

Model Hidrogeologi Konseptual Untuk Estimasi Kapasitas Akuifer Pantai Gowa-Takalar, Sulawesi Selatan

Muhammad Ramli *, Djamaluddin , Meinarni Thamrin, Nirmana Fiqra Qaidahiyani

Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Kampus FT Unhas Gowa, Jl. Poros Malino Km. 6, Bontomarannu, Gowa-Sulawesi Selatan, Indonesia 90171

Abstrak

Kawasan Gowa-Takalar adalah pedataran pantai yang umumnya tersusun atas material endapan aluvial dan pantai. Material tersebut membentuk akuifer bebas yang telah dieksploitasi secara intensif sejak tahun 1990-an. Data kimia air tanah dua tahun terakhir mengindikasikan pengaruh intrusi air laut ke dalam akuifer. Hubungan antara pergantian musim hujan dan musim kemarau dengan sifat akuifer bebas merupakan kondisi penting untuk menjaga keberlanjutan air tanah di kawasan ini. Evaluasi perubahan kapasitas akuifer oleh potensi pengimbuhan karena perubahan musim telah dilakukan dengan pemodelan numerik menggunakan Visual MODFLOW Flex. Hasil simulasi menunjukkan bahwa imbuhan yang masuk ke dalam sistem akuifer pantai Gowa-Takalar didominasi oleh imbuhan dari sungai pada bulan Juli – September, sedangkan Oktober – Juni oleh infiltrasi dari air hujan.

Kata kunci: akuifer bebas; kapasitas akuifer; simulasi 2D; imbuhan; pelepasan; aliran air tanah

Abstract

[*Title: Hydrogeological Conceptual Model to Estimate Infiltration Capacity of Coastal Aquifer at Gowa-Takalar, South Sulawesi*]. The Gowa-Takalar area is a coastal plain mainly composed of materials of alluvial and coastal deposits. The materials form an unconfined aquifer that has been intensively exploited since the 1990s. Groundwater chemistry data of the last two years indicates the effect of seawater intrusion into aquifers. The annual cycle of the rainy and dry seasons with the properties of the unconfined aquifer may become an essential condition to maintain the sustainability of groundwater resources in the region. Numerical modeling was performed using Visual MODFLOW Flex to evaluate aquifer capacity based on recharge capacity due to the season changes. The simulation results showed that the recharge into the Gowa-Takalar coastal aquifer system was dominated by the recharge from a river in July – September, while October – June by infiltration of rainwater.

Keywords: unconfined aquifer; aquifer capacity; 2D simulation; recharge; discharge; groundwater flow

1. Pendahuluan

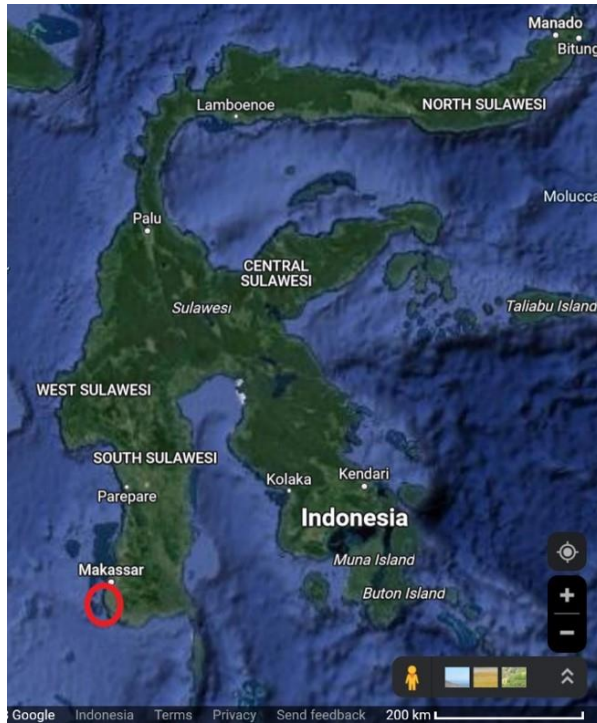
Daerah Gowa-Takalar merupakan kawasan pesisir pantai yang mengalami eksploitasi air tanah yang besar terutama pada musim kemarau sejak tahun 1990-an. Di kawasan ini, air tanah dimanfaatkan guna memenuhi kebutuhan air bagi keperluan domestik masyarakat, aktifitas pertanian, sarana wisata bahari, dan kebutuhan permukiman baru. Eksploitasi air tanah untuk menunjang kebutuhan tersebut dilakukan melalui pemboran air tanah

dengan kedalaman yang umumnya kurang dari 40 meter dari permukaan tanah. Hal ini disebabkan Peraturan Daerah Provinsi Sulawesi Selatan No. 4 tahun 2019 tentang Pengelolaan dan Pemanfaatan Air Tanah hanya mewajibkan izin untuk kedalaman lebih besar dari 40 meter. Dengan demikian jumlah sumur dan kapasitas produksi air tanah tidak dapat diketahui dan dihitung dengan baik. Perilaku dan kondisi ini akan menjadi ancaman bagi kerusakan kondisi air tanah di kawasan ini khususnya pengaruh intrusi air laut dari Selat Makassar.

Air tanah, sebagai sumber air tawar kritis, memiliki peran penting di wilayah pesisir dan perlu dinilai terhadap ancaman (Mahmoodzadeh dkk, 2020). Keberadaan air tanah di bawah permukaan sangat

*) Penulis Korespondensi.

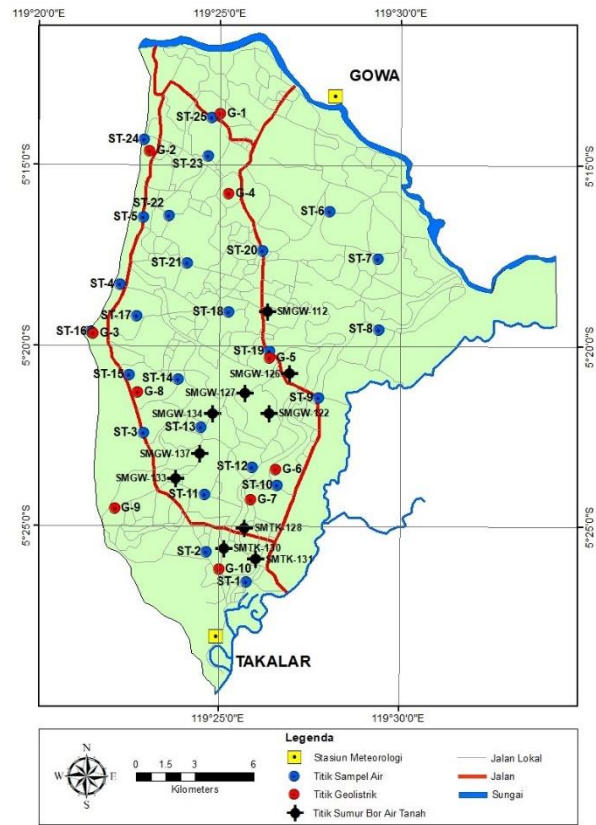
E-mail: ramli@unhas.ac.id



Gambar 1. Peta tunjuk lokasi penelitian (indikasi lingkaran merah).

memungkinkan permasalahan airtanah seringkali tidak muncul sebelum menjadi dampak lingkungan yang serius, misalnya: penurunan muka air tanah, keringnya sumur-sumur pemompaan, intrusi air laut, pencemaran kualitas air, atau amblesan tanah. Masalah utama yang paling sering terjadi di hampir semua akuifer pantai adalah intrusi air laut dimana air laut menggantikan atau bercampur dengan air tawar. Pencemaran ini terjadi melalui proses dispersi hidrodinamika yang dapat menyebabkan terjadi peningkatan salinitas air akibat perubahan kelandaian air tanah tanpa disertai dengan perubahan kedudukan muka air tanah yang berarti.

