

Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Kajian Fluktuasi Muka Air Tanah dan Karakteristik Akuifer di Kecamatan Denpasar Barat

NI LUH AYU DANA LESTARI
NI MADE TRIGUNASIH*)
WIYANTI

Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Udayana
Jl. PB. Sudirman Denpasar Bali 80231

*)Email: trigunasih@unud.ac.id

ABSTRACT

The Application of Geographic Information System (GIS) for Study of Groundwater Fluctuations and Characteristics of Aquifers at West Denpasar District

Communities that have not been served by PDAM as much as 47.62%, use ground water to fulfill their clean water needs. The purpose of this study was to determine the distribution of dug wells, distribution of groundwater surface, fluctuations, flow direction and characteristics of aquifers in West Denpasar Subdistrict. This research was carried out by descriptive quantitative method. Analysis was carried out from survey data by using ArcGIS software. The results showed that the highest number of dug wells was found in Pemecutan Klod Village (31,25%). Groundwater surface depth in the dry season was 84.38% classified into 0-5 m class and in the rainy season 90.63% also classified as 0-5 m class too. Almost all of the southern West Denpasar Subdistrict has 0-5 m fluctuations. Groundwater in the West Denpasar Subdistrict is predicted to flow to the South, Southeast and Southwest. There are two types of aquifers in West Denpasar Subdistrict that is shallow aquifers and deep aquifers. Shallow aquifers are at 2-20 m depth with a maximum thickness of 18 m and are composed of passive and breccia material. Deep aquifers are found at 12-24 m depths with a minimum thickness of 12 m and are composed of passive and tufa material. It is estimated that both types of aquifers are good aquifers.

Keywords: Groundwater, Groundwater Surface, Aquifer, Fluctuation, GIS

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok yang diperlukan manusia yang memegang peranan penting dalam terlaksananya suatu aktifitas maupun produksi. Oleh karena itu ketersediaan sumber air, baik air permukaan maupun air tanah harus mampu mencukupi kebutuhan-kebutuhan tersebut (Saputra, 2016). Kecamatan

Denpasar Barat terletak pada Daerah Cekungan Air Tanah Denpasar-Tabanan. Saat ini CAT Denpasar-Tabanan telah mengalami perubahan dan mendapat perhatian akibat banyaknya penggunaan air tanah.

PDAM Denpasar sampai saat ini hanya mampu melayani 52,38% masyarakat (PDAM Kota Denpasar, 2018). Masyarakat Kecamatan Denpasar Barat yang belum terlayani, menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Kondisi tersebut akan menyebabkan meningkatnya pengambilan air tanah yang mungkin menyebabkan terjadinya penurunan muka air tanah. Untuk mempermudah analisis dan penyajian data secara keruangan atau spasial, diperlukan penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG).

SIG merupakan suatu sistem yang berbasis geografis sehingga dapat menghasilkan data informasi yang unggul dalam menjawab pertanyaan berupa lokasi, kondisi, trend, pola dan permodelan. Berdasarkan permasalahan di atas, maka penulis melakukan penelitian dengan judul aplikasi sistem informasi geografis (SIG) untuk kajian terhadap fluktuasi muka air tanah dan karakteristik akuifer di Kecamatan Denpasar Barat. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan mampu menyajikan data-data terkait akuifer dan kedalaman muka air tanah dan menjadi pertimbangan untuk mengoptimalkan pemanfaatan air tanah.

2 Metode Penelitian

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Wilayah Kecamatan Denpasar Barat, Kota Denpasar, Provinsi Bali. Penelitian dilaksanakan sejak bulan November 2018 sampai dengan Maret 2019.

2.2 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Hand Global Positioning System* (GPS) Garmin Montana akurasi 3m, kamera, tali meteran, *software* ArcGIS 10.3.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000, Peta Hidrogeologi Bali dengan skala 1:250.000, Data litologi sumur, Citra Satelit Resolusi Tinggi *Quickbird* tahun Kecamatan Denpasar Barat tahun 2015 dan data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) dresolusi 0,27 *arcsecond*.

2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode deskriptif kuantitatif, penelitian ini difokuskan pada penggambaran mengenai fluktuasi kedalaman muka air tanah, arah aliran air tanah, dan karakteristik akuifer yang ada di wilayah Kecamatan Denpasar Barat. Data yang digunakan dikumpulkan dengan teknik survei. Penentuan titik sampel atau lokasi wawancara dilakukan dengan metode *purposive sampling*.

