung Batu jelas dilihat bagi tempoh Julai 1993 hingga Disember 1997. Keadaan ini berlaku disebabkan oleh kerja-kerja pengisian kolam bagi Fasa Kedua dijalankan pada tempoh tersebut. Paras air tanah bagi telaga pengeluaran di Nenasi dengan kadar pengepaman 175 meter padu sehari juga di dapati agak stabil pada paras lebih kurang 7 meter di bawah purata paras laut apabila aktiviti pengepaman air tanah secara intensif di Tanjung Batu dihentikan pada tahun 1997.

Berdasarkan kepada perubahan paras air tanah di loji air Nenasi, tiga peta permukaan potensiometrik akuifer terkekang telah dibina bagi melihat corak dan arah aliran air tanah dalam keadaan yang berbeza (Rajah 4a–4c). Rajah 4a mewakili peringkat awal pengepaman, Rajah 4b mewakili peringkat pertengahan atau paras air tanah paling rendah, manakala Rajah 4c merupakan peringkat akhir atau

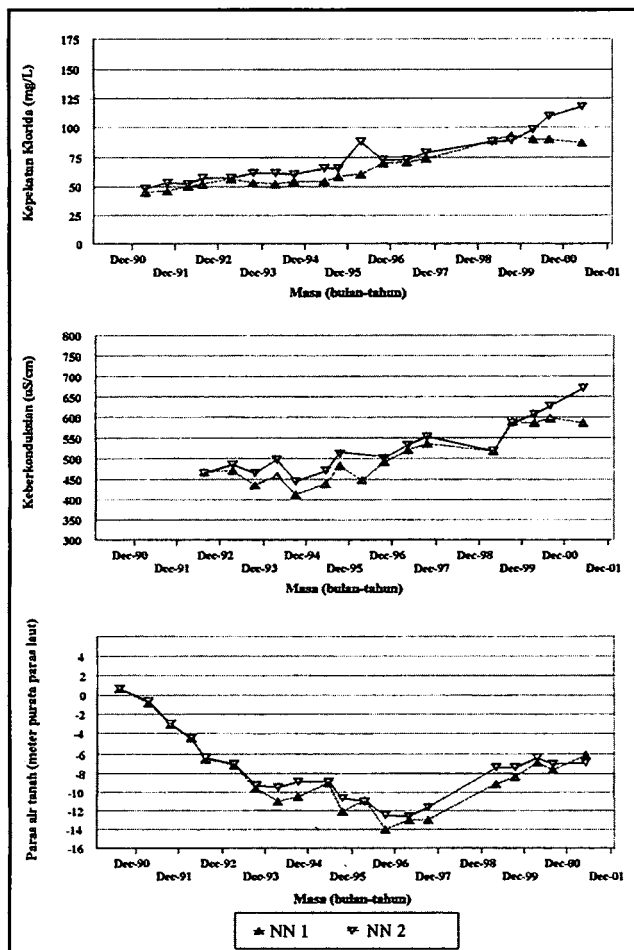
peringkat pemulihan paras air tanah apabila kegiatan pengepaman air tanah secara besar-besaran telah dihentikan di Tanjung Batu. Umumnya, ketiga-tiga peta tersebut menunjukkan pembentukan kerucut surutan yang berpusat antara Nenasi dan Tanjung Batu. Jejari pengaruh kerucut surutan tersebut boleh mencapai sehingga lebih 20 kilometer. Sementara, bacaan paras piezometrik telaga pengawasan berhampiran pusat kerucut surutan pernah mencapai sehingga 23 meter di bawah paras purata paras laut, iaitu pada September 1996 (Rajah 4b). Saiz kerucut surutan yang terbentuk adalah bergantung kepada kadar pengepaman air tanah yang dijalankan. Kesan pengepaman tersebut juga telah mengubah aliran air tanah rantau di bahagian selatan Sungai Pahang. Umumnya, air tanah di kawasan tersebut telah berubah aliran menuju ke pusat kerucut surutan, manakala arah aliran air tanah rantau adalah menuju ke timur atau ke arah laut.