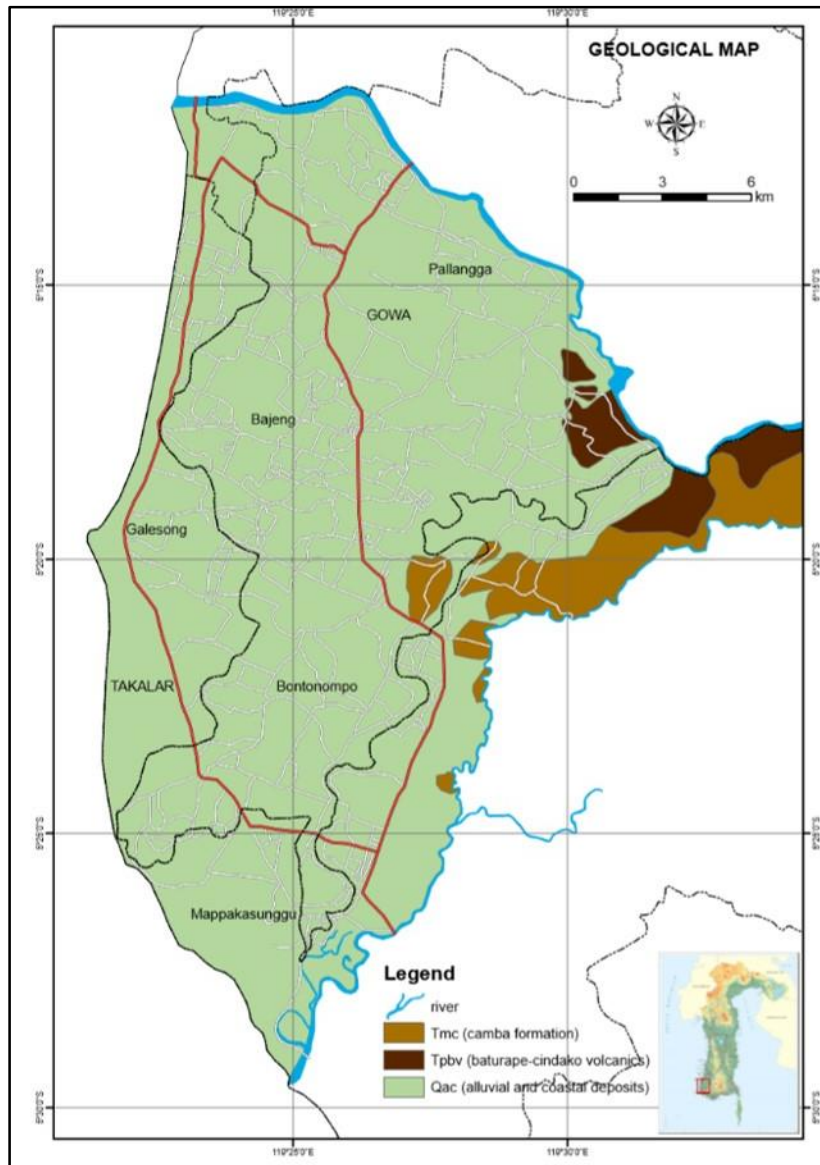
Metode yang paling umum untuk menilai intrusi air laut melalui akuifer di wilayah pantai adalah analisis kimia air tanah secara berkala (Mondal, dkk, 2011). Observasi tahun 2018 menunjukkan komposisi ion klorida di daerah ini secara umum berkisar antara 3,55 mg/L - 81,65 mg/L yang mengidentifikasi bebas dari intrusi air laut (Ramli, dkk, 2018). Komposisi ini berubah dengan hasil observasi pada bulan Agustus 2020 dimana komposisi ion klorida mengalami peningkatan dengan rentang nilai 39,05 mg/L – 3.976,00 mg/L. Analisis rasio klorida-bikarbonat dari permukaan air tanah diperoleh nilai yang bervariasi dari 0,50 – 35,53 yang mengindikasikan sebagian daerah telah mengalami intrusi air laut tingkat rendah hingga tinggi (Sarada dkk, 2015).



Gambar 2. Lokasi observasi, pengukuran dan pengambilan sampel.

Adanya indikasi intrusi air laut ke dalam akuifer menjadi motivasi pentingnya dalam melakukan kajian tentang keberadaan air tanah dalam akuifer pantai di wilayah Gowa Takalar ini. Kondisi daerah penelitian yang dibatasi dengan dua sungai besar di bagian utara (Sungai Jeneberang) dan di bagian selatan (Sungai Pappa), dan pergantian musim hujan - musim kemarau, serta lapisan pembawa air sebagai akuifer bebas mengindikasikan kondisi daerah yang memiliki potensi air tanah yang besar. Proses pengelolaan imbuhan dapat menjadi kunci penting dalam menjaga keberlangsungan air tanah dalam akuifer.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis proses dalam suatu sistem adalah model interpretatif. Model interpretatif mengkonseptualisasikan dinamika sistem dan mendapatkan gambaran umum tentang parameter yang mengontrol proses yang terjadi (Anderson dkk, 2015). Oleh karena itu dilakukan simulasi interpretatif untuk mengevaluasi potensi akuifer berdasarkan potensi imbuhan melalui model hidrogeologi konseptual sederhana.



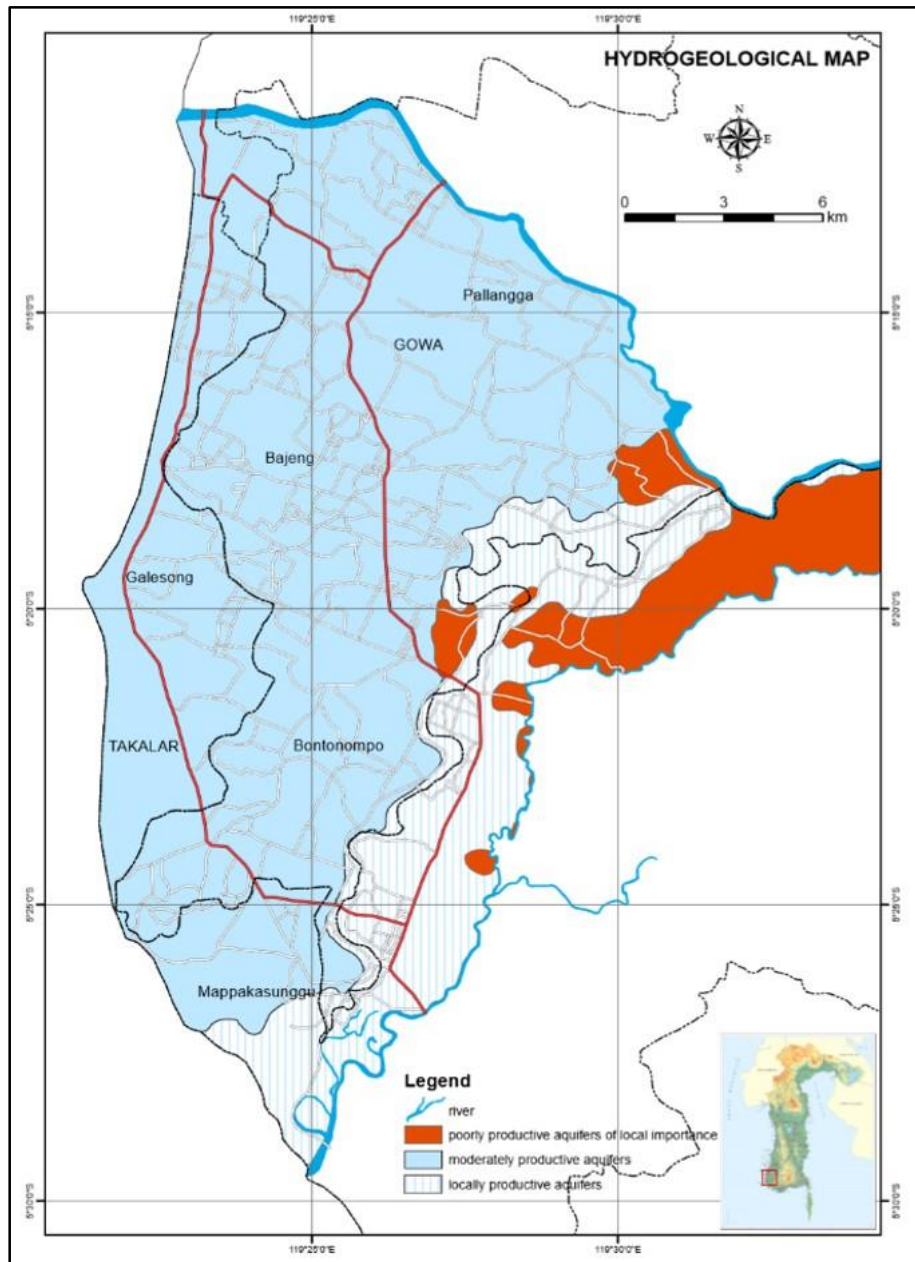
Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (dimodifikasi dari Sukamto dkk, 1982)