2.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Studi Pustaka

Studi pustaka atau studi literatur merupakan salah satu metode pengumpulan data yang dilakukan dengan mengkaji atau mempelajari informasi atau data-data untuk memperoleh landasan teori serta meningkatkan pemahaman mengenai permasalahan yang akan diteliti.

3.4.2 Persiapan

Persiapan dilakukan sebelum mengambil data primer dan sekunder ke lapangan. Adapun persiapan yang dilakukan adalah dengan menentukan lokasi titik sampel pada wilayah Kecamatan Denpasar Barat dan persiapan alat dan bahan yang diperlukan

3.4.3 Pengumpulan Data

a. Pengumpulan Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung di lapangan. Data primer dikumpulkan dengan melakukan observasi atau pengamatan di lapangan dan wawancara. Pengamatan yang dilakukan meliputi pengambilan kordinat lokasi sumur penduduk dengan menggunakan GPS serta pengukuran kedalaman muka air tanah dengan mengukur kedalaman sumur dengan cara memasukkan tali hingga menyentuh permukaan air sumur untuk kemudian diukur dengan meteran.

Wawancara dilakukan dengan penduduk yang sumurnya diamati, untuk memperoleh informasi-informasi terkait dengan fluktuasi muka air pada sumur yang diamati. Kegiatan dilakukan pada dua musim yakni musim kemarau dan musim penghujan.

b. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data-data terkait yang diperoleh dari berbagai instansi terkait. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data bor tanah untuk mengetahui kondisi litologi tanah.

2.4.4 Input Data

Data yang telah diperoleh dari pengamatan di lapangan dan wawancara selanjutnya dikumpulkan dan dilakukan *input* data di computer.

2.4.5 Pengolahan dan Analisis Data

Analisis spasial dilakukan terhadap kedua data, baik data primer maupun data sekunder. Data primer berupa data kedalaman muka air tanah (MAT) dianalisis secara spasial sehingga akan menghasilkan peta sebaran sumur gali, dan peta kondisi MAT pada musim hujan dan musim kemarau. Analisis terhadap kedalaman Muka Air Tanah dilakukan dengan melakukan klasifikasi terhadap tingkat kedalaman MAT kedalam lima kelas interval pada setiap periode pengamatan. Penentuan nilai kelas interval

dilakukan dengan memperhatikan data MAT di seluruh wilayah Kota Denpasar yang kemudian dikelompokkan menjadi 5 kelas dengan interval 5.

Berdasarkan analisis tersebut dapat dilakukan analisis lanjutan untuk mengetahui nilai fluktuasi yang terjadi pada kedua musim dengan mengurangi kedalaman MAT hujan dengan kedalaman MAT kemarau menggunakan aplikasi *raster calculator* pada *Map Algebra ArcMap ArGIS*. Visualisasi secara 3D dilakukan dengan menganalisis data kedalaman MAT hujan dan kemarau pada Aplikasi *ArcScene ArcGIS*. Penentuan prediksi arah aliran air tanah diperoleh dengan metode manual yakni *three point problem* serta secara langsung pada ArcMap, dalam analisis ini diperlukan data kontur air tanah yang diperoleh dari pengurangan kontur permukaan (dari DEMNAS) dengan data kedalaman MAT.

Data sekunder berupa data boring tanah Kecamatan Denpasar Barat dan Peta Hidrogeologi Bali dianalisis dengan menasabahkan data yang ada sesuai dengan jenis batuan (litologi) yang sama, sehingga akan diperoleh kelas-kelas tertentu yang selanjutnya diprediksikan sebagai akuifer.

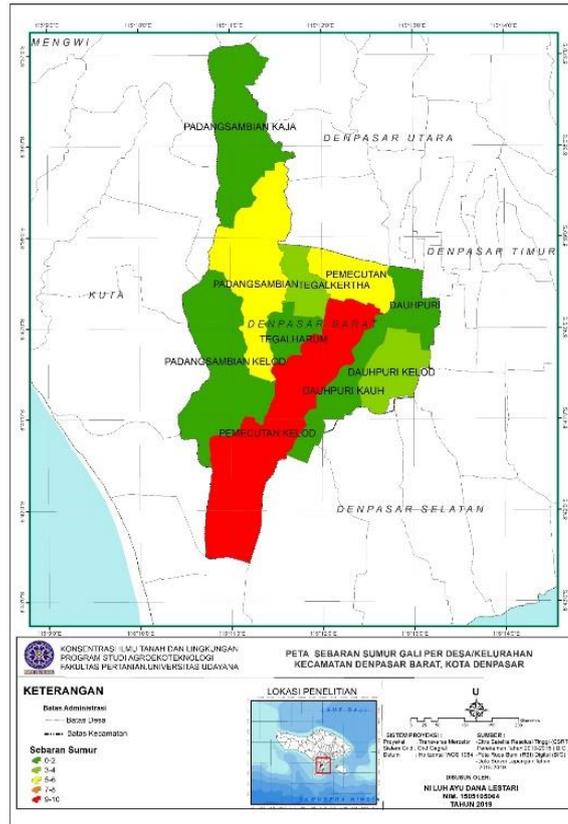
Hasil penasabahan data litologi tersebut selanjutnya dikaji lebih lanjut karakteristik berupa jenis lapisan penyusun, ketebalan dan debit masing-masing lapisan yang diduga adalah akuifer di Kecamatan Denpasar Barat. Berikut merupakan bagan alur penelitian ini, untuk mempermudah pemahaman terkait dengan metode penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sebaran Kedalaman Muka Air Tanah di Kecamatan Denpasar Barat