Kesan pengepaman air tanah telah menyebabkan peningkatan kandungan klorida dan keberkonduksian secara berterusan dalam telaga pengeluaran di Loji Air Nenasi (rujuk Rajah 3). Berdasarkan kepada graf tersebut, kepekatan klorida di dalam telaga pengawasan NN 2 di loji

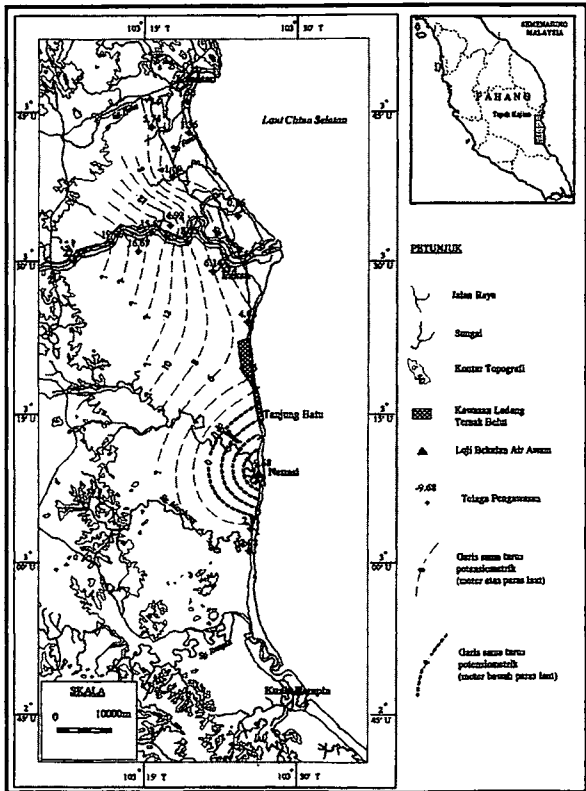
air Nenasi telah meningkat daripada 48 mg/l pada Mac 1991 kepada 118 mg/l pada Mei 2001. Peningkatan kandungan klorida secara berterusan ini mungkin akan menjejaskan sumber air tanah untuk digunakan sebagai sumber bekalan air bersih satu masa nanti. Keputusan persampelan air tanah pada Mei 2001 juga menunjukkan sampel-sampel air tanah yang dikutip daripada telaga pengeluaran di kawasan industri akuakultur di Tanjung Batu telah terjejas kualitasnya, di mana kandungan klorida daripada sampel-sampel yang dikutip berada antara julat 198 mg/l hingga 290 mg/l. Had piawai air minuman bagi kepekatan klorida yang ditetapkan oleh Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO, 1983) adalah 250 mg/l.

Rajah 5a–5c menunjukkan keputusan analisis ion-ion utama yang diplot di atas gambarajah trilinear mewakili persampelan yang dijalankan bagi tempoh masa yang sama dengan peta-peta permukaan potensiometrik yang dibina (September 1993, September 1996 dan Ogos 2000). Pada September 1993 (Rajah 5a), kebanyakan air tanah dari akuifer aluvium ini boleh dibahagikan kepada dua fasies hidrokimia utama. Fasies pertama merupakan air dari jenis kalsium bikarbonat, iaitu merupakan sampel air tanah yang dikutip daripada telaga pengawasan yang terletak jauh daripada laut. Ini merupakan fenomena biasa ditemui bagi akuifer air tawar di kawasan pantai, di mana ia dominan dengan anion bikarbonat dan kation kalsium hasil imbuan air tanah. Fasies kedua merupakan fasies natrium klorida dan ia didapati daripada telaga-telaga yang terletak berhampiran dengan laut atau sungai utama. Umumnya, ia ditunjuk dengan kandungan klorida dan natrium yang tinggi. Pada September 1996 (Rajah 5b), ia itu pada peringkat paras air tanah paling rendah didapati berlaku perubahan fasies hidrokimia air tanah bagi kebanyakan sampel-sampel telaga yang terletak berhampiran Sungai Pahang. Kebanyakan daripada sampel-sampel air tanah yang dikutip dari telaga yang terletak sepanjang Sungai Pahang berubah dari fasies kalsium bikarbonat kepada natrium bikarbonat. Perubahan ini terjadi mungkin disebabkan berlakunya proses pertukaran kation Ca^{2+} dengan Na^+ , di mana natrium mungkin disumbang oleh air laut melalui sungai semasa air pasang. Selain daripada itu perubahan fasies air tanah kawasan bergerak menuju peningkatan kandungan natrium dan klorida. Sementara sampel air telaga yang terletak dalam jejari pengaruh kerucut surutan (KUH 17B dan KUH 19C) adalah dari jenis campuran. Sampel air dari telaga pengeluaran di Nenasi pula bergerak menuju kepada jenis campuran. Pada Ogos 2000 atau semasa pengepaman secara besar-besaran telah dihentikan di Tanjung Batu, fasies air tanah tidak lagi banyak berubah kecuali sampel air dari loji Nenasi telah bertukar kepada jenis campuran. Fasies air tanah tidak banyak berubah apabila pengepaman air tanah dikurangkan disebabkan terdapatnya imbuan air tanah baru yang diterima semasa pemulihan paras air tanah.

