

ABSTRACT

Groundwater contamination is a serious issue because it depletes fresh groundwater resources. Groundwater resources in coastal areas are susceptible to seawater intrusion given its close proximity to sea. Seawater intrusion can induce salinity, which affects groundwater resources and agriculture activities along coastal areas. This situation becomes more severe in island coastal areas as the primary water resources are mainly from freshwater lenses. This study aims to assess the impact of seawater intrusion into groundwater aquifer and agriculture activities in island coastal areas. Groundwater salinity in a Malaysian island coastal area was assessed by using a geo-electrical-and-geochemical integrated technique in combination with surface and subsurface hydrogeology study. The effect of groundwater salinity on the agricultural cultivations, especially of oil palm plants, has not been examined previously.

The integrated technique was applied to the coastal area of Carey Island in Selangor, Malaysia, which is the biggest island in Malaysia whose inhabitants cultivate oil palm plants as a major income source. A large part of the island (the west and south areas) is near the Straits of Malacca and is thus exposed to seawater intrusion, which can deteriorate the quality of the fresh groundwater aquifer. A subsurface hydrogeology study revealed that the aquifer system in Carey Island consists of semi-confined and unconfined aquifer systems. The unconfined aquifer (sandy material) was located at the edge of Carey Island (near the sea). The amount of total dissolved solids (TDS) in groundwater of unconfined aquifer in the east was twice that in groundwater in the west. Groundwater chemistry, conductivity, and time lapse electrical resistivity tomography measurements showed that groundwater in this area was affected by seawater. The integrated technique established the relationship between subsurface resistivity and geochemistry and generated an empirical equation. Three groundwater salinity degree were identified,

namely, fresh ($\rho_e > 10.0 \Omega.m$), brackish ($3.0 \Omega.m < \rho_e < 10.0 \Omega.m$), and saline ($\rho_e < 3.0 \Omega.m$). The freshwater lens thicknesses in the mid-east and mid-west areas, which were located alongside one another laterally in 3-D resistivity slice images, varied. Freshwater in the mid-west area was 30 m deep except in the mangrove reserve area, whereas freshwater in the mid-east was only 10 m deep. The 3-D conductivity slice images also revealed a difference in groundwater salinity levels between the mid-east and mid-west areas. The obtained conductivity values of 31 m (mid-west) and 14 m (mid-east) were unsuitable for oil palm plantation. Groundwater in the study area may no longer be suitable for oil palm plantation in the 21st century based on predictions regarding local sea-level increase and the Ghyben-Herzberg assumption. The groundwater salinity variation between the east and west is attributed to contrasts in surface elevation, land cover and drainage distribution system. These contrasts contributed to the difference in seawater intrusion effect on each area. The integration technique successfully classified oil palm suitability by using TDS values as follows: TDS < 5,300 mg/L is suitable; 5,300 mg/L < TDS < 12,000 mg/L is moderately suitable; and TDS > 12,000 mg/L is unsuitable. The integration technique successfully determined the impact of seawater intrusion into groundwater aquifer and oil palm cultivation affected by groundwater salinity. This technique can also be used to determine the effect of groundwater salinity on other socioeconomic activities in coastal areas.

ABSTRAK

Pencemaran airbumi adalah suatu isu yang serius kerana ia boleh menyebabkan kekurangan sumber air tawar dalam sistem airbumi. Sumber airbumi di kawasan persisiran pantai amat terdedah kepada penerobosan air masin disebabkan kedudukannya yang begitu hampir dengan air laut. Penerobosan air masin akan meningkatkan kemasinan yang mana akan memberi kesan kepada sumber airbumi dan seterusnya aktiviti pertanian di kawasan persisir pantai. Kesan ini akan menjadi lebih ketara pada sumber airbumi bagi sebuah pulau yang mana sumber air tawar adalah dari lensa air tawar. Matlamat kajian ini adalah untuk menentukan kesan rejahan air masin terhadap akuifer airbumi dan aktiviti pertanian di kawasan persisir pantai. Penilaian kemasinan airbumi di kawasan persisir pantai di Malaysia dilakukan dengan menggunakan teknik berintegrasi geo-elektrik dan geokimia dibantu dengan kajian permukaan dan sub-permukaan hidrogeologi. Kajian tentang kesan kemasinan airbumi terhadap aktiviti pertanian terutama sekali penanaman kelapa sawit belum pernah dilakukan sebelum ini.