Jumlah sumur gali terbanyak berada di wilayah Desa Pemecutan Kelod sebanyak 10 sumur atau 31,25% dari jumlah keseluruhan yang ditemukan di Kecamatan Denpasar Barat. Jumlah sumur gali terendah yang dapat ditemukan berada di wilayah Desa Padangsambian Kaja dan Dauh Puri Kauh dengan jumlah sumur masing-masing 1 sumur atau 3,125%. Sementara itu, tiga dari sebelas Desa/Kelurahan di Kecamatan Denpasar Barat yakni Desa Padangsambian Klod, Dauh Puri Kangin, dan Tegal Harum tidak ditemukan adanya sumur gali. Sebaran sumur gali per Desa/Kelurahan disajikan pada Gambar 1.

Sebaran sumur gali yang tidak merata pada masing-masing Desa/Kelurahan di Kecamatan Denpasar Barat sebagian sudah ditutup karena tidak dipergunakan lagi oleh masyarakat. Sebagian besar pemilik sumur sampel mengatakan bahwa sumur gali tersebut sudah tidak dapat digunakan karena kualitas air yang semakin buruk, mengingat sumur gali merupakan air tanah dangkal yang kualitas dan kuantitasnya sangat bergantung pada kondisi lingkungan sekitarnya. Selain itu, penutupan sumur gali dilakukan juga karena sudah adanya layanan PDAM yang menawarkan kondisi air yang lebih baik.



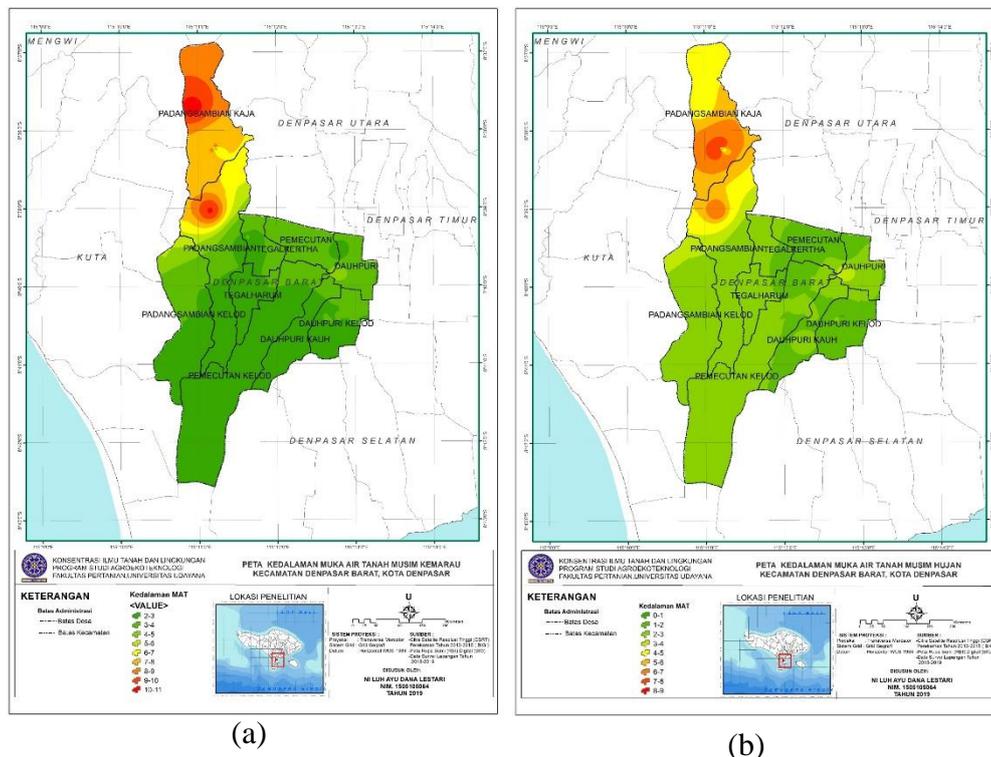
Gambar 1. Peta Sebaran Sumur Gali per Desa di Kecamatan Denpasar Barat

