

Analisis Pola Aliran dan Kuantitas Air Tanah Dangkal di Kota Madiun

Setya Nugraha^{1*}, Sirojudin Alfahmi², Hadi Wiwit Hendro Cahyono³

¹ Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret, Kota Surakarta, Indonesia 57126

^{2,3} Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Universitas Sebelas Maret, Kota Surakarta, Indonesia 57126

Received: February 21, 2023 **Published:** March 27, 2023

Abstract

The increasing physical development and decreasing water infiltration areas have led to a reduction in groundwater reserves. Groundwater is experiencing a decline both in quantity and quality over time. The rising demand for water is inversely proportional to the diminishing availability of water in terms of quality. This situation also implicates a decrease in the quantity of groundwater. Integrated protection and management efforts must be carried out from upstream to downstream, one of which can be achieved through groundwater conservation. Therefore, the aim of this research is to understand the shallow groundwater flow patterns in the city of Madiun. This study conducted an inventory, identification, and mapping of the area to determine the criticality of shallow groundwater in terms of quantity using the shallow groundwater flow pattern analysis method. The results of the analysis generally indicate that the direction of shallow groundwater flow in the city of Madiun, in the eastern areas of the Madiun River, flows from south to north, while in the western areas of the Madiun River, it flows from west to east, all ultimately leading towards the Madiun River.

Keywords: *Groundwater, Quantity of groundwater, Groundwater direction*

Abstrak

Bertambahnya bangunan fisik dan berkurangnya daerah resapan air membuat cadangan air tanah semakin sedikit. Air tanah semakin hari mengalami penurunan dari segi kuantitas maupun kualitas. Meningkatnya kebutuhan air berbanding terbalik dengan ketersediaan air yang terus menurun dari sisi kualitas. Kondisi tersebut juga berimplikasi pada berkurangnya kuantitas air tanah. Upaya perlindungan dan pengelolaan secara terpadu harus dilakukan dari hulu ke hilir, salah satunya dapat dilakukan dengan konservasi airtanah. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola aliran airtanah dangkal di Kota Madiun. Penelitian ini melakukan inventarisasi dan identifikasi serta pemetaan wilayah guna mengetahui kekritisan air tanah dangkal terkait dengan kuantitasnya menggunakan metode analisis pola air tanah dangkal. Hasil analisis menunjukkan Secara umum arah aliran air tanah dangkal di Kota Madiun, pada daerah di sebelah timur Sungai Madiun mengalir dari selatan menuju utara, sedangkan daerah di sebelah barat Sungai Madiun mengalir dari barat ke timur, yang semua arahnya menuju ke Sungai Madiun.

Kata kunci: *Air tanah, Kuantitas air tanah, Pola aliran.*

PENDAHULUAN

* **Corresponding author:** setya.nug@gmail.com

Cite this as: Nugraha, S., Alfahmi, S., & Cahyono, H. W. (2023, March). Analisis Pola Aliran dan Kuantitas Air Tanah Dangkal di Kota Madiun. *Enviro: Journal of Tropical Environmental Research*, 25(1), 52-65.
doi: <https://doi.org/10.20961/enviro.v25i1.78749>

Permasalahan lingkungan hidup dari waktu ke waktu semakin kompleks dan beragam. Isu lingkungan hidup merupakan salah satu isu nasional dan telah menjadi isu global yang memerlukan penanganan secara serius (Rosyada et al., 2021). Berbagai data dan kajian menunjukkan bahwa permasalahan lingkungan hidup di Indonesia semakin meningkat dan tidak menunjukkan gejala penurunan (Nisa, 2020). Kondisi geografis, geologis, geomorfologis, klimatologis dan juga demografis menjadi faktor munculnya berbagai permasalahan lingkungan hidup di Indonesia (Hasan, 2023).

Air merupakan bagian dari lingkungan hidup yang semakin hari semakin mengalami penurunan, baik kuantitas maupun kualitas (Widiyanto et al., 2015). Lebih dari 80% bumi terdiri dari air, tetapi hanya 2% yang dianggap sebagai air tanah yang dipakai oleh seluruh penduduk bumi sebagai pemenuhan kebutuhan primer, selebihnya merupakan lautan dan air permukaan (Octonovrilna et al., 2009). Air tanah merupakan kebutuhan yang amat penting bagi kehidupan, tetapi kondisi yang ada saat ini, telah terjadi ketidakseimbangan antara ketersediaan air yang cenderung menurun dan kebutuhan air yang semakin meningkat (Nurhasanah et al., 2021). Hal ini dikarenakan perubahan tata guna lahan dan peningkatan jumlah penduduk dengan berbagai macam aktivitasnya. Secara siklus hidrologi, akan semakin banyak mengalami pergeseran yang semula air hujan, memasok (*recharge*) air tanah berubah menjadi aliran permukaan (*runoff*), sehingga memperbesar debit banjir (Darwis, 2018). Akuifer air tanah pasokannya semakin berkurang, sehingga kapasitas air tanah untuk mencukupi kebutuhan manusia akan semakin menurun (Sos, 2019). Untuk memenuhi kebutuhan air rakyat, pengelolaan sumber daya air harus dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi sosial, lingkungan hidup, dan ekonomi. Ini akan memungkinkan kerja sama dan keterpaduan antarwilayah, sektor, dan generasi (Oktavia, 2020). Dampak pemanfaatan air tanah dapat menyebabkan kekeringan, penurunan permukaan tanah atau amblesan (*subsidence*) dan intrusi air laut (untuk wilayah pesisir) (Marfai, 2018).

Sumberdaya airtanah, kebedaannya dapat dibedakan airtanah dangkal (air tanah yang terdapat pada akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan) dan airtanah dalam (air tanah air yang terdapat pada akuifer tertekan) (Ronodirdjo, 2019). Keberadaan air tanah tersebut untuk wilayah di Kota Madiun dan sekitarnya termasuk Cekungan Air Tanah (CAT) Ngawi-Ponorogo yang mempunyai potensi debit air tanah bebas $Q_1 = 1.547 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$ dan air tanah tertekan $Q_2 = 66 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Kota Madiun sebagai pusat pertumbuhan, perkembangan dan perubahan serta sebagai pusat kegiatan ekonomi, sosial, budaya, politik dan berbagai aktivitas manusia akan selalu mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Bertambahnya pembangunan fisik kota akan mengakibatkan berkurangnya daerah resapan air akibat hutan kayu yang telah berubah menjadi "hutan beton" oleh manusia (Octonovrilna et al., 2009). Fenomena berkurangnya daerah resapan air akan mengakibatkan berkurangnya cadangan air tanah yang dimiliki Kota Madiun. Air hujan yang tidak terserap oleh tanah akan menjadi air larian atau air limpasan (*run off*). Munculnya *run off* menimbulkan dua masalah yaitu terjadi genangan atau banjir lokal dan yang kedua adalah tidak terserapnya air ke dalam tanah. Kedua permasalahan tersebut mengerucut menjadikan berkurangnya kuantitas air tanah di Kota Madiun. Selain permasalahan *run off* terdapat permasalahan yang lain yaitu penggunaan Air Tanah dalam jumlah besar dan tidak terkontrol, mengakibatkan cadangan Air Tanah di Kota Madiun semakin berkurang.