2. Bahan dan Metode

Penyusunan model hidrogeologi konseptual mengacu dari sejumlah data yang diperoleh dari kegiatan pemetaan geologi dan hidrogeologi di lapangan untuk mengkonfirmasi sejumlah informasi dasar yang diperoleh dari; Peta Geologi Regional Lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai, Sulawesi Selatan yang diterbitkan oleh Puslitbang Geologi Bandung (Sukamto, dkk, 1982), Peta Hidrogeologi Lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai, Sulawesi Selatan yang diterbitkan oleh Puslitbang Geologi Lingkungan Bandung (Mudiana, 1984). Data-data tersebut selanjutnya digunakan untuk membuat

rekonstruksi struktur geologi bawah permukaan yang terkait dengan keberadaan akuifer pantai.

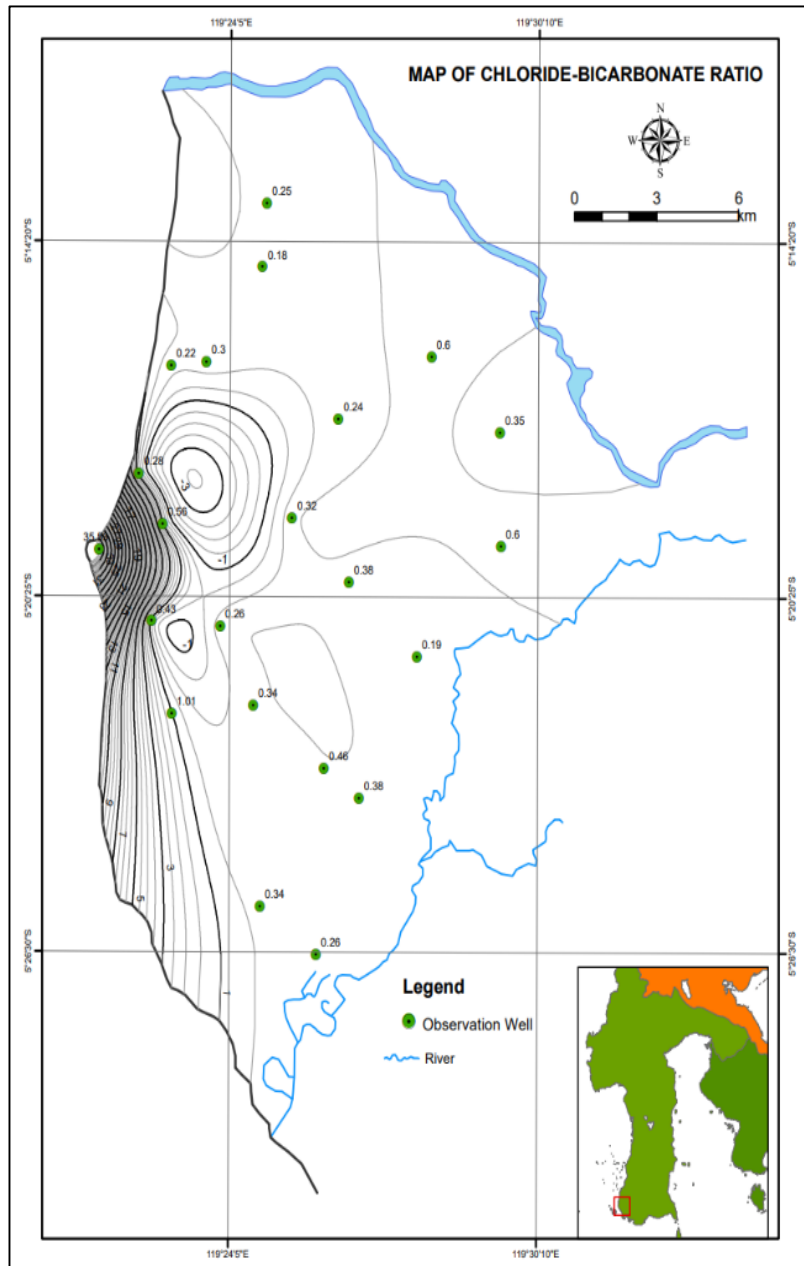
Kegiatan pemetaan geologi dan hidrogeologi meliputi pemetaan permukaan, pengukuran geolistrik, pengukuran kedudukan muka air tanah, pengambilan sampel air tanah, dan pengujian laboratorium kimia air tanah. Analisis parameter hidrogeologi akuifer didasarkan pada hasil uji pemompaan sumur pemboran air tanah yang telah dilakukan oleh Proyek Irigasi Air Tanah Sulawesi Selatan. Data klimatologi dan meteorology diperoleh dari dua stasiun pengukuran di Kabupaten Gowa dan Kabupaten Takalar. Informasi tentang letak titik observasi, pengukuran, dan sampling ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 4. Peta hidrogeologi daerah penelitian yang (dimodifikasi dari Mudiana dkk 1984)

Analisis neraca air yang terkait dengan akuifer tersebut menggunakan data curah hujan dan klimatologi yang diperoleh dari Buku Kabupaten Gowa dalam Angka, dan Kabupaten Takalar dalam Angka untuk lima tahun terakhir yaitu 2015 - 2019. Analisis neraca air ini menggunakan Persamaan Neraca Air dalam Tanah oleh Thornthwaite dan Mather (Qablwi, 2016; Steenhuis dkk, 1986). Target utama dalam analisis ini adalah estimasi besarnya imbuhan tanah ke dalam akifer yang didasarkan pada hubungan dengan curah hujan, evapotranspirasi, penyimpanan air dalam tanah, dan limpasan permukaan.

Pada tahapan terakhir dilakukan evaluasi potensi akuifer air tanah dengan mempertimbangkan potensi infiltrasi/imbuhan dengan menggunakan model numerik. Simulasi numerik menggunakan software Schlumberger Water System - Visual MODFLOW Flex. Secara spasial, solusi numerik didasarkan pada metode beda hingga tiga dimensi, dan secara temporal menggunakan waktu simulasi selama 12 bulan dengan tahapan waktu setiap bulan. Deskritisasi daerah model menggunakan peta topografi Lembar Takalar (2010-52) dan Lembar Ujung



Gambar 5. Peta rasio klorida-bikarbonat bulan Agustus 2020

Pandang (2010-54) berskala 1: 50.000 yang diterbitkan oleh Bakosurtanal 1991.

Konseptual model dibentuk dari kajian menyeluruh dari akuisisi data lapangan dan data sekunder serta analisis data. Beberapa asumsi diperlukan sebagai penyederhanaan kondisi geologi maupun hidrogeologi alami yang kompleks serta tingkat ketersediaan data pendukung. Pengembangan model konseptual meliputi 3 tahapan, yaitu: menentukan model geologi (struktur dan litologi), menentukan nilai konduktivitas hidraulik dari setiap lapisan akuifer,

menentukan kondisi batas daerah model. Proses simulasi membutuhkan input parameter dan syarat batas, antara lain kedudukan muka air tanah, aliran lateral, dan imbuhan airtanah. Pemodelan dilakukan untuk mensimulasikan proses interaktif permukaan-bawah permukaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Geologi dan Hidrogeologi

Akuifer pesisir Gowa-Takalar membentang dari Sungai Pappa di selatan hingga Sungai Jeneberang di

Tabel 1. Perhitungan neraca air daerah Gowa Takalar.