4.1.2 Sebaran Kedalaman Muka Air Tanah (MAT) pada Musim Kemarau di Kecamatan Denpasar Barat

Kedalaman MAT pada musim kemarau di Kecamatan Denpasar Barat sebanyak 84,38% tergolong ke dalam kelas 0-5 m dengan kedalaman antara 2,18 – 4,85 m. Kelas 5-10 m sebanyak 9,38% dan 6,25% sisanya merupakan kelas 10-15 m dengan kedalaman 8,81-10,44 m. Kedalaman MAT di Kecamatan Denpasar Barat sebagian besar tergolong kedalam kategori 0-5 m. Kedalaman MAT terdalam berada di wilayah bagian Utara dan semakin ke Selatan semakin dangkal. Beberapa Desa/Kelurahan yang memiliki lebih dari satu kelas kedalaman MAT. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya perbedaan kondisi lingkungan, litologi batuan, jenis akuifer, tingkat pemompaan dan lain sebagainya. Faktor yang diperkirakan paling berpengaruh adalah elevasi atau ketinggian posisi sumur gali sampel tersebut. Muka air tanah relatif datar, pada sumur yang memiliki elevasi tempat yang lebih tinggi akan memiliki kedalaman MAT yang lebih dalam. Hasil Interpolasi dengan kelas interval 1 m menunjukkan bahwa daerah bagian Selatan cenderung memiliki kedalaman MAT yang lebih dangkal dibandingkan dengan wilayah di bagian Utara. Apabila hasil interpolasi tersebut dilaskan dengan interval 5 dapat diketahui bahwa lebih dari 50% wilayah Kecamatan Denpasar Barat memiliki kedalaman MAT kelas 0-5 m, sisanya memiliki kedalaman MAT kelas 5-10 m dan 10-15 m. Hasil interpolasi disajikan pada Gambar 3.

4.1.3 Kondisi Kedalaman Muka Air Tanah (MAT) pada Musim Hujan di Kecamatan Denpasar Barat

Kedalaman MAT pada musim hujan di Kecamatan Denpasar Barat tergolong ke dalam kelas 0–5 m sebanyak 90,63%. Kelas 5 – 10 m sebanyak 9,38%. MAT kelas 5-10 m berada di Desa Padangsambian Kaja, Padangsambian dan Dauh Puri. MAT kelas 0-5 m tersebar pada hampir semua Desa/Kelurahan di Kecamatan Denpasar Barat. Data sebaran kedalaman MAT tersebut selanjutnya diinterpolasi untuk mengetahui kedalaman MAT secara keseluruhan. Hasil interpolasi MAT musim hujan disajikan pada Gambar 2. Hasil interpolasi MAT musim hujan dengan interval 1 m menunjukkan daerah bagian Selatan memiliki MAT yang lebih dangkal dibandingkan di wilayah di bagian Utara. Jika hasil interpolasi tersebut dikelaskan dengan interval 5 maka dapat diketahui bahwa lebih dari 50% wilayah Kecamatan Denpasar Barat memiliki kedalaman MAT kelas 0-5 m, dan sisanya memiliki kedalaman MAT kelas 5-10 m. Kedalaman MAT terdalam berada di wilayah bagian Utara dan semakin dangkal pada wilayah bagian Selatan. Hal tersebut sesuai dengan kontur Denpasar Barat yang lebih tinggi di bagian Utara. Air tanah umumnya datar, sehingga pada sumur yang berlokasi pada elevasi tinggi, kedalaman MATnya akan lebih dalam. Selain itu Denpasar merupakan daerah luahan (*discharge area*) yang dapat menyebabkan kedalaman MAT akan cenderung stabil.