Upaya perlindungan dan pengelolaan yang terpadu harus dilakukan dari hulu ke hilir dan di lakukan lintas bidang, sehingga tercipta sinergi yang sistematis dalam mengelola sumber daya air yang ada di Kota Madiun. Upaya tersebut salah satunya dapat dilakukan dengan konservasi airtanah. Konservasi airtanah dilaksanakan salah satunya melalui pengendalian penurunan kuantitas airtanah Penentuan zona konservasi airtanah dapat dilakukan dengan sistematis, terarah dan berkelanjutan diperlukan data terkait dengan kondisi air tanah yang meliputi kuantitas di Kota Madiun. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola aliran airtanah dangkal di Kota Madiun. Penelitian ini melakukan inventarisasi dan identifikasi serta pemetaan wilayah guna mengetahui kekritisian air tanah dangkal terkait dengan kuantitasnya.

METODE PENELITIAN

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data menjadi penting, karena data yang digunakan dalam penelitian harus akurat dan relevan karena data tersebut baik data primer maupun data sekunder akan digunakan sebagai penunjang penelitian yang akan dilakukan. Data sekunder didapat secara langsung dari beberapa sumber seperti dinas atau instansi pemerintah. Sedangkan untuk data primer yang digunakan diperoleh melalui observasi secara langsung, pengukuran, wawancara, dan pencatatan. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Observasi dan Pengukuran

Observasi lapangan adalah observasi yang dilakukan terhadap objek di tempat kejadian atau tempat berlangsungnya peristiwa sehingga observer berada bersama objek yang diteliti.

2. Wawancara

Metode pengumpulan data yang dikenal sebagai wawancara melibatkan tanya jawab yang dilakukan secara sistematis dan berdasarkan tujuan penelitian. Pertanyaan yang diajukan kepada responden disesuaikan dengan pertanyaan-pertanyaan dalam bentuk kuisioner. Peneliti dan responden akan berinteraksi secara langsung melalui wawancara.

3. Dokumentasi

Metode dokumentasi merupakan pencarian data mengenai hal-hal atau variabel yang berupa catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, notulen rapat, lengger, agenda, dan sebagainya (Arikunto, 1997: 206). Contoh dokumentasi yang digunakan adalah perolehan data dari catatan, dokumen, dan peta.

Analisis Pola Air Tanah Dangkal

Hasil pengukuran ketinggian muka air tanah dangkal selanjutnya akan dipetakan untuk mengetahui pola persebaran dan arah aliran airnya. Terdapat beberapa langkah untuk mengetahui pola aliran air tanah dangkal, yaitu:

1. Interpolasi Ketinggian Muka Air Tanah Dangkal untuk membentuk Peta Kontur Air Tanah Dangkal

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui (Pramono 2008). Nilai diestimasikan pada area yang tidak diukur atau disampel dalam pemetaan disebut interpolasi, yang menghasilkan peta atau sebaran nilai di seluruh area. (Gamma Design Software, 2005). Kesalahan (*error*) pasti terjadi selama interpolasi. Kesalahan ini dapat berasal dari kesalahan dalam metode pengambilan sampel data, kesalahan dalam pengukuran, atau kesalahan dalam analisis laboratorium.

Salah satu metode interpolasi permukaan, atau interpolasi permukaan, *Inverse Distance Weighting* (IDW) adalah teknik interpolasi yang digunakan. Prinsip titik inputnya dapat berupa titik pusat plot yang tersebar secara acak atau tersebar merata. Nilai atribut pada titik-titik yang tidak disampel dihitung menggunakan kombinasi linier nilai sampel dan ditimbang oleh fungsi terbalik dari jarak antar titik. Metode bobot *inverse distance*, juga dikenal sebagai IDW, juga dikenal sebagai jarak tertimbang terbalik. (Hayati, 2012).

Metode ini menggunakan rata-rata data sampel, nilainya tidak boleh lebih rendah atau lebih tinggi dari rata-rata. Akibatnya, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat dilihat dari hasil interpolasi model (Watson & Philip, 1985). Menurut Ashraf et al. (1997) dikatakan bahwa teknik inversi jarak jauh cukup

baik untuk menebak nilai contoh di suatu lokasi. Titik sampel yang digunakan cukup rapat, sehingga metode Interpolasi IDW lebih bagus hasilnya. Menurut Pramono (2008) jika sampel data jarang dan tidak merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai dengan yang diinginkan, sampel data harus rapat dengan variasi lokal untuk mendapatkan hasil yang baik.

2. Pemetaan Arah Aliran Air Tanah

Penentuan arah aliran air tanah dangkal dilakukan berdasarkan peta kontur tinggi muka air tanah dangkal Kota Madiun. Arah aliran air tanah dangkal ini digambarkan dengan menarik garis tegak lurus yang mengikuti kontur elevasi muka air tanah. Arah menarik ini bergerak dari kontur tertinggi menuju kontur yang lebih rendah. Pada kondisi akuifer yang homogen dan isotropis, aliran air tanah secara alami memotong kontur air tanah secara tegak lurus (90 derajat) dan bergerak dari elevasi muka air tanah (*hydraulic head*) tinggi ke elevasi muka air tanah yang lebih rendah.

Analisis Kuantitas Air Tanah Dangkal

Kapasitas tampungan air atau kapasitas *storage* dihitung menggunakan metode Mock. Perhitungan ini digunakan untuk simulasi operasi bendung dan irigasi untuk pemanfaatan air. Metode Mock, yang dibuat khusus untuk menghitung sungai-sungai di Indonesia, adalah salah satu metode yang digunakan. Metode ini bergantung pada sejumlah faktor, termasuk curah hujan, evapotranspirasi, keseimbangan air di permukaan tanah, dan kandungan air tanah.

1. Evapotranspirasi Terbatas

- a. Curah hujan bulanan (P) dalam milimeter dan jumlah hari hujan (n) pada bulan tersebut.
- b. Evapotranspirasi terbatas didefinisikan sebagai evapotranspirasi aktual berdasarkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah, serta frekuensi hujan.

$$E = Ep \times \frac{d}{30} \times m \dots\dots\dots (1)$$

Dengan:

- E = perbedaan antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas.
- Ep = evapotranspirasi potensial
- D = jumlah hari kering atau tanpa hujan dalam 1 bulan
- m = prosentase lahan yang TAK tertutup vegetasi, ditaksir dari peta tata guna tanah
 - 0 % untuk lahan dengan hutan lebat
 - 0 % pada akhir musim hujan, dan bertambah 10 % setiap bulan kering untuk lahan dengan hutan sekunder - 10 - 40 % untuk lahan yang tererosi
 - 30 - 50 % untuk lahan pertanian yang diolah (sawah/ladang)

Hubungan ini dapat dibuat berdasarkan karakteristik infiltrasi dan penguapan tanah permukaan, serta frekuensi curah hujan di Indonesia:

$$d = 1,5(18 - n) \dots\dots\dots (2)$$

$$d = 27 - 1,5 n \dots\dots\dots (3)$$

Dengan,

n = jumlah hari hujan dalam sebulan

Sehingga dari kedua persamaan diperoleh:

$$\frac{E}{Ep} = \frac{m}{20} (18 - n) \dots\dots\dots (4)$$

$$Et = Ep - E \dots\dots\dots (5)$$

Dengan,

Et = evapotranspirasi terbatas

- a. Volume air yang masuk ke permukaan tanah disebut sebagai surplus tanah. Soil surplus = (P - Et) - soil storage, dan = 0 jika defisit (P - Et) > dari soil storage.
- b. Volume air pada awal penyimpanan disebut juga dengan initial storage. Ditaksir berdasarkan kondisi musim, sehingga musim hujan dapat sebanding dengan kapasitas air tanah dan lebih sedikit dari pada musim kemarau.