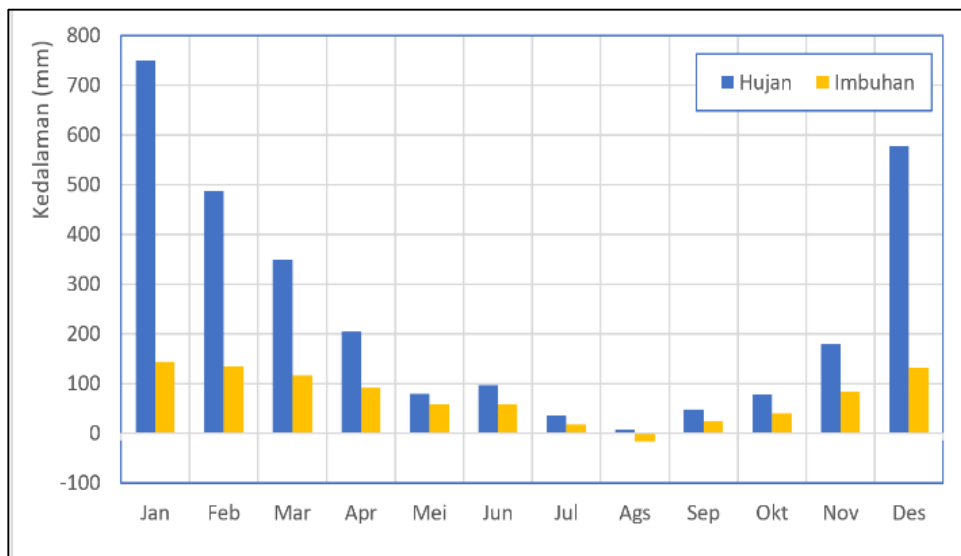
Bulan	Ti (°C)	I	P	PET (cm)	Ro	R
Januari	17,63	6,62	749	14,73	589,93	144,33
Februari	17,25	6,41	488	12,31	340,75	134,94
Maret	19,40	7,64	350	19,71	214,26	116,03
April	20,25	8,15	204	21,77	90,95	91,27
Mei	15,48	5,45	79	9,30	11,26	58,44
Juni	19,60	7,76	97	19,39	19,58	58,02
Juli	19,20	7,52	36	18,69	0,15	17,16
Agustus	19,43	7,66	7	19,62	4,43	-17,04
September	20,50	8,30	48	22,66	1,65	23,70
Oktober	21,43	8,87	78	27,47	10,84	39,69
November	20,63	8,38	179	23,82	72,03	83,15
Desember	19,45	7,67	578	20,25	425,68	132,06

utara serta Selat Makassar di sebelah barat. Daerah ini merupakan bentang alam pedataran dengan elevasi bervariasi antara 0 - 25 m di atas permukaan laut. Perhitungan rata-rata curah hujan yang didasarkan pada kejadian hujan dalam 5 tahun terakhir menunjukkan variasi curah hujan bulanan dengan nilai terendah 7 mm pada bulan Agustus dan nilai tertinggi pada bulan Januari sebesar 749 mm mm. Sejak tahun 1990-an, kegiatan pertanian di wilayah studi telah meningkat, yang menimbulkan tekanan tinggi pada sumber daya air tanah.

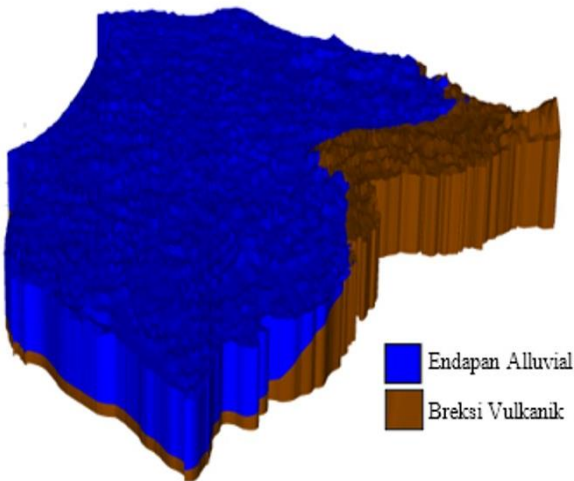
Kondisi geologi daerah ini tersusun atas material Endapan Aluvium dan Pantai (Qac), Batuan Gunungapi Baturape-Cindako(Tpbv), dan Formasi Camba (Tmc) dengan penyebaran yang ditunjukkan pada Gambar 3 (Sukanto dkk, 1982). Endapan Aluvium, Rawa dan Pantai (Qac); tersusun atas kerikil, pasir, lempung, lumpur, dan batugamping koral, terbentuk dalam lingkungan sungai, rawa, pantai dan delta.

Batuan Gunungapi Baturape-Cindako (Tpbv) terdiri atas lava dan breksi, dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat yang bersusunan basal, sebagian besar profil dengan penokris piroksen besar-besar sampai 1 cm dan sebagian kecil tansatmata. Batuan umumnya berwarna kelabu tua kehijauan hingga hitam. Lava menunjukkan struktur sebagian berkekar meniang dan sebagian berkekar lapis. Pada umumnya breksi berkomponen kasar, dari 15 cm – 60 cm, terutama basal dan sedikit andesit, dengan semen tufa berbutir kasar sampai lapili.

Formasi Camba (Tmc) pada umumnya merupakan batuan sedimen laut yang diselingi oleh batuan gunung berapi. Formasi terdiri dari batupasir tufaan yang diselingi tufa, batupasir, dan batulempung; dengan interkalasi napal, batugamping, konglomerat vulkanik dan breksi, serta batubara. Batuan tersebut memiliki warna yang bervariasi dari putih, coklat, merah, dan abu-



Gambar 6. Perbandingan antara curah hujan dan imbuan air tanah bulanan.



Gambar 7. Model konseptual hidrogeologi akuifer Pantai Gowa-Takalar.

abu tua. Material sebagian besar terkonsolidasi dengan baik.

Kondisi hidrogeologi berdasarkan sifat batuan dikategorikan menjadi 3 kategori (Mudiana dkk, 1984), yaitu; akuifer produktif sedang, setempat akuifer produktif, dan akuifer produktif kecil - setempat berarti dengan penyebaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Akuifer produktif sedang merupakan akuifer dengan keterusan sedang sampai rendah, muka air tanah kurang dari 5 meter di bawah muka tanah dengan debit sumur diperkirakan kurang dari 1 liter/detik. Akuifer menyebar sangat luas di daerah penelitian. Setempat akuifer produktif merupakan akuifer yang tidak menerus, tipis keterusannya, muka air tanah 1 – 5 meter di bawah muka tanah, dan debit sumur kurang dari 1 liter/detik. Akuifer produktif kecil - setempat berarti merupakan akuifer dengan keterusan sangat rendah, setempat air tanah dangkal dalam jumlah terbatas yang dapat diperoleh pada zona pelapukan batuan padu atau di daerah lembah.

Analisis kualitas air tanah terkait dengan kontak akuifer pantai dengan laut dilakukan melalui pengukuran konsentrasi Cl^- , CO_3^{2-} dan HCO_3^- sebagaimana yang telah diusulkan oleh Revelle (Al-Khatib dkk, 2011; Sarada dkk, 2015). Rasio klorida-bikarbonat di lokasi penelitian disajikan pada Gambar 5. Ion klorida (Cl^-) dalam air tanah umumnya terjadi dalam jumlah kecil di air tanah tetapi berlimpah di air laut. Ion karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-) berlimpah di air tanah. Analisis data 22 sampel air sumur penduduk tahun 2018 menunjukkan nilai konsentrasi klorida bervariasi pada rentang 3,55 – 56,80 mg/L dengan nilai rasio klorida bikarbonat pada rentang nilai bervariasi dari 0,001 hingga 0,045 (Ramli, 2018). Hasil observasi pada titik sama pada tahun 2020 menunjukkan peningkatan nilai konsentrasasi klorida menjadi 42,60 – 3.976,00 mg/L dengan nilai rasio klorida

bikarbonat secara umum 0,50 – 1,30 bahkan ada satu sampel dengan nilai 35,53. Perubahan konsentrasi tersebut telah mengindikasikan adanya proses intrusi air laut.