Gambar 2. Peta Hasil Interpolasi Kedalaman MAT; (a) Musim Kemarau dan (b) Musim Hujan

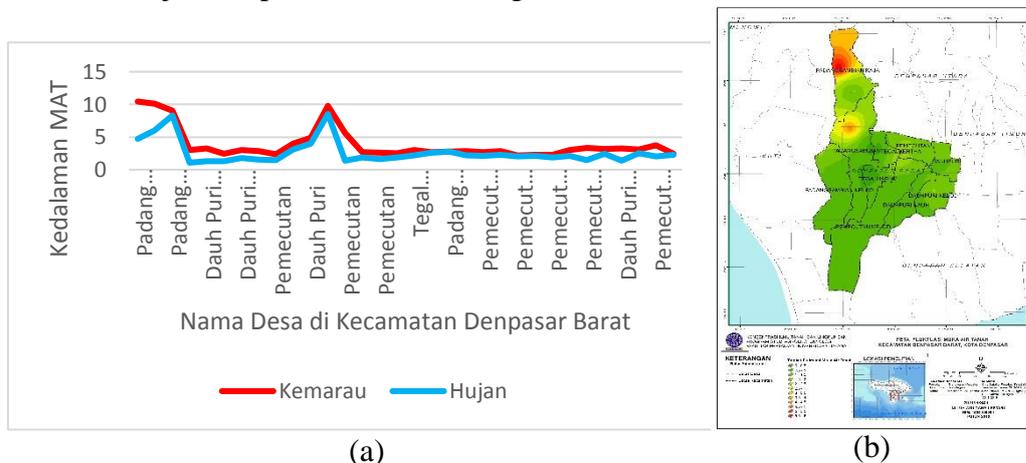
4.2 Fluktuasi Muka Air Tanah dan Prediksi Arah Aliran Air Tanah di Kecamatan Denpasar Barat

4.2.1 Fluktuasi Muka Air Tanah di Kecamatan Denpasar Barat

Nilai fluktuasi MAT yang terjadi dapat diketahui melalui perhitungan selisih kedalaman MAT pada musim kemarau dan musim hujan. Grafik Fluktuasi MAT dan fluktuasi MAT Kecamatan Denpasar Barat secara spasial disajikan pada Gambar 4a. Berdasarkan Gambar 3a. dapat diketahui bahwa sebagian besar fluktuasi pada MAT di Kecamatan Denpasar Barat sebagian besar terjadi antara 0,01 hingga 2 m. Fluktuasi tertinggi terjadi pada muka air tanah (MAT) di Desa Padangsambian Kaja, Padangsambian dan Pemecutan dengan fluktuasi mencapai 4-5 m.

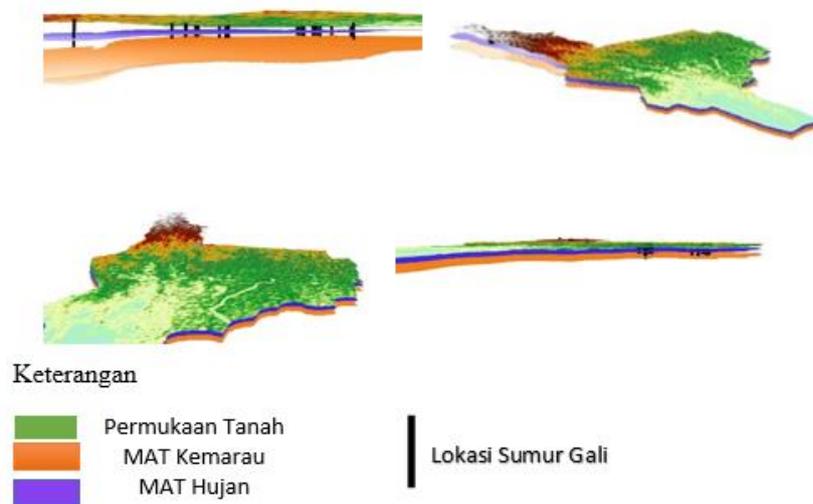
Sesuai dengan Gambar 3b hasil analisis dengan interval 0,5 m dapat diketahui bahwa sebagian besar wilayah Kecamatan Denpasar Barat memiliki tingkat fluktuasi yang relatif rendah. Fluktuasi tertinggi terjadi pada wilayah bagian Utara Kecamatan Denpasar Barat. Jika interval kelas ditingkatkan menjadi 5 m maka dapat diketahui bahwa Denpasar Barat sebagian besar memiliki fluktuasi 0-5 m. Fluktuasi kategori 5-10 m terdapat pada daerah Desa Pemecutan, Tegal Kertha, serta sebagian daerah Desa Padangsambian dan Padangsambian Kaja. Fluktuasi tertinggi yakni 10-15 m terdapat pada daerah Desa Padangsambian Kaja.