2. Keseimbangan Air di Permukaan Tanah

- a. Curah hujan yang mencapai permukaan:

$$ds = P - Et \dots\dots\dots(6)$$

Harga positif bila P > Et, air masuk kedalam tanah

Harga negatif bila P < Et, sebagian air tanah akan keluar, terjadi defisit.

- b. Perubahan kandungan air tanah, *soil storage* (ds) = selisih antara *Soil Moisture Capacity* bulan sekarang dengan bulan sebelumnya. *Soil moisture capacity* ini ditaksir berdasarkan kondisi porositas lapisan tanah atas dari *catchment area*. Biasanya ditaksir 60 s/d 250 mm, yaitu kapasitas kandungan air dalam tanah per m2. Jika porositas tanah lapisan atas tersebut makin besar, maka *soil moisture capacity* akan makin besar pula.

3. Debit dan Storage Air Tanah

- a. Koefisien infiltrasi (I) ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran.
- b. Lahan yang porous maka infiltrasi akan besar, lahan yang terjal dimana air tidak sempat terinfiltrasi ke dalam tanah maka koefisien infiltrasi akan kecil. Besarnya koefisien infiltrasi lebih kecil dari 1 (satu).

Rumus-rumus storage air tanah:

$$V_n = KV_{n-1} + \frac{1}{2} (1 + k) l_n \dots\dots\dots(7)$$

Dengan

- V_n = Volume air tanah,
- k = q_t/q = faktor resesi aliran air tanah,
- Q = aliran air tanah pada waktu t (bulan ke t),
- q₀ = aliran air tanah pada awal (bulan ke 0),
- kV_n = V_n - V_{n-1},
- kV_n = Perubahan volume aliran air tanah,
- V_n = Volume air tanah bulan ke n,
- V_{n-1} = Volume air tanah bulan ke (n-1).

Perhitungan kapasitas storage dengan keandalan 80% mengikuti tahapan:

Analisis *basic year* diuraikan sebagai berikut.

- Hasil perhitungan rerata tahunan kapasitas storage.
- Urutkan data tersebut dari besar ke kecil.
- Hitung probabilitasnya dengan rumus:

$$P = \frac{m}{(n+1)} \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

Dengan,

- P = probabilitas kejadian (%)
- m = nomor urut data
- n = jumlah data dalam analisis (bulan)

atau dengan rumus:

$$Q80 = \bar{x} - 0,842Sd \dots\dots\dots (9)$$

Dengan,

\bar{x} = rata-rata data

Sd = standart deviasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Fisik Air Tanah Dangkal

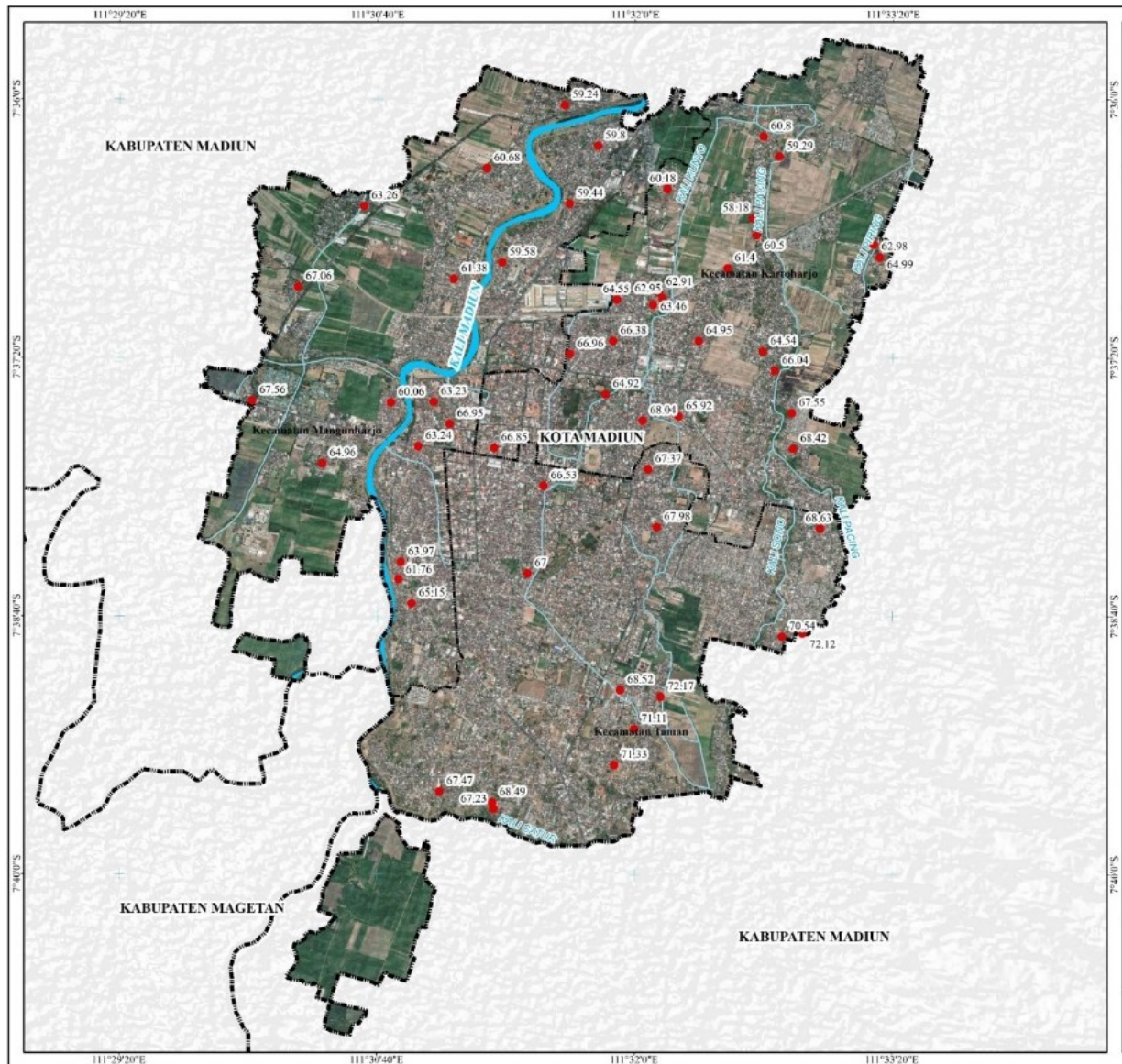
Lokasi Sumur Air Tanah Dangkal

Pengukuran sumur air tanah dangkal dilakukan di seluruh kecamatan yang ada di Kota Madiun. Sumur air tanah yang digunakan adalah sumur dengan jenis terbuka atau biasa di sebut sumur gali/timba. Penggunaan sumur dengan jenis terbuka dikarenakan pengukuran kedalaman dilakukan dengan metode manual. Sumur yang dilakukan pengukuran adalah berjumlah 61 titik sumur yang tersebar di wilayah:

1. Kecamatan Taman 15 titik sumur,
2. Kecamatan Manguharjo 23 titik sumur dan
3. Kecamatan Kartoharjo 23 titik sumur.

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dari 61 titik sumur ditemukan 6 (enam) titik sumur yang mempunyai kedalaman dasar sumur antara 4,10 m – 7,38 m dari permukaan tanah, telah mengalami kekeringan atau tidak berair, sehingga selama ini tidak difungsikan kembali untuk mencukupi kebutuhan air domestik penduduk. Lokasi sumur yang mengalami kekeringan secara keruangan terdapat di wilayah Kota Madiun sebelah barat Sungai Madiun yang berada di Kelurahan Sogaten, Ngegong dan Winongo. Berdasarkan hasil wawancara dengan warga setempat, diperoleh informasi bahwa kebutuhan air domestiknya menggunakan sumber air dari PDAM dan air isi ulang (galon) khususnya dalam pemenuhan kebutuhan untuk masak dan minum. Hal tersebut dilakukan karena warga merasa kualitas air sumur sudah tidak baik untuk dikonsumsi.

Muka air tanah di Kota Madiun mempunyai ketinggian antara 58,18 mdpl - 72,12 mdpl. Sumur dengan muka air tanah paling tinggi (paling dangkal) berada di titik sumur 7 (pada peta) yaitu sumur milik Ibu Marjuki yang terletak di Jl. Dungus Manis No.9 RT.18 RW. 6, Manisrejo, Kecamatan Taman, sedangkan sumur dengan muka air tanah paling rendah (paling dalam) berada di titik 20 (pada peta) yaitu sumur milik Ibu Sujinah yang beralamatkan di Jl. Tawangarum No.79 RT.02 RW. 01, Tawangrejo, Kecamatan Kartoharjo. Persebaran lokasi sumur yang dilakukan pengukuran ditampilkan pada Gambar 1. Secara garis besar wilayah Kecamatan Taman yang terletak di bagian selatan Kota Madiun memiliki ketinggian muka air tanah yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan dua kecamatan lain yang berada di sebelah utara yaitu Kecamatan Manguharjo dan Kecamatan Kartoharjo