Neraca Air

Seperti halnya daerah lain di Indonesia, Gowa-Takalar mengalami pergantian musim hujan dan kemarau setiap tahun. Musim hujan pada bulan Nopember – April, sedangkan musim kemarau pada bulan Mei – Oktober. Berdasarkan data curah hujan bulanan selama lima tahun terakhir (2015-2019), kawasan ini memiliki curah hujan bulanan terkecil pada bulan Agustus dengan rata-rata curah hujan sekitar 7 mm, sedangkan rata-rata curah hujan bulanan tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan rata-rata curah hujan sekitar 749 (Tabel 1). Total curah hujan rata-rata tahunan di wilayah Kabupaten Gowa dan Takalar mencapai 2.904 mm.

Analisis neraca air di daerah penelitian menggunakan Metode Neraca Air Tanah oleh Thornthwaite and Mather (Qablawi, 2016) dengan persamaan;

$$R = P - PET - Ro \tag{1}$$

Dimana R = imbuhan air ke dalam tanah, P = curah hujan, PET = evapotranspirasi potensial, Ro = aliran permukaan. Perhitungan evapotranspirasi potensial bulan didasarkan pada suhu udara, melalui persamaan;

$$PET = 1,6 \left(\frac{10.T}{I} \right)^a \tag{2}$$

T adalah temperatur rata-rata. Nilai I dan a diperoleh dengan persamaan;

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,5} \tag{3}$$

$$a = 0,49 + 0,0179.I - 0,0000771.I^2 + 0,000000675.I^3$$

Hasil perhitungan nilai I sebesar 90,44 dan nilai a sebesar 3,24. Selanjutnya perhitungan limpasan permukaan menggunakan persamaan;

$$Ro = \frac{(P-0,2.S)^2}{(P+0,8.S)} \tag{4}$$

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \tag{5}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Persamaan ini menggunakan nilai retensi potensial maksimum (S) dan bilang kurva (CN). Nilai CN merupakan fungsi dari karakteristik DAS seperti tipe tanah, tanaman penutup, tataguna lahan, kelembaban dan cara pengerjaan tanah.

Pemanfaatan lahan di kawasan ini adalah umumnya kegiatan pertanian yang dikategorikan sebagai lahan yang diolah dan ditanami tanpa konservasi. Material tanah umunya pasir (lebih dari 90%) dengan tanah liat (kurang dari 10%), sehingga dikelompokkan

sebagai Tanah Tipe A. Tanah tipe A memiliki potensi limpasan permukaan rendah saat basah secara menyeluruh. Air meresap dengan bebas melalui tanah. Jenis komoditas pertanian merupakan tanaman musiman sehingga dianggap kedalaman perakaran menengah. Oleh karena itu dalam perhitungan penyimpanan air dalam tanah (Rd), digunakan nilai kedalaman perakaran (Rd) sebesar 0,90 meter oleh Nyvall 2002 (Qablawi, 2016), dan kapasitas penyimpanan yang tersedia (Wsc) sebesar 100 mm air/meter soil oleh Nyvall (Qablawi, 2016). Nilai CN sebesar 62 dan terhitung nilai $S = 155,68$. Hasil perhitungan neraca air ditampilkan pada tabel 1, dan perbandingan antara curah hujan dan pengimbuhan ditampilkan pada gambar 6.

Model Konseptual

Model konseptual hidrogeologi adalah kumpulan hipotesis yang menggambarkan pemahaman sistem air tanah dan dianggap sebagai salah satu sumber utama tentang ketidakpastian dalam pemodelan aliran air tanah dan pergerakan kontaminan (Enemark dkk, 2019). Pembuatan model konseptual harus mampu mendukung tujuan pemodelan. Reilly dan Harbaugh mengidentifikasi lima kategori utama tujuan pemodelan yaitu pemahaman dasar tentang sistem air tanah, estimasi sifat akuifer, memahami masa kini, memahami masa lalu, dan memperkirakan masa depan. Ketiga dari tujuan pertama disebut sebagai model interpretatif, dan sisanya dikenal sebagai model prediksi (Anderson dkk 2015).

Model interpretatif digunakan untuk mengkonseptualisasikan dinamika sistem dan memberikan wawasan umum tentang parameter yang mengontrol proses dalam sistem akifer. Beberapa contoh aplikasinya model intepretatif adalah Hsieh, 2011 mengembangkan model interpretatif untuk mensimulasikan aliran dalam reservoir minyak bumi; Freeze dan Witherspoon, 1967 dan Zlotnik dkk, 2011 untuk mempelajari efek heterogenitas pada aliran air tanah regional pada penampang; Woessner, 2000 dan Sawyer dkk, 2012 menggunakan model untuk mempelajari pertukaran antara air tanah dan air sungai;

dan Sheets dkk, 2005 mempelajari pengaruh pemompaan di dekat batas aliran air tanah regional.

Pengembangan model konseptual akuifer pantai Gowa-Takalar untuk mendukung tujuan penelitian ini adalah diawali dengan mempertimbangkan jenis formasi batuan yang ada di daerah ini sesuai dengan Peta Geologi pada Gambar 1. Pada Peta Hidrogeologi (Gambar 2), Endapan Aluvial dibedakan atas akuifer produktif sedang dan setempat akuifer produktif, sedangkan Formasi Camba dan Batuan Gunungapi Baturape Cindako diklasifikasikan sebagai akuifer produktif kecil – setempat berarti. Oleh karena itu, akuifer di daerah Gowa-Takalar dinyatakan sebagai satu akuifer bebas yang terdiri atas dua lapisan yang memiliki parameter hidrogeologi yang berbeda

Informasi bawah permukaan diperoleh dari 10 sumur produksi air tanah yang dibangun oleh Proyek Irigasi Air Tanah Sulawesi Selatan yang dibuat pada tahun 1995. Kedalaman pemboran dari sepuluh sumur produksi air tanah tersebut pada berkisar pada 90 m – 100 m di bawah permukaan tanah. Deskripsi material cuttings pemboran menjelaskan tentang ukuran butir, sehingga tidak teridentifikasi dengan baik perubahan kedua formasi batuan. Oleh karena itu penetapan batas lapisan untuk kebutuhan model lebih menekankan pada rekonstruksi lapisan bawah permukaan berdasarkan informasi geologi permukaan.

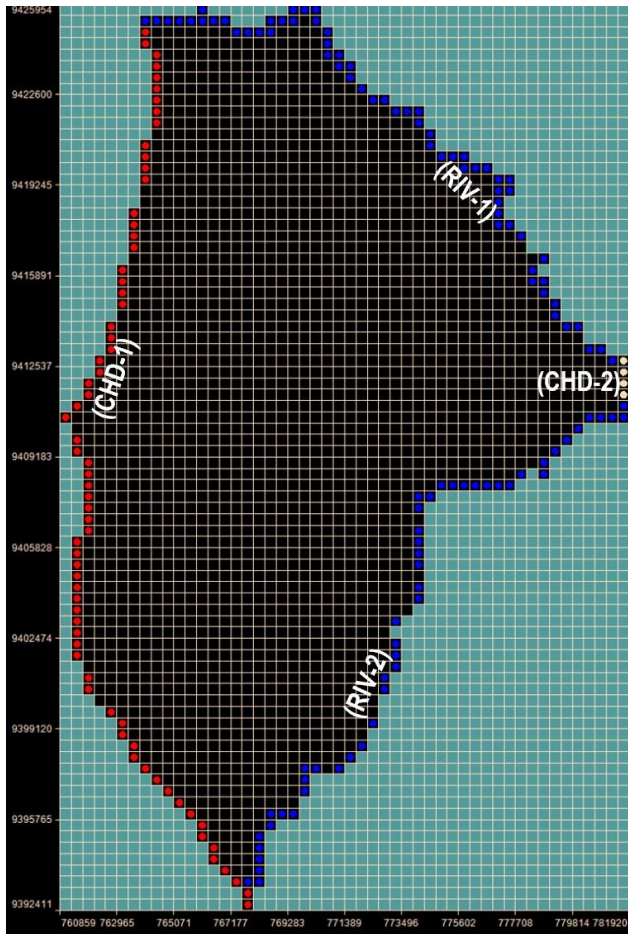
Lapisan teratas merupakan lapisan endapan alluvial dengan estimasi ketebalan 100 m di bawah permukaan pada garis pantai. Batas bawah lapisan ini cenderung horizontal hingga bagian tengah daerah model, yang kemudian miring secara linier hingga kontak antara Endapan Aluvial dengan Formasi Camba dan Batuan Gunungapi Baturape Cindako di permukaan. Kenampakan 3D model konseptual ditunjukkan pada Gambar 7.