Perbedaan tingkat fluktuasi yang terjadi dapat disebabkan oleh adanya perbedaan tingkat penggunaan atau pemanfaatan air sumur gali (sampel) dan tutupan lahan di sekitar sumur gali. Tingkat fluktuasi rendah terjadi pada daerah-daerah padat permukiman. Ketika musim hujan, serapan air ke dalam tanah baik berupa infiltrasi maupun perkolasi tidak akan sebanyak yang terjadi pada lahan terbuka seperti sawah, tegalan. Selain itu, tingkat fluktuasi yang rendah di sebagian besar wilayah Kecamatan Denpasar Barat juga dapat disebabkan oleh lokasi yang merupakan daerah luhan (*discharge area*) yang mana kondisi air tanahnya cenderung stabil. Hal tersebut menyebabkan kedalaman muka air tanah pada musim hujan dan musim kemarau tidak akan menunjukkan perbedaan secara signifikan.



Gambar 3. (a) Grafik Fluktuasi MAT dan (b) Peta Fluktuasi MAT di Kecamatan Denpasar Barat

Fluktuasi kelas 10-15 yang terjadi di bagian Utara wilayah Kecamatan Denpasar Barat dapat disebabkan oleh faktor lokasi sumur gali yang terletak pada elevasi tertinggi. Fluktuasi yang terjadi di Kecamatan Denpasar Barat dapat disajikan secara tiga dimensi dengan menggunakan aplikasi *ArcScene* pada *software ArcGIS*. Visualisasi 3D fluktuasi MAT merupakan penggambaran akuifer secara tiga dimensi sehingga memperjelas tampilan dari tingkat MAT tersebut. Dalam penelitian ini visualisasi 3D fluktuasi MAT dilakukan dengan memvisualisasikan kedalaman MAT pada dua musim dan di gabungkan dengan data DEM sehingga diperoleh tampilan yang mudah dipahami. Adapun Visualisasi 3D Fluktuasi MAT Kecamatan Denpasar Barat Disajikan pada Gambar 4.