Gambar 1. Peta Lokasi Sumur Air Tanah Dangkal Sebagai Sampel

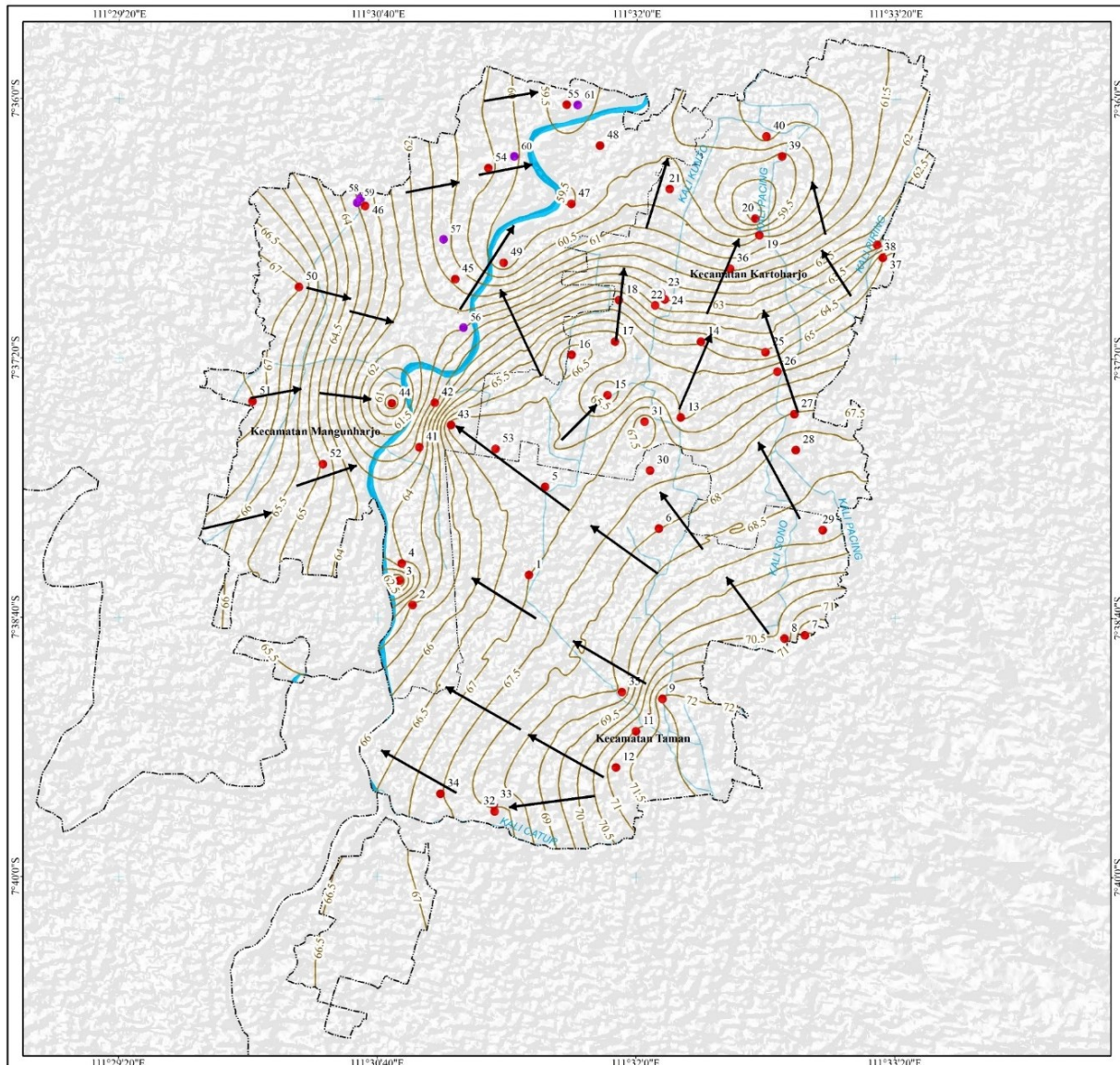
Arah Aliran Air Tanah Dangkal

Tujuan penentuan atau gambaran arah aliran air tanah di Kota Madiun adalah untuk mengetahui pola arah aliran air tanah. Arah aliran air tanah digambarkan dengan garis kontur yang dibuat melalui metode interpolasi yang menggunakan teknik *Inverse Distance Weighting* (IDW). Ketinggian muka air tanah dangkal menentukan pembuatan garis kontur ini. Karena potensial gravitasi, aliran air tanah secara alami mengalir tegak lurus dengan garis kontur air tanah pada kondisi akuifer yang homogen dan isotropis. Ini mengalir dari elevasi muka air tanah (kepala hidrolik) tinggi ke elevasi muka air tanah yang lebih rendah. Gambar 2 menunjukkan arah aliran air tanah di Kota Madiun. Berdasarkan Gambar 2., dapat dilihat bahwa pola arah aliran air tanah di Kota Madiun, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Air tanah di wilayah Kecamatan Taman mengalir dari tenggara ke barat laut dan dimulai di Kelurahan Demangan, Banjarejo, dan Manisrejo. Kemudian mengalir ke Kelurahan Nambangan Kidul dan Nambangan Lor sebelum berakhir di Sungai Madiun. Mulai dari Kelurahan Kejuron, pola air tanah berubah ke arah selatan menuju utara. Gradien hidrolik, atau perbedaan tinggi permukaan air tanah, homogen dan muncul secara bertahap.
2. Sungai di Kecamatan Kartoharjo mengalir dari selatan ke utara, dimulai dari Kelurahan Kartoharjo, Klegen, dan Kanigoro, dan berakhir di Kelurahan Tawangrejo dan Kelun. Gradien hidrolik, atau

perbedaan tinggi permukaan air tanah, berbeda-beda di daerah ini. Daerah selatan memiliki gradien hidrolik yang tinggi, sedangkan daerah utara memiliki gradien hidrolik yang rendah.

3. Ada dua pola aliran air tanah dangkal di wilayah Kecamatan Manguharjo. Yang pertama adalah Sungai Madiun di sebelah barat, mengalir dari barat ke timur dari Kelurahan Ngegong dan Manguharjo ke Kelurahan Winongo, dengan gradien hidrolik yang sedang. Yang kedua adalah Sungai Madiun di sebelah timur, mengalir dari tenggara ke barat laut dan dari selatan ke utara, dengan gradien hidrolik yang tinggi. Gambar 2 menunjukkan arah aliran air tanah dangkal di Kota Madiun.



Gambar 2. Peta Arah Aliran Air Tanah Dangkal

Gambar 2 menunjukkan bahwa Sungai Madiun memiliki pola aliran air tanah yang umum menuju ke sungai. Akibatnya, sungai ini dapat diklasifikasikan sebagai sungai tipe efluen karena ada air tanah yang memberikan air sungai. Hal ini dapat terjadi karena elevasi air sungai lebih rendah dibandingkan dengan elevasi muka air tanah dangkal. Kondisi demikian keberadaan dari Sungai Madiun kurang memberikan pasokan secara langsung terhadap air tanah. Permasalahan kuantitas air tanah di Kota Madiun dapat diindikasikan dari 2 (dua) fenomena yang ditemukan yaitu:

1. Terdapat sumur penduduk yang mengalami kekeringan. Sumur penduduk yang mengalami kekeringan ini mempunyai kedalaman dasar sumur antara 4,10 m – 7,38 m dari permukaan tanah. Lokasi sumur yang mengalami kekeringan secara keruangan, terdapat di sebelah barat Sungai Madiun yang berada di Kelurahan Sogaten, Ngegong dan Winongo Kecamatan

Manguharjo. Kondisi ini dimungkinkan terpengaruh karena penggunaan sibel (pengambilan air tanah dengan pompa air).

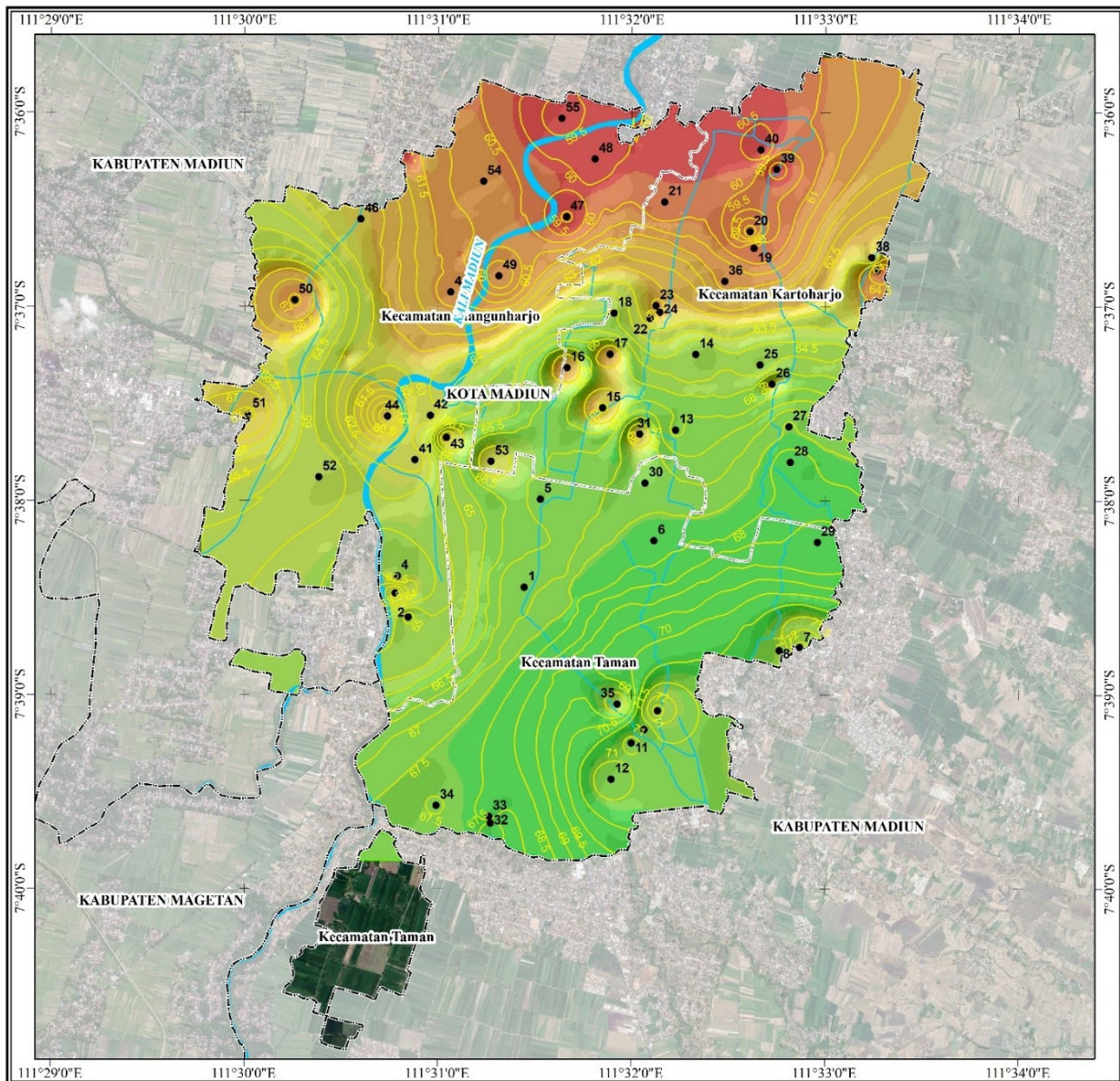
Penggunaan lahan di sebelah utara Kota Madiun, yaitu di Kecamatan Manguharjo dan Kecamatan Kartoharjo di dominasi oleh penggunaan lahan sawah irigasi. Sawah irigasi di lokasi tersebut masih menggunakan air tanah sebagai sumber pengairan utama untuk pertanian, terutama pada saat tidak terjadi hujan. Pengambilan tanah untuk irigasi di Kota Madiun dilakukan dengan menggunakan sumur submersible (sibel) atau sumur pompa.