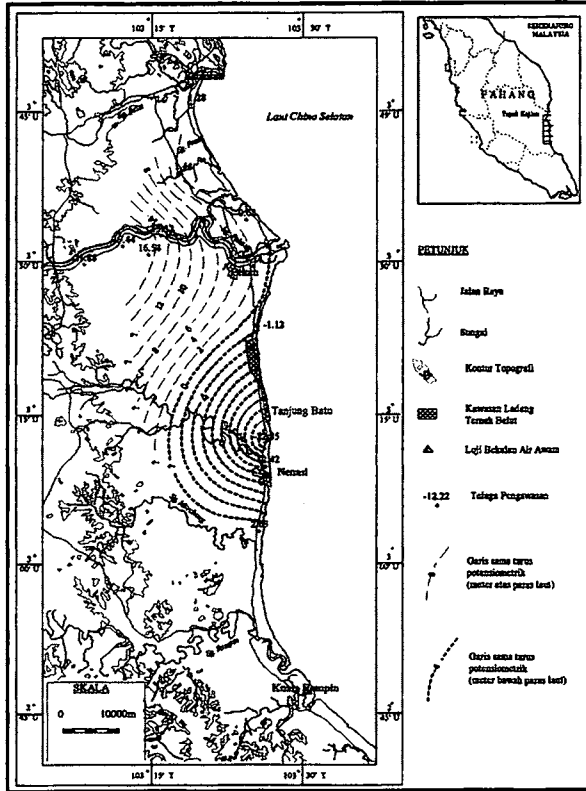
Perubahan kimia atau kualiti air tanah bagi telaga-telaga yang terletak di dalam jejari pengaruh kerucut surutan berlaku disebabkan oleh susupan air payau dari bahagian atas akuifer air tawar semasa kejatuhan paras potensiometrik



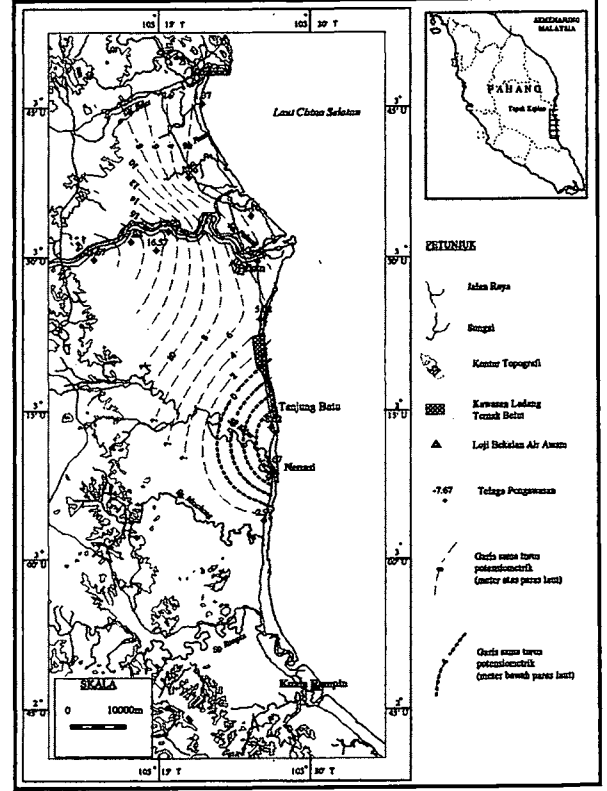
Rajah 3. Graf perubahan paras air tanah dan parameter pilihan (klorida dan keberkonduksian) di dalam telaga pengeluaran, Loji Air Nenasi, Pekan, Pahang.