Hasil analisis menunjukkan nilai konduktifitas hidrolika akuifer bervariasi $5,32 \times 10^{-5} - 4,38 \times 10^{-4}$ m/detik, dengan nilai rata-rata $1,8 \times 10^{-4}$ m/detik. Berdasarkan atas posisi sumur dan interpretasi geologi permukaan, maka ditafsirkan bawah lapisan endapan alluvial memiliki nilai transmissibilitas bervariasi dari 0.018 m²/detik – 0.044 m²/detik, sedangkan lapisan batuan dari Formasi Camba dan Batuan Gunungapi Baturape Cindako memiliki nilai transmissibilitas 0.005 – 0.009 m²/detik, dan storativitas diestimasi sebesar 0.187 berdasarkan hubungan nilai transmissibilitas batuan. Informasi detail tentang transmissibilitas akuifer dari uji pemompaan sumur produksi dituliskan pada tabel 2.

Diskretisasi daerah model menggunakan grid berukuran 420 m x 420 m x 100 m, dengan jumlah grid aktif 2202. Batas model ditetapkan sebagai tinggi muka air tanah tetap pada grid yang berbatasan dengan Selat Makassar pada sisi barat daerah model (CHD-1), dan pada grid di sisi timur daerah model (CHD-2). CHD-1

Tabel 2. Nilai transmissivitas (T) sumur produksi air tanah.

No.	Lokasi Desa	Kode Sumur	T (m ² /detik)
1	Panyangkalang	SMGW-112	0,044
2	Bontonompo	SMGW-122	0.027
		SMGW-126	0.019
		SMGW-127	0.005
3	Tanrara	SMGW-133	0.021
4	Bontolangkasa Selatan	SMGW-134	0.018
5	Tindang	SMGW-137	0.021
6	Sombala Bella	SMTK-128	0.009
		SMTK-130	0.006
		SMTK-131	0.018



Gambar 8. Grid dan kondisi batas daerah model

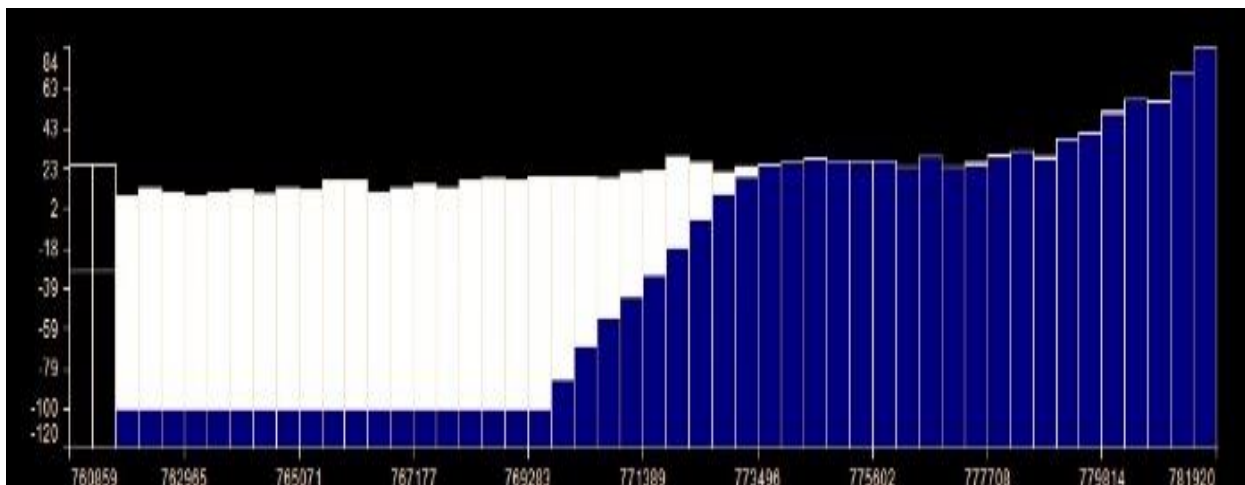
diindikasikan dengan titik merah, dan CHD-2 dengan titik putih pada Gambar 8. Pada sisi utara ke arah tenggara merupakan sisi yang berbatasan dengan Sungai Jeneberang dan didefinisikan sebagai kondisi batas

sungai (RIV-1). Selanjutnya pada sisi selatan ke arah timur laut adalah sisi model yang berbatasan dengan Sungai Pappa (RIV-2). Kedua batas sungai tersebut ditandai dengan titik biru pada grid Gambar 8. Tampilan umum penampang 2D lapisan batuan ditunjukkan pada Gambar 9.

Simulasi Numerik Aliran Air Tanah

Simulasi aliran tanah pada akuifer pantai Gowa-Takalar ini merupakan model interpretatif. Secara umum model interpretatif digunakan sebagai: (1) kalkulator teknik yang dapat memberikan jawaban atas pertanyaan tertentu dengan cepat; (2) model dasar untuk membantu mengembangkan pemahaman awal tentang sistem air tanah dan/atau menguji hipotesis tentang sistem; (3) model yang mengeksplorasi proses hidrogeologi secara umum. Model tipe interpretatif ini tidak memerlukan kalibrasi (Anderson dkk, 2015).

Analisis potensi air tanah dalam akuifer berdasarkan potensi imbuhan dilakukan dengan dua kondisi, yaitu kondisi tunak (*steady state*) dan kondisi tidak tunak (*transient*). Simulasi kondisi tunak untuk merepresentasi kondisi air tanah pada bulan Agustus karena bulan ini merupakan bulan dengan hujan terendah dan estimasi pengimbuhan dari permukaan -17,04 mm seperti pada Tabel 1. Pada bulan ini, elevasi muka air pada kedua sungai di batas model sebesar 16,00 meter yang berubah secara linier hingga permukaan air laut (elevasi 0 m) di batas model CHD-1. Elevasi muka air tanah pada CHD-2 sebesar 16,00 m yang sama dengan elevasi muka air pada kedua ujung sungai (RIV-1 dan RIV-2). Terkait dengan hitungan infiltrasi pada bulan Agustus sebesar -17,04 mm, maka dalam hal ditetapkan bahwa tidak ada infiltrasi. Hasil simulasi aliran air tanah kondisi tunak tersebut diperoleh kedudukan muka air tanah seperti pada Gambar 10.



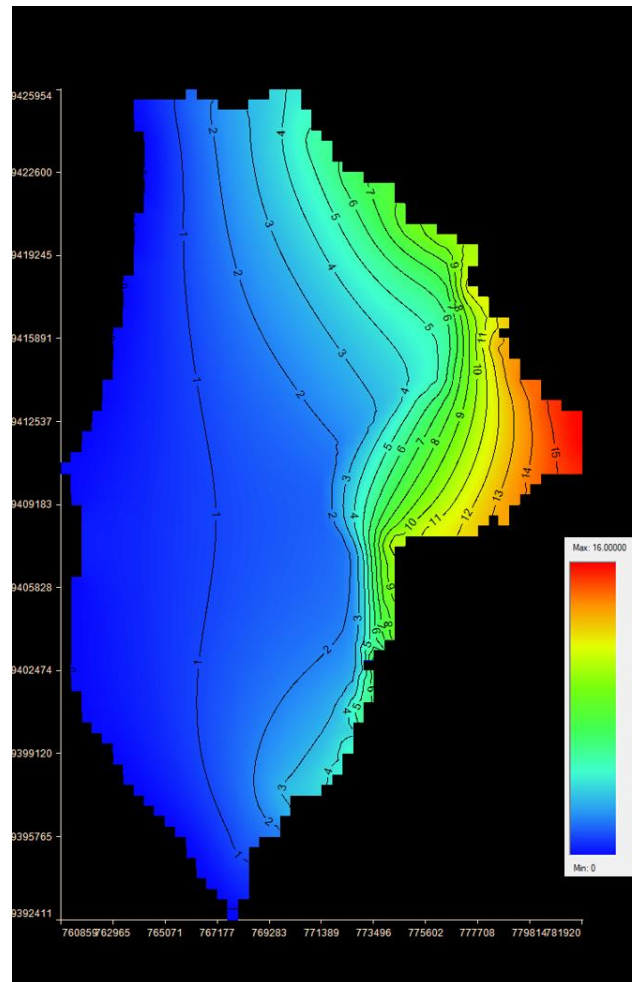
Gambar 9. Penampang 2D daerah model pada sayatan baris ke-35

Perbandingan tinggi muka air tanah hasil simulasi terhadap nilai terukur (Gambar 11) diperoleh nilai *mean absolute error (MAE)* sebesar 4,61 m, dan *root mean square error (RMSE)* sebesar 6,26 m. Tingginya perbedaan nilai kemungkinan diakibatkan peta dasar yang digunakan merupakan peta skala 1 : 50.000 dengan interval kontur 25 meter. Namun demikian hasil simulasi memberikan pola aliran air tanah yang serupa dengan hasil pengukuran. Pada grafik Gambar 11 terlihat bahwa selisih terbesar terjadi pada titik observasi di batas model sebelah timur, yang mengindikasikan kekurangakuratan model dalam merepresentasikan kompleksitas aliran air tanah ke dalam akuifer dan interaksi akuifer dengan kedua sungai.