Keterdapatannya dan kerapatan sumur sibel mempunyai kesamaan atau selaras dengan permasalahan air tanah di Kota Madiun. Ketinggian muka air tanah di sebelah utara Kota Madiun lebih rendah dan di sebelah barat Sungai Madiun terdapat 6 titik sumur sampel mengalami kekeringan, dimana wilayah tersebut terdapat sumur sibel yang cukup banyak. Berdasarkan fenomena tersebut keberadaan sumur sibel di wilayah tersebut diduga berpengaruh terhadap penurunan permukaan air tanah dangkal. Permasalahan ini telah dirasakan di wilayah lain, dengan adanya sumur sibel yang tidak terkendali, mengakibatkan penurunan permukaan air tanah bahkan terjadi kekeringan.

2. Pola Cekungan Air Tanah Dangkal

Cekungan air tanah dangkal merupakan pola arah aliran air tanah yang memusat pada suatu wilayah atau titik tertentu, sehingga permukaan air tanah (*piezometric surface*) membentuk pola penurunan (*drawdown curve*). Kondisi ini dapat terjadi karena pemanfaatan air tanah yang berlebihan, yaitu pengambilan air tanah yang tidak dapat diimbangi dengan pasokan (*recovery*), pada akuifer tersebut. Cekungan tersebut dapat terjadi dalam jangka waktu sementara dan permanen. Secara sementara apabila pengambilan atau pemompaan, dihentikan maka cekungan air tanah tersebut akan menjadi pulih kembali, tetapi apabila pemompaan dihentikan cekungan air tanah tidak mengalami pulih kembali berarti telah terjadi cekungan secara permanen. Cekungan air tanah semakin lebar, menunjukkan bahwa radius terpengaruh semakin luas, sedangkan apabila gradien hidroliknya semakin besar, pengaruh pengambilan air tersebut semakin besar terhadap kondisi air tanah di sekitarnya. Kondisi ini sangat didukung oleh keberadaan batuan yang ada di Kota Madiun berupa materil sedimentasi yang berupa pasir lempungan sehingga pori-pori makro cukup banyak, akibatnya air tanah mudah lepas pada saat dilakukan pemompaan atau karena perbedaan gradien hidroliknya.

Penurunan muka air tanah terjadi di beberapa titik di pusat Kota Madiun. Hal ini mengakibatkan terbentuknya cekungan-cekungan air tanah di Kota Madiun. Ketinggian muka air tanah Kota Madiun di ilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Kontur Muka Air Tanah Dangkal

Berdasarkan Gambar 3., Bisa dilihat bahwa cekungan air tanah di Kota Madiun tersebar di beberapa daerah. Karena topografinya yang datar dan batuan penyusunnya yang terbuat dari alluvium, permukaan air tanah relatif sama pada awalnya, tetapi ketinggiannya berbeda karena penggunaan air oleh manusia. Menggunakan asumsi tersebut maka kejadian cekungan air tanah di Kota Madiun dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu:

1. Cekungan pada Zone Aman (warna hijau)

Zone aman ditunjukkan oleh muka air tanah masih tinggi (± 59 m dpal – ± 86 m dpal) sehingga diperkirakan belum terjadi pengambilan air tanah yang berlebihan dan penurunan muka air tanah masih bersifat sementara. Pola cekungan ini terjadi sumur 9,11,12, dan 35 yang terdapat di Kelurahan Banjarejo Kecamatan Taman.
2. Cekungan pada Zone Sedang (warna kuning/orange)

Zone sedang ditunjukkan oleh muka air mempunyai ketinggian ± 33 m dpal – ± 59 m dpal, sehingga diperkirakan pengambilan air tanah sudah mulai terjadi penurunan muka air tanah secara permanen, walaupun dalam intensitas sedang. Pola cekungan ini terjadi di wilayah:

- a. Kelurahan Kartoharjo dan Klegen Kecamatan Kartoharjo, yang dapat diamati pada sumur 15, 16, 17 dan 31.
- b. Kelurahan Kartoharjo Kecamatan Kartoharjo dan Pangongangan Kecamatan Manguharjo, yang ditunjukkan pada sumur 43 dan 53.

Berdasarkan lokasinya maka zone ini berada di wilayah perkotaan yang telah mempunyai kepadatan penduduk dan bangunan yang tinggi. Kepadatan penduduk yang tinggi menuntut kebutuhan air domestik yang banyak, tetapi berdasarkan hasil wawancara bahwa kebutuhan domestik air bersih untuk penduduk pada wilayah ini sudah banyak ditopong dari sumber air PDAM. Penurunan air tanah tersebut diperkirakan lebih banyak untuk kegiatan industri, perdagangan dan jasa.

3. Cekungan pada Zone Kritis (warna merah)

Zone kritis ditunjukkan ketinggian muka air tanah dangkal < 33 m dpal, sehingga diperkirakan telah terjadi pengambilan air tanah yang berlebihan dan telah terjadi penurunan muka air tanah secara permanen. Pola cekungan ini terjadi di wilayah utara yang terdapat di wilayah:

- a. Kelurahan Madiun Lor Kecamatan Manguharjo yang dapat diperlihatkan pada sumur 47 dan 49.
- b. Kelurahan Tawangrejo Kecamatan Kartoharjo yang ditunjukkan pada sumur 19, 20, 39, dan 40.

Secara umum terjadinya fenomena cekungan-cekungan air tanah ini terjadi karena beberapa faktor, yaitu:

1. Penggunaan air tanah secara berlebihan.

Penggunaan air tanah yang berlebihan terjadi karena proses berkembangnya Kota Madiun. Perkembangan Kota Madiun memicu banyak kegiatan di kota, seperti kegiatan ekonomi, kegiatan pendidikan, bahkan kegiatan pariwisata. Banyaknya aktivitas di pusat Kota Madiun tentunya akan menjadikan penggunaan air tanah yang juga bertambah.

2. Berkurangnya pasokan (recharge) air tanah.

Banyaknya bangunan dan hilangnya kawasan resapan air, mengurangi kemampuan tanah untuk melakukan proses infiltrasi dan perkolasi. Berkembangnya Kota Madiun akan memicu terjadinya pembangunan-pembangunan fisik dalam rangka pemenuhan kebutuhan akan fasilitas bagi masyarakat. Adanya pembangunan secara langsung akan menutupi kawasan yang sebelum terbuka dan dapat meresapkan air ke dalam tanah menjadi lahan yang kedap air. Air yang tidak terserap selanjutnya akan menjadi air larian atau air limpasan. Air limpasan ini dalam skala besar akan menimbulkan banjir lokal di pusat Kota Madiun. Berkurangnya resapan air kedalam tanah akan menghambat proses terciptanya cadangan air didalam tanah.