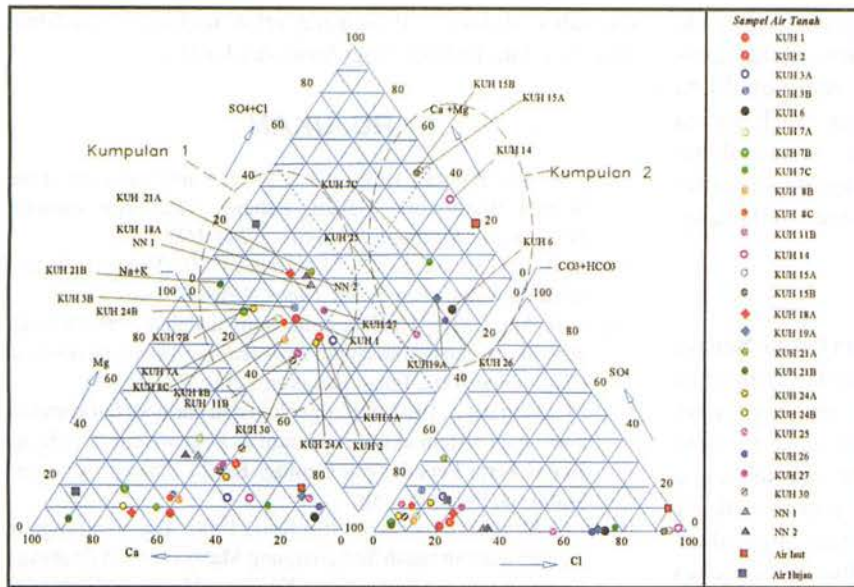
Rajah 4a. Peta permukaan potensiometrik akuifer terkekang (September 1993).



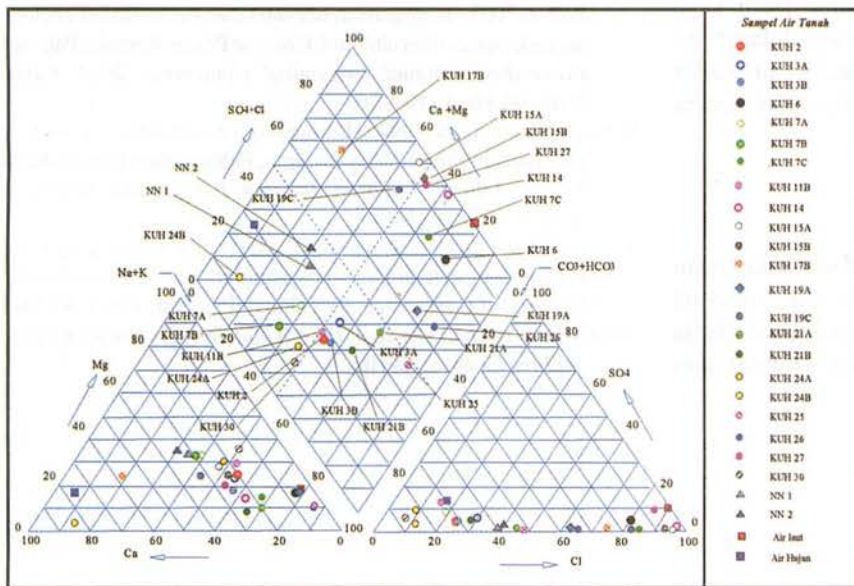
Rajah 4b. Peta permukaan potensiometrik akuifer terkekang (September 1996).



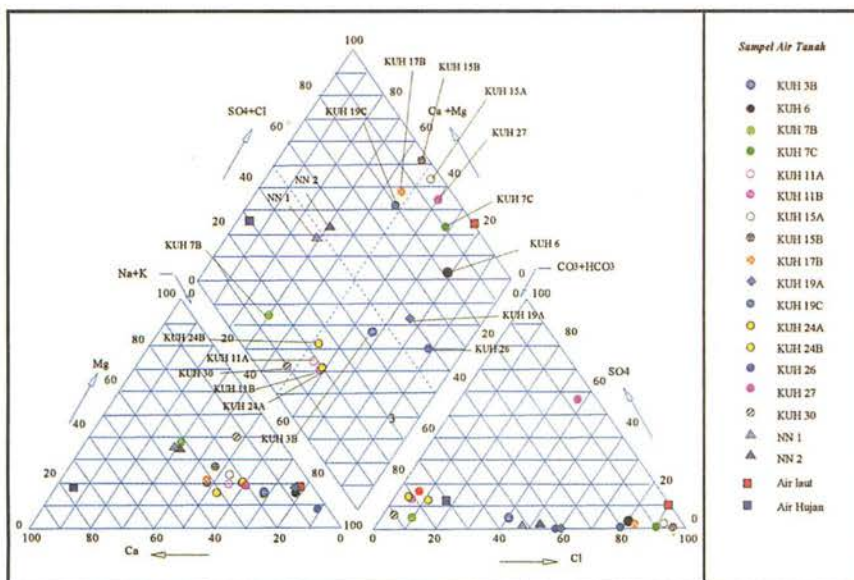
Rajah 4c. Peta permukaan potensiometrik akuifer terkekang (Ogos 2000).