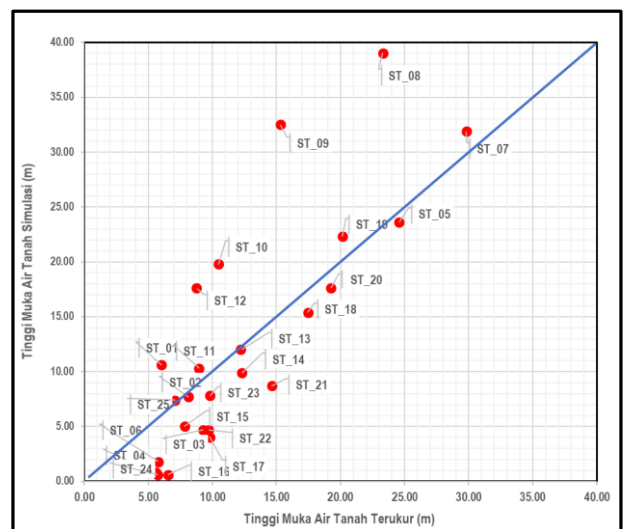
Hasil simulasi kondisi tunak menunjukkan adanya tiga pola aliran air tanah, yaitu di bagian utara model, di bagian selatan model dan di bagian timur model. Di bagian utara terlihat aliran air tanah dominan ke arah barat daya. Aliran air tanah di bagian selatan dan timur model berarah dominan ke arah barat, tetapi memiliki perbedaan landaian hidrolika. Landaian hidrolika di bagian timur lebih terjal daripada di bagian selatan. Ilustrasi ini juga mengindikasikan bahwa pengaruh Sungai Jeneberang di sebelah utara lebih berpengaruh terhadap imbuhan ke dalam akuifer pantai Gowa-Takalar. Hasil simulasi ini selanjutnya digunakan sebagai kondisi awal untuk simulasi kondisi tidak tunak pada tahap berikutnya.

Simulasi kondisi tidak tunak dilakukan dengan 11 tahapan waktu yang merepresentasikan perubahan imbuhan dari bulan ke bulan dalam setahun. Kondisi batas model di sebelah timur untuk RIV-1 dan RIV-2 mengalami kenaikan muka air 1,50 meter dari kondisi musim kemarau dengan curah hujan terendah pada bulan Agustus ke musim hujan dengan curah hujan tertinggi pada bulan Januari. Perubahan kedudukan muka air sungai pada bulan-bulan lainnya dibobotkan sesuai dengan curah hujan bulanan rata-rata. Penentuan kedudukan muka air tanah pada batas CHD-2 disesuaikan dengan kedudukan muka air sungai. Besar infiltrasi air ke dalam tanah disesuaikan dengan hasil estimasi imbuhan pada Tabel 1. Hasil simulasi aliran air tanah pada kondisi tidak tunak ditampilkan pada Gambar 12.

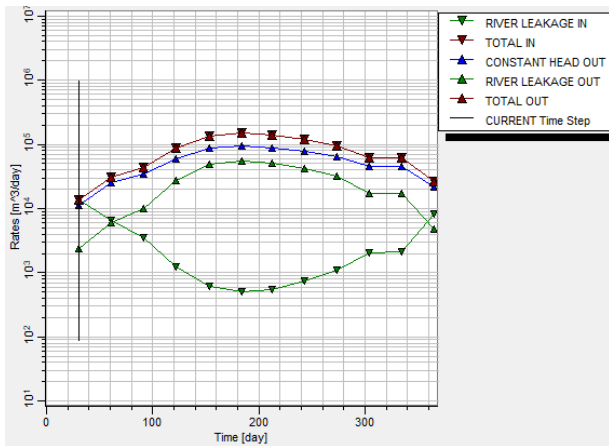
Sesuai dengan besarnya curah hujan, imbuhan air tanah terendah pada bulan Agustus dan terbesar terjadi pada bulan Januari. Pada bulan Agustus tidak terjadi infiltrasi, sehingga pengimbuhan air berasal dari RIV-1 dan RIV-2 sebesar $4,27 \times 10^5 \text{ m}^3$, serta dari CHD-2 sebesar $0,10 \times 10^4 \text{ m}^3$. Pelepasan air dari akuifer melalui CHD-1 sebesar $3,55 \times 10^5 \text{ m}^3$, dan melalui RIV $7,35 \times 10^4 \text{ m}^3$. Total input dan output air pada bulan Agustus masing-masing sebesar $4,28 \times 10^4 \text{ m}^3$. Kondisi sistem neraca air tanah pada bulan Januari menunjukkan total input dan output masing-masing $1,42 \times 10^7 \text{ m}^3$. Imbuhan air tanah ke dalam akuifer berasal dari RIV sebesar 8,05



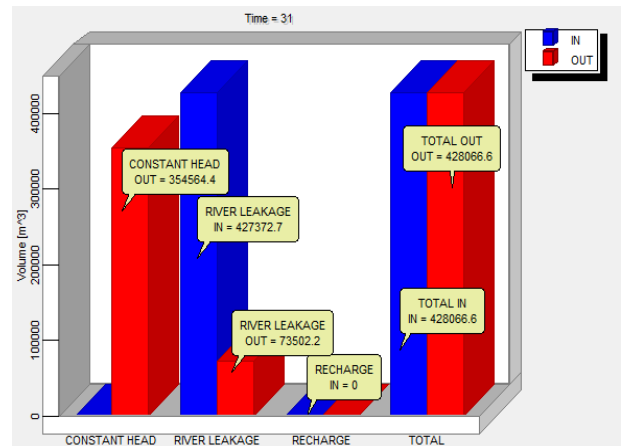
Gambar 10. Hasil simulasi kedudukan muka air tanah pada bulan Agustus.



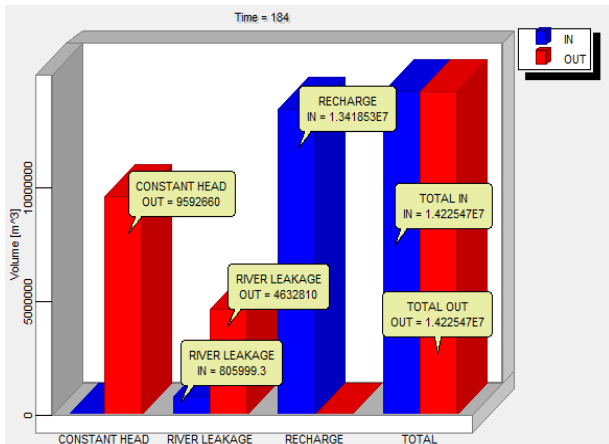
Gambar 11. Kalibrasi hasil simulasi dengan kedudukan muka air tanah terukur.