3. Penggunaan Sibel pada lahan pertanian.

Lokasi wilayah di Kota Madiun untuk di Kecamatan Kartoharjo dan Manguharjo tingkat kepadatan bangunan tidak tinggi dan masih terdapat lahan pertanian yang cukup luas dengan penggunaan sibel untuk mencukupi air pada lahan pertanian, tetapi di daerah tersebut ternyata mempunyai elevasi air tanah yang paling rendah. Berdasarkan fenomena tersebut maka diduga penggunaan sibel berdampak terhadap pengurangan air tanah yang dapat mengakibatkan penurunan muka air tanah bahkan terjadi kekeringan sumur penduduk. Hal ini diperkuat pula berdasarkan hasil wawancara dengan penduduk, yang menjelaskan bahwa tatkala sumur sibel dihidupkan maka elevasi sumur penduduk secara cepat mengalami penurunan.

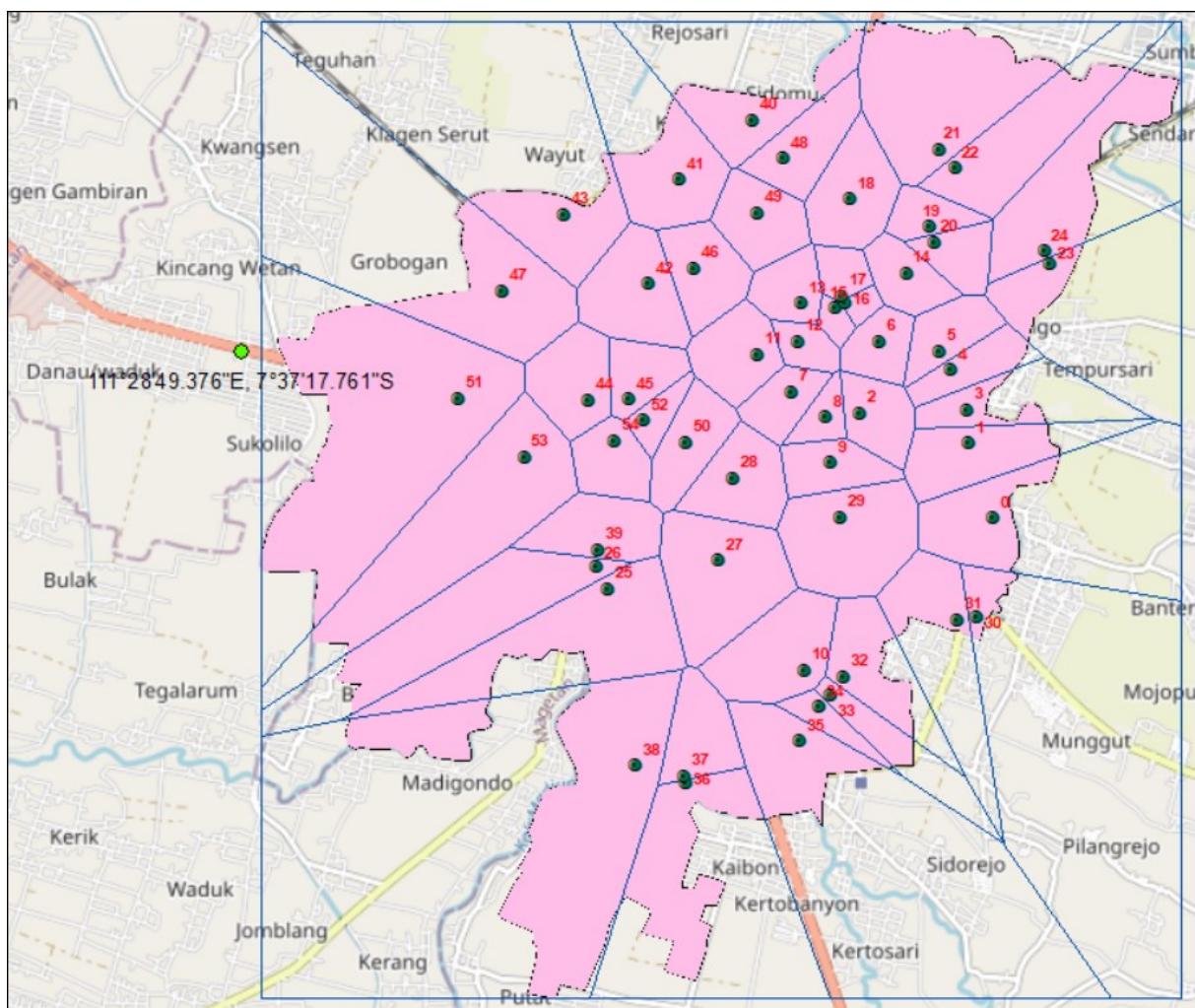
Berdasarkan uraian di atas maka agar terjadi pelaksanaan pembangunan berkelanjutan di Kota Madiun, yang terkait dengan pemanfaatan air tanah maka harus dapat dicegah terjadinya penurunan air tanah dan pembentukan cekungan secara permanen. Terbentuknya cekungan air tanah secara permanen, dalam jangka panjang dapat merubah struktur pada lapisan akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan

(*unconfined aquifer*), bahkan apabila beban di atas permukaan tanah terlalu tinggi dapat mengakibatkan terjadinya amblesan tanah (*subsidence*). Peristiwa ini dapat membentuk cekungan-cekungan lokal pada permukaan tanah sehingga apabila terjadi hujan dapat menyebabkan terjadinya genangan-genangan lokal (banjir lokal).

Kuantitas Air Tanah Dangkal di Kota Madiun

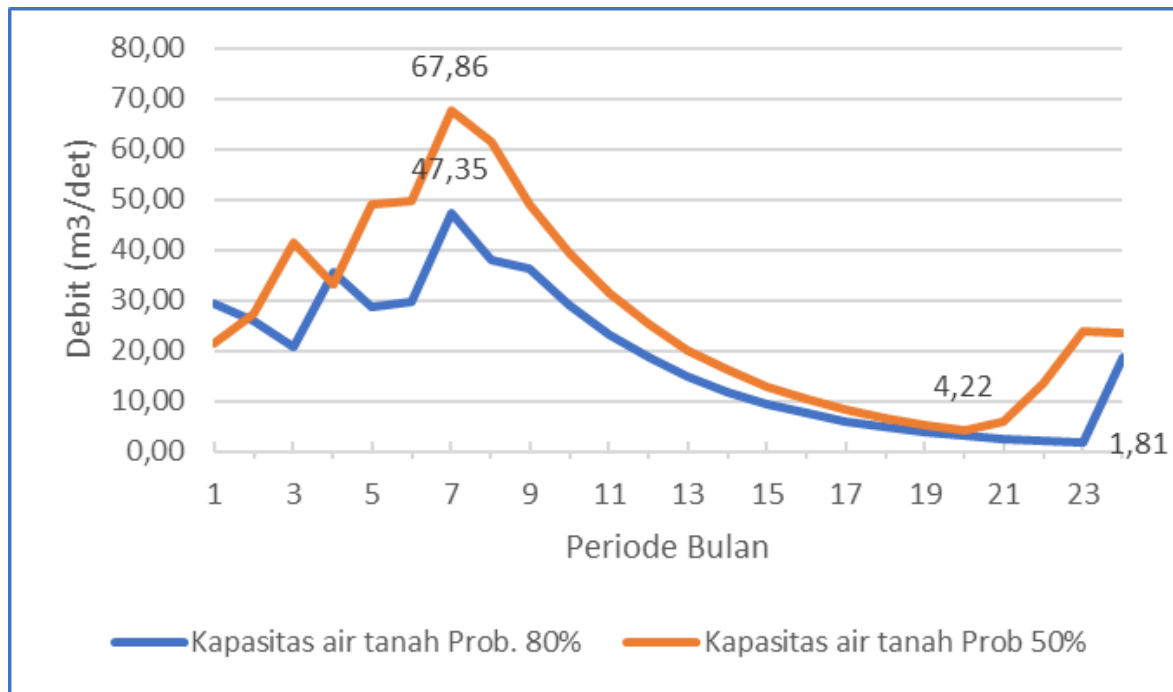
Kuantitas air tanah sangat ditentukan oleh air hujan yang diterima oleh tanah. Masing-masing daerah memiliki karakteristik hujan yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan curah hujan yang berbeda pula di setiap daerah tersebut. Data hujan yang digunakan untuk wilayah Kota Madiun adalah data hujan 25 tahun (1996-2020) pada Stasiun Jiwan dengan koordinat (111°28'49.376" E, 7°37'17.761" S). Dalam analisis ini digunakan data hujan 15 harian (satu bulan ada 2 periode).