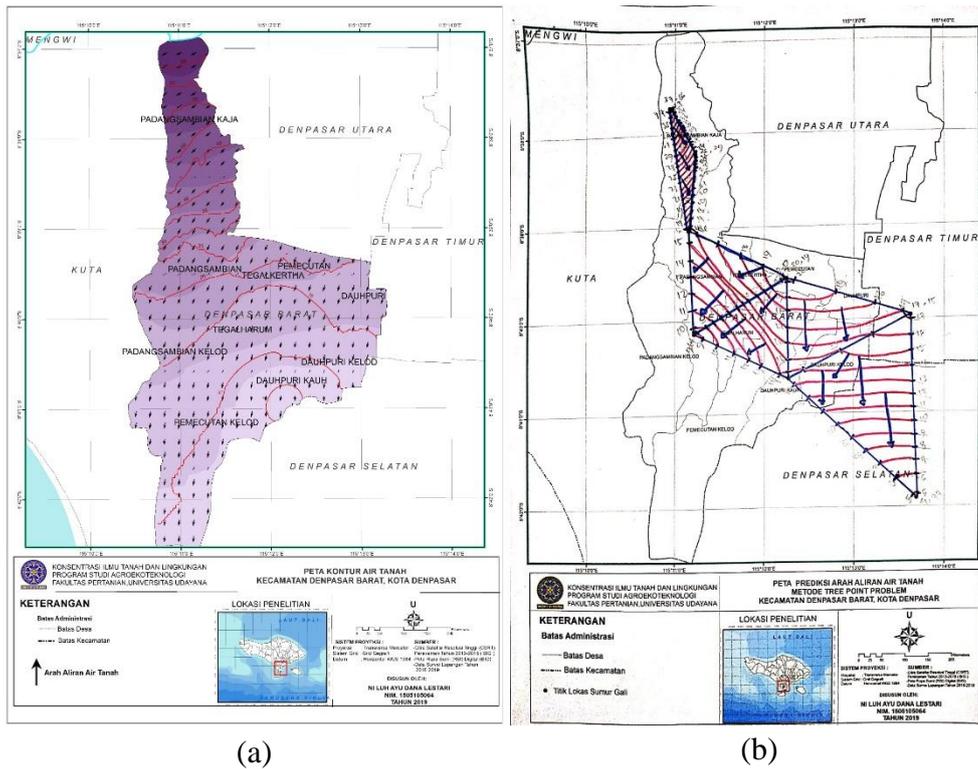


Gambar 4. Hasil Visualisasi 3D Fluktuasi MAT Kecamatan Denpasar Barat

4.2.2 *Prediksi Arah Aliran Air Tanah Kecamatan Denpasar Barat*

Dalam penelitian ini peta prediksi arah aliran air tanah diperoleh melalui dua cara yakni secara manual menggunakan metode *three point problem* (Todd, 1959) dan analisis menggunakan *software ArcGIS*. Peta prediksi arah aliran air tanah di Kecamatan Denpasar Barat disajikan pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5. air tanah di Kecamatan Denpasar Barat diprediksikan mengarah ke Selatan, Tenggara dan Barat Daya jika dianalisis secara manual. Pada hasil analisis menggunakan *software ArcGIS* air tanah diprediksikan mengalir menuju arah Selatan. Arah tersebut merupakan arah yang menuju laut. Chevbotarev (1995) menyimpulkan bahwa selama proses perjalanan, air tanah cenderung berubah secara perlahan dari hulu ke hilir dan mengarah pada komposisi kimia air laut. Hal tersebut juga sesuai dengan kontur air tanah di Kecamatan Denpasar Barat yang mana kontur tertinggi berada di bagian Utara wilayah Kecamatan Denpasar Barat dan semakin rendah ke arah Selatan.



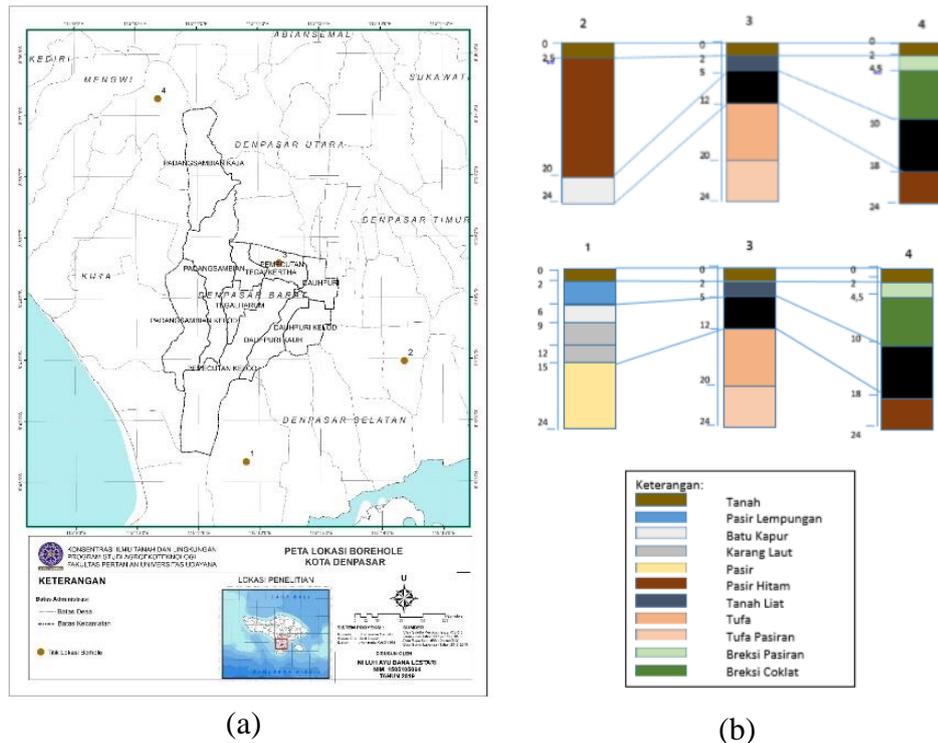
Gambar 5. Peta Prediksi Arah Aliran Air Tanah; (a) Hasil Analisis Software ArcGIS dan (b) Hasil Analisis Dengan Metode *Three Point Problem*

3.3 Karakteristik Akuifer di Kecamatan Denpasar Barat

Karakteristik akuifer sangat dipengaruhi oleh batuan penyusunnya. Batuan penyusun suatu akuifer dapat diketahui dari data boring tanah. Data *borehole* yang terdapat di Kecamatan Denpasar Barat hanya terdapat di satu lokasi yakni di Desa Pemecutan, sehingga untuk melakukan penasabahan digunakan tiga titik lokasi yang berada di Dalung, Pemogan dan Renon. Lokasi *borehole* dan Hasil Penasabahan litologi disajikan pada Gambar 6a dan 6b. Pada penasabahan *borehole* 2-3-4 (Renon, Pemecutan dan Dalung) dari arah tenggara menuju barat laut dapat diketahui tersusun atas perlapisan akuifer dangkal, akuiklud dan akuifer dalam. Akuifer dangkal menyempit dari *borehole* 2 ke 3 dan melebar kembali menuju *borehole* 4. Lapisan akuifug tersusun atas batu kapur dan lempung. Lapisan akuifer dalam yang melebar dari *borehole* 2 ke 3 dan menyempit menuju *borehole* 4. Pada penasabahan *borehole* 1-3-4 (Pemogan, Pemecutan dan Dalung) yang mengarah dari selatan menuju barat daya, dapat dilihat adanya perlapisan akuifer dangkal, lapisan akuiklud dan akuifer dalam dengan pola serupa.