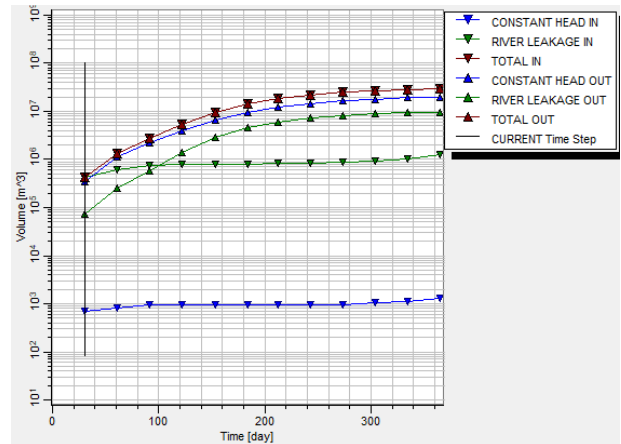
Gambar 12. Grafik debit air yang masuk pada sistem akuifer pantai Gowa-Takalar



Gambar 13. Hasil simulasi imbuhan air tanah untuk bulan Agustus



Gambar 14. Hasil simulasi imbuhan air tanah untuk bulan Januari



Gambar 15. Hasil simulasi volume air pada sistem akuifer Gowa-Takalar periode Agustus – Juli.

x 105 m³, dan dari infiltrasi sebesar 1,34 x 107 m³, sedangkan pelepasan dari akuifer melalui CHD sebesar 9,59 x 10⁶ m³ dan melalui RIV sebesar 4,63 x 10⁶ m³.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada bulan Agustus, imbuhan pada sistem akuifer berasal dari Sungai Jeneberang dan Sungai Pappa, sedangkan pada bulan Januari, imbuhan air tanah dominan berasal dari infiltrasi. Grafik pada Gambar 13 dan Gambar 14 memperlihatkan dominasi imbuhan air tanah ke dalam akuifer dibandingkan pelepasan terjadi pada bulan Juli – September, sedangkan pada bulan lainnya sungai lebih dominan menerima pelepasan air tanah dari akuifer.

Pengamatan tentang nilai imbuhan dan pelepasan air tanah ke dan dari akuifer pada dua kondisi ekstrim Agustus dan Januari mengindikasikan suatu proses berjalan bersama. Perbedaan keduanya hanya ditunjukkan oleh nilai volume yang berbeda, dimana kondisi ini juga terjadi sepanjang tahun. Hal ini dapat ditafsirkan bahwa pada saat tersebut di bagian sungai

tertentu berfungsi sebagai tempat pengimbuhan, sementara pada bagian lainnya sebagai tempat pelepasan air tanah. Kondisi sungai yang bermuara ke Selat Makassar menyebabkan air laut dapat masuk ke sungai yang kemungkinan dapat menjadi sumber pencemaran baru bagi sistem air tanah.

Hasil akhir dari simulasi pada bulan Juli menunjukkan bahwa total volume air pada sistem akuifer pantai Gowa-Takalar mencapai 2,93 × 10⁷ m³. Total volume air yang masuk pada sistem akuifer sangat dipengaruhi oleh besaran imbuhan yang terjadi setiap bulan. Peningkatan volume air di sistem akuifer pantai Gowa-Takalar selama setahun dengan waktu awal simulasi pada bulan Agustus hingga bulan Juli tahun berikutnya dapat dilihat pada Gambar 15. Hasil simulasi ini menggambarkan kemampuan akuifer menerima imbuhan dari sungai, batas model di darat, dan infiltrasi air hujan.

4. Kesimpulan

Model konseptual hidrogeologi daerah Gowa-Takalar mendefinisikan lapisan pembawa air sebagai akuifer bebas. Akuifer tersusun atas dua lapisan utama dengan karakteristik akuifer pada lapisan atas memiliki konduktifitas hidrolika lebih besar daripada lapisan di bawahnya. Simulasi aliran air tanah mengindikasikan pengaruh Sungai Jeneberang sebagai sumber imbuhan lebih besar daripada Sungai Pappa. Evaluasi potensi akuifer sepanjang tahun menunjukkan pengaruh infiltrasi dari permukaan lebih dominan daripada pengaruh kedua sungai yang berada pada batas model. Volume air pada sistem akuifer pada puncak musim kemarau sebesar $4,28 \times 10^4 \text{ m}^3$, kemudian meningkat hingga bulan Juli sebesar $2,93 \times 10^7 \text{ m}^3$. Keberadaan sungai yang bermuara ke Selat Makassar dan dapat berfungsi sebagai pengimbuhan dan tempat pelepasan air dari akuifer dapat menjadi sumber pencemaran air asin ke dalam akuifer pada saat musim kemarau.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah menyediakan skim Penelitian Dasar pada tahun anggaran 2020 untuk mendanai kegiatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Al-Khatib, M., and Al-Najar H., (2011). Hydro-Geochemical Characteristics of Groundwater beneath the Gaza Strip, *Journal of Water Resources and Protection*, Vol. 3. pp. 341-348. Doi: 10.4236/jwarp.2011.35043
- Anderson, M.P., Woessner, M.W., dan Hunt, R.J., (2015). *Applied Groundwater Modeling*, Simulation of flow and advective transport, Academic Press, Elsevier. (p.564).
- Enemark, T., Peeters, L.J.M., Mallants, D., and Batelaan, O., (2019). Hydrogeological conceptual model, *Journal of Hydrology*, Vol. 569, pp. 310-329
- Freeze, R.A., and Witherspoon, P.A., (1967). Theoretical analysis of regional ground-water flow: 2. Effect of water table configuration and subsurface permeability variations. *Water Resources Research*, Vol. 3 (2), pp. 623-634.
- Hsieh, P.A., 2011. Application of MODFLOW for oil reservoir simulation during the Deepwater Horizon crisis. *Groundwater* Vol. 49 (3), pp. 319-323.
- Mahmoodzadeh, D., and Oude Essink, G.H.P (2020). A Risk-based Groundwater Modeling Framework in Coastal Aquifer: a case study on Long Island, New York USA, *Hydrogeology Journal*, Springer.
- Mondal, N.C., Singh, V.P., Singh, S., & Singh, V.S., (2011). Hydrochemical characteristic of coastal aquifer from Tuticorin, Tamil Nadu, India *Environ Monit Assess*, 175, 531–550.
- Mudiana, W., Mukna, H.S., and Soetrisno, S., (1984). *Hydrogeological Map of Indonesia*, Ujungpandang, Benteng, dan Sinjai Quadrangles, Sulawesi, Center for Environmental Geology, Bandung.
- Qablawi, B., (2016) A Comparison of Four Methods to Estimate Groundwater Recharge for Northeastern South Dakota, *Master Thesis*, South Dakota State University.
- Ramli, M., Purwanto, and Anas, A.V., (2019). Subsurface Investigation of Freshwater-Seawater Interface on Gowa-Takalar Coastal Aquifer, Indonesia, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 676.
- Sarada, P., and Bhushanavathi, P., 2015 $\text{Cl}^-/(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ Ratio to Evaluate Salt Water Intrusion: A Case Study of Gnanapuram Area of Visakhapatnam, AP, India *International Journal of Science and Research (IJSR)* pp. 1311 – 1313.
- Sawyer, A.H., Cardenas, M.B., and Buttle, J., (2012). Hyporheic temperature dynamics and heat exchange near channel-spanning logs. *Water Resources Research* 48. W01529.
- Sheets, R.A., Dumouchelle, D.H., and Feinstein, D.T., (2005). *Ground-Water Modeling of Pumping Effects Near Regional Ground-water Divides and River/Aquifer Systems e Results and Implications of Numerical Experiments*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5141, 31 p.
- Steenhuis, S.T., and Van Der Molen, W.H., (1986). The Thornthwaite-Mater Procedure as A Simple Engineering Method to Predict Recharge, *Journal of Hydrology*, Vol. 84, pp. 221-229
- Sukanto, R., & Supriatna, S., (1982). *Geological Map of Ujungpandang, Benteng, dan Sinjai Quadrangles, Sulawesi* Geological Research and Development Center, Bandung.
- Woessner, W.W., (2000). Stream and fluvial plain ground water interactions: Rescaling hydrogeologic thought. *Groundwater*, Vol. 38 (3), pp. 423-429.
- Zlotnik, V.A., Cardenas, M.B., and Toundykov, D., (2011). Effects of multiscale anisotropy on basin and hyporheic groundwater flow. *Groundwater*, Vol. 49 (4), pp. 576-583.