Sebaran pengaruh muka air tanah terhadap masing-masing sumur dibuat berdasarkan *polygon Thiessen*, yang diartikan bahwa pengaruh masing-masing sumur terhadap radius sekitar sumur digambarkan dengan poligon. Karakteristik kawasan didalam *polygon* dianggap sama. Sebaran pengaruh muka air tanah terhadap masing-masing sumur digambarkan dalam *polygon* Thiessen yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Sebaran Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Masing-Masing Sumur.

Dengan probabilitas 80% kondisi tertinggi kapasitas storage adalah 70.50 m3/det, pada April periode 1. Sedangkan kondisi terendah adalah 6.52 m3/det pada Desember periode 1. Sedangkan dengan probabilitas 50% kapasitas storage tertinggi adalah 67.86 m3/det pada Maret periode 1. Grafik hasil perhitungan kapasitas storage dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Volume Air Tanah Periode 15 Harian

KESIMPULAN

Secara umum arah aliran air tanah dangkal di Kota Madiun, pada daerah di sebelah timur Sungai Madiun mengalir dari selatan menuju utara, sedangkan daerah di sebelah barat Sungai Madiun mengalir dari barat ke timur, yang semua arahnya menuju ke Sungai Madiun. Dari hasil analisis dengan probabilitas 80% kondisi tertinggi kapasitas storage adalah 70.50 m³/det, pada April periode 1, kondisi terendah adalah 6.52 m³/det pada Desember periode 1. Sedangkan dengan probabilitas 50% kapasitas storage tertinggi adalah 67.86 m³/det pada Maret periode 1. Untuk meningkatkan kuantitas air tanah di Kota Madiun disarankan melakukan hal-hal berikut: (1) Melakukan pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*), dengan pembuatan lubang resapan biopori dan sumur resapan dangkal terutama di wilayah yang telah mengalami cekungan air tanah dangkal; (2) Melakukan penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik atau privat yang berfungsi secara klimatologis dan hidrologis untuk memberikan pasokan air tanah dangkal melalui proses memperbanyak infiltrasi dan perkolasi air hujan yang menjadi air tanah dangkal; dan (3) Melakukan optimalisasi saluran drainase kota yang saat ini telah ada sehingga dapat mengalirkan air dari Sungai Madiun menuju ke wilayah kota terutama pada saat musim kemarau, sehingga dapat menjaga keseimbangan akuifer bebas atau air tanah dangkal pada wilayah terpengaruh dari saluran tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. (1997). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*. Edisi Revisi IV. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Asraf, M., C., L. Jim, K.G. Hubbard. (1997). *Application of Geostatistic to Evaluate Partial Weather Station Network*. J. Agricultural and Forest Meteorology, No.84. Hal 255 - 271.
- Darwis, H. (2018). *Pengelolaan Air Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- Gamma Design Software. 2005. *Interpolation in GS+*. <http://www.geostatistics.com/OverviewInterpolation.html>. 4 November. 2020. 18.25 WIB
- Hasan, A. K. (2023). Pengaruh Pemberian Edukasi Basic Life Support (BLS) Pada Kader Posyandu Dalam Menghadapi Bencana Di Wilayah Kerja Puskesmas Pangkal Balam Kota Pangkalpinang Tahun 2022. *Nursing Update: Jurnal Ilmiah Ilmu Keperawatan P-ISSN: 2085-5931 e-ISSN: 2623-2871*, 14(2), 99-103.

- Hayati, F.D. (2012). *Pengujian teknik interpolasi sediaan tegakan dan biomassa berbasis IHM B pada hutan lahan kering PT Trisetia Intiga, Kabupaten Lamandau, Kalimantan Tengah [skripsi]*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Marfai, M. A. (2018). *Banjir pesisir: kajian dinamika pesisir Semarang*. UGM PRESS.
- Nisa, A. N. M. (2020). Penegakan hukum terhadap permasalahan lingkungan hidup untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan (studi kasus kebakaran hutan di Indonesia). *Jurnal Bina Mulia Hukum*, 4(2), 294-312.
- Nurhasanah, N., Pancasilawan, R., & Munajat, M. E. (2021). Pengendalian pemanfaatan air tanah di Kecamatan Bandung Wetan oleh Cabang Dinas ESDM Wilayah IV Bandung. *JANE-Jurnal Administrasi Negara*, 13(1), 150-159.
- Octonovrilna, L., & Pudja, I. P. (2009). Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 10(1).
- Oktavia, R. (2020). *PENGGUNAAN RASIO DALAM ANALISIS KINERJA KEUANGAN PADA PDAM BANDARMASIH KOTA BANJARMASIN* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Kalimantan MAB).
- Pramono, G. H., 2008. *Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros Sulawesi Selatan*. Forum Geografi. Vol. 22, No. 1, Juli 2008. Hal. 145-158
- Ronodirdjo, M. Z. (2019). *Buku Ajar Pengantar Geologi*.
- Rosyada, K., Trismadi, T., & Ras, A. R. (2021). Partisipasi Pemerintah Indonesia dalam Penanganan Isu Perubahan Iklim ditinjau dari Perspektif Keamanan Maritim. *Keamanan Maritim*, 7(2), 236-250.
- Sos, G. Y. S. (2019). *Analisis Peran Walhi Dalam Advokasi Pencegahan Eksploitasi Kawasan Karst Oleh Industri Semen Di Indonesia* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Watson, D.F. & Philip G.M. (1985). *A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation*. *Geo - Processing 2*: 315-327
- Widiyanto, A. F., Yuniarno, S., & Kuswanto, K. (2015). Polusi air tanah akibat limbah industri dan limbah rumah tangga. *KEMAS: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 246-254.