Teknik integrasi ini akan dijalankan di persisir pantai Pulau Carey, Selangor, Malaysia, yang mana merupakan pulau yang terbesar di Malaysia dan penduduknya menjalankan aktiviti pertanian kelapa sawit sebagai sumber pendapatan utama. Sebahagian besar pulau ini (kawasan barat dan selatan) adalah berdekatan dengan Selat Melaka dan terdedah kepada penerobosan air laut, yang mana menyebabkan kemerosotan kualiti air tawar dalam sistem airbumi. Kajian sub-permukaan hidrogeologi menunjukkan sistem akuifer airbumi di Pulau Carey terdiri daripada kedua-dua sistem akuifer separa terkurung dan tak terkurung. Sistem akuifer tak terkurung (tanah berpasir) terletak di hujung Pulau Carey (berdekatan dengan laut). Kandungan jumlah pepejal terlarut dalam akuifer tak terkurung di sebelah timur adalah dua kali ganda berbanding dengan airbumi di kawasan barat. Kandungan kimia airbumi, pengukuran konduktiviti dan pengukuran sela masa

keberintangan elektrik tomografi menunjukkan airbumi di kawasan ini telah terjejas oleh air laut. Teknik integrasi tersebut telah menerbitkan hubungan antara kerintangan sub-permukaan dan geokimia dan menjana persamaan empirikal. Tiga jenis darjah kemasinan airbumi telah ditentukan, iaitu, tawar ($\rho_e > 10.0 \Omega.m$), payau ($3.0 \Omega.m < \rho_e < 10.0 \Omega.m$), dan masin ($\rho_e < 3.0 \Omega.m$). Ketebalan kanta air tawar di kawasan pertengahan-timur dan pertengahan-barat, yang mana terletak bersebelahan antara satu sama lain secara sisi dalam imej kerintangan 3-D, adalah berbeza. Air tawar di kawasan pertengahan-barat adalah pada kedalaman 30 m kecuali di kawasan rizab bakau, manakala air tawar di kawasan pertengahan-timur hanya pada kedalaman 10 m. Imej kekonduksian 3-D juga menunjukkan perbezaan dalam tahap kemasinan airbumi di antara kawasan pertengahan-timur dan pertengahan-barat. Nilai kekonduksian yang diperolehi pada 31 m (pertengahan-barat) dan 14 m (pertengahan-timur) adalah tidak sesuai untuk penanaman kelapa sawit. Airbumi di kawasan kajian mungkin tidak lagi sesuai untuk penanaman kelapa sawit di abad ke-21 berdasarkan ramalan mengenai peningkatan paras laut tempatan dan andaian Ghyben-Herzberg. Perubahan kemasinan airbumi antara timur dan barat adalah disebabkan perbezaan dalam ketinggian permukaan, penggunaan tanah dan sistem saliran perparitan. Perbezaan ini menyumbang kepada perbezaan dalam kesan penerobosan air laut di kawasan masing-masing. Teknik integrasi ini mengklasifikasikan kesesuaian kelapa sawit dengan menggunakan nilai-nilai TDS seperti berikut: TDS < 5,300 mg/L sesuai; 5,300 mg/L < TDS < 12,000 mg/L adalah sederhana sesuai dan TDS > 12,000 mg/L tidak sesuai.

Teknik integrasi ini telah berjaya menentukan kesan penerobosan air laut ke atas akuifer airbumi dan penanaman kelapa sawit yang terkesan akibat kemasinan airbumi. Teknik ini juga boleh digunakan untuk menentukan kesan kemasinan airbumi kepada aktiviti sosioekonomi lain di kawasan persisir pantai.