Sesuai dengan hasil penasabahan tersebut dapat diketahui bahwa akuifer dangkal dapat ditemukan pada kedalaman 2-20 m dengan ketebalan mencapai 18 m, sedangkan akuifer dalam dijumpai pada kedalaman 12 hingga lebih dari 24 m dengan ketebalan minimum 12 m. Material penyusun dari akuifer dangkal adalah berupa pasir hitam, pasir berlempung dan breksi dan pada akuifer dalam tersusun atas material

pasiran dan tufa. Material jenis ini merupakan jenis batuan penyusun yang memiliki kemampuan yang baik dalam menjadi media pembawa air. Dalam hal ini kemampuan menyimpan serta mengalirkan air sangat baik, sehingga lapisan akuifer dangkal yang terbentuk juga diprediksikan baik. Hal ini sebanding dengan hasil analisis fluktuasi MAT yang rendah dan hampir sama di seluruh bagian wilayah Kecamatan Denpasar Barat. Terdapatnya lapisan pembawa air yang baik, akan menyebabkan kondisi atau kandungan air dalam tanah stabil, dalam hal ini fluktuasi akan cenderung rendah.



Gambar 6. (a) Peta Lokasi *Borehole* Kota Denpasar dan (b) Hasil Penasabahan Litologi Penyusun Akuifer

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Sumur Gali tersebar tidak merata di Kecamatan Denpasar Barat, jumlah sumur gali terbanyak ditemukan di Desa Pemecutan Klod (31,25%). Kedalaman MAT pada musim kemarau di Kecamatan Denpasar Barat sebanyak 84,38% tergolong ke dalam kelas 0-5 m dan tersebar di Desa Dauh Puri Kauh, Pemecutan, Pemecutan Kelod, Tegal Kertha serta di beberapa bagian Desa lainnya. Kedalaman MAT pada musim hujan di Kecamatan Denpasar Barat sebanyak 90,63% tergolong ke dalam kelas 0-5 m dan tersebar pada hampir semua Desa/Kelurahan di Kecamatan Denpasar Barat. Hampir seluruh wilayah Denpasar Barat bagian selatan memiliki fluktuasi kelas 0-5 m. Air tanah di Kecamatan Denpasar Barat diprediksikan mengarah ke Selatan, Tenggara dan Barat Daya jika dianalisis secara manual. Pada hasil analisis menggunakan *software*

ArcGIS air tanah diprediksikan mengalir menuju arah Selatan. Terdapat dua jenis akuifer di Kecamatan Denpasar Barat yaitu akuifer dangkal dan akuifer dalam. Akuifer dangkal terdapat pada kedalaman 2-20 m dengan ketebalan maksimum 18 m dan tersusun atas maerial pasiran dan breksi. Akuifer dalam ditemukan pada kedalaman 12-24 m dengan ketebalan minimum 12 m dan tersusun atas material pasiran dan tufa. Diperkirakan kedua jenis akuifer tersebut merupakan akuifer yang baik.

4.2 Saran

Diperlukan adanya pembuatan daerah resapan air baik berupa sumur resapan, biopori dan lain sebagainya pada daerah padat penduduk, mengingat daerah resapan air di Kecamatan Denpasar Barat sangat sedikit. Selain itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik akuifer lainnya seperti permeabilitas (kemampuan meloloskan air), daya simpan air, debit air tanah dan sebagainya sehingga dapat menguatkan serta menyempurnakan hasil penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Chevbotarev, I. I. 1955. *Metamorphism of Natural Water in the Crust of Weathering*. Geochim. Cosmochim. Acta
- Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Denpasar. 2017. *Tingkat Pelayanan Atas Penduduk PDAM Kota Denpasar*
- Suyarto, R. 2012. *Kajian Akifer di Kecamatan Denpasar Barat Provinsi Bali*. Jurnal Bumi Lestari, Vol. 12 (1) : 162 – 166
- Todd, D.K.. 1959. *Groundwater Hydrology*. University of California, Berkeley : John Wiley and Sons, New York