Rajah 5a. Gambarajah trilinear mewakili analisis kualiti air pada September 1993.



Rajah 5b. Gambarajah trilinear mewakili analisis kualiti air pada September 1996.



Rajah 5c. Gambarajah trilinear mewakili analisis kualiti air pada Ogos 2000.

air tanah bagi akuifer terkekang. Oleh yang demikian pada kawasan ini kimia air tanah yang ditunjuk adalah jenis campuran. Keadaan ini juga akan menyebabkan peningkatan kandungan klorida dalam air tanah secara berterusan seperti yang berlaku di loji air Nenasi akibat kebocoran akuifer air payau. Oleh yang demikian akuifer kedua ini boleh dianggap sebagai akuifer separa terkekang.

KESIMPULAN

Kesan pengepaman air tanah di kawasan Pekan-Nenasi, Pahang telah menyebabkan peningkatan kadar kemasinan dalam akuifer air tawar. Kajian kimia air tanah yang dijalankan telah mengenalpasti punca masalah tersebut adalah disebabkan berlakunya kebocoran akuifer air payau ke dalam akuifer air tawar apabila paras piezometrik air tanah jatuh akibat kerja-kerja pengepaman yang dijalankan. Kesan pengepaman air tanah tersebut juga telah menyebabkan berlakunya perubahan fasies hidrokimia akuifer aluvium pantai ini kepada air yang lebih kaya dengan natrium dan klorida. Maklumat yang didapati ini juga telah dapat memberi gambaran awal perlakuan akuifer aluvium pantai apabila sumber tersebut diterokai secara tidak terkawal.

PENGHARGAAN

Ribuan terima kasih diucapkan kepada kakitangan Institut Penyelidikan dan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT) yang banyak membantu dalam pelaksanaan kerja lapangan tersebut serta kepada Jabatan Mineral dan

Geosains Malaysia, Ipoh yang telah memberi maklumat dan data-data hidrogeologi kawasan kajian.

RUJUKAN

- ABDUL RASHID BACHIK, 1990. Groundwater investigation at the Nenasi Waterwork, Pekan, Pahang. *Laporan Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia, GPH 2/90*.
- ASHRAF ABDULLAH AND SAIFUL MAHADHIR, 1993. Villagers face of dried up wells. *New Strait Times*, 8 April.
- CHE AZIZ ALI, 2001. Evolusi delta Sungai Pahang: Bukti-bukti permukaan dan bawah tanah. *Proceedings Annual Geological Conference 2001*, Pulau Pangkor, Perak, 27–32.
- ISMAIL C. MOHAMAD, 1994. Hidrogeologi dan permodelan aliran air tanah bagi sistem akuifer aluvium di Pekan-Nenasi, Pahang. Kertas kerja Persidangan Geologi Ke-25, Jabatan Kajibumi Malaysia, Pulau Pinang.
- ISMAIL C. MOHAMAD DAN ANG NUM KIAT, 1996. Laporan program pengawasan air tanah Semenanjung Malaysia 1995 (Pahang). *Laporan Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia, GPH 2/96*.
- ISMAIL C. MOHAMAD, ABD. RAHIM SAMSUDIN DAN ABD. GHANI MD. RAFEK, 2001. Penggunaan bersama data geofizik dan geologi dalam kajian akuifer aluvium, kawasan Pekan-Rompin, Pahang. *Proceedings Annual Geological Conference 2001*, Pulau Pangkor, Perak, 197–203.
- SAFEEEN BAHARUDDIN, 1994. Hidrogeologi dan prospek air tanah di kawasan aluvium Nenasi-Rompin, Pahang dan Mersing-Kota Tinggi, Johor. *Laporan Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia, GPH 1/94*.
- UMAR HAMZAH, 2001. Penganggaran sekitaran sedimen di delta Pahang dengan teknik seismos pantulan. *Proceedings Annual Geological Conference 2001*, Pulau Pangkor, Perak, 87–90.
- WORLD HEALTH ORGANISATION, 1983. *Guidelines for drinking water quality*. Geneva: WHO.