

PEMODELAN AIR TANAH DI CEKUNGAN AIR TANAH (CAT) SINGARAJA DENGAN VISUAL MODFLOW

Ketut Agus Karmadi¹⁾, Sastra Wibawa²⁾, dan Ardi³⁾

E-mail: agus.karmadi@gmail.com¹⁾, sastrawibawa@gmail.com²⁾

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Mahasaraswati

ABSTRAK

Cekungan Air Tanah (CAT) Singaraja adalah merupakan cekungan air tanah utama andalan untuk wilayah Singaraja dan sekitarnya. Begitu pentingnya Cekungan Air Tanah tersebut bagi penduduk di Singaraja maka CAT ini sangat perlu sekali untuk dijaga agar potensi air tanah tersebut tidak mengalami degradasi secara drastis mengalami penurunan akibat pemboran air tanah yang berlebihan karena pada daerah tersebut merupakan daerah pariwisata dan perumahan. Untuk melihat perilaku terhadap perubahan muka air tanah yang terjadi di CAT Singaraja maka dilakukan pemodelan air tanah dengan menggunakan program Visual MODFLOW Premium 4.3. Program tersebut selanjutnya dikalibrasi dengan menggunakan data muka air yang dianalisis oleh Subdin ESDM Provinsi Bali pada tahun 2000. Setelah dilakukan kalibrasi maka dilakukan analisis pemodelan sampai dengan tahun 2021 sehingga diperoleh hasil kondisi muka airnya. Berdasarkan hasil muka air pada tahun 2000 maka selanjutnya dilakukan skenario dengan meningkatkan jumlah pemompaan di seluruh lokasi baik secara kuantitas maupun secara areal. Berdasarkan hasil skenario tersebut maka terjadi surutan yang lebih besar pada skenario I sampai dengan skenario III dibandingkan dengan surutan yang terjadi pada skenario IV sampai dengan skenario VI.

Kata kunci: Air Tanah, CAT Singaraja, Visual MODFLOW 4.3, Uji Pemompaan

ABSTRACT

The Singaraja Groundwater Basin (CAT) is the mainstay groundwater basin for the Singaraja region and its surroundings. Once the importance of the Groundwater Basin for residents in Singaraja, this CAT is very necessary to be maintained so that the potential for groundwater does not experience drastic degradation due to excessive groundwater drilling because the area is a tourism and residential area. To see the behavior of changes in groundwater levels that occur in Singaraja CAT, groundwater modeling is carried out using the Visual MODFLOW Premium 4.3 program. The program was then calibrated using water level data which was analyzed by the ESDM Subdin of Bali Province in 2000. After calibration was carried out, modeling analysis was carried out until 2021 so that the results of the water level conditions were obtained. Based on the results of the water level in 2000, the next scenario was carried out by increasing the amount of pumping in all locations both in terms of quantity and area. Based on the results of these scenarios, there will be a larger downturn in scenario I to scenario III compared to that in scenario IV to scenario VI.

Keywords: Groundwater, Singaraja CAT, Visual MODFLOW 4.3, Pumping Test

1. LATAR BELAKANG

Sebagai daerah tujuan wisata di Indonesia, Kabupaten Buleleng dan sekitarnya termasuk salah satu kawasan yang terletak di Bali Utara yang mengalami kemajuan pembangunan secara pesat, terutama sarana fisik dan berbagai fasilitas dalam menunjang kegiatan sektor pariwisata yang menjadi andalan utama untuk pendapatan asli daerah (PAD). Perkembangan pembangunan yang demikian itu, ditambah dengan kebutuhan akan air untuk irigasi, serta pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat, merupakan faktor utama terjadinya peningkatan kebutuhan akan air bersih, yang sebagian besar dipasok dari air tanah. Peningkatan kebutuhan akan air bersih yang bersumber dari pasokan air tanah tersebut telah menyebabkan peningkatan penggunaan air tanah. Konsekuensinya, degradasi air tanah di daerah tersebut terjadi, sehingga upaya pengelolaan air tanah berbasis cekungan air tanah perlu terus dilakukan agar degradasi secara menerus yang sangat merugikan tidak terjadi.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, salah satu upaya teknis pengelolaan air tanah di Cekungan Air Tanah Bali Utara yang mencakup Kota Singaraja, berbatasan di selatan Kabupaten Tabanan, dan Kab. Badung, di Timur dengan Kab. Karangsem dan di Barat dengan Kab. Jembrana. seluas sekitar 2080 km² (Gambar 01) perlu dilakukan melalui penyusunan model simulasi aliran air tanah. Tujuannya untuk menyusun skenario pengambilan air tanah yang dapat digunakan sebagai dasar pengendalian pengambilan air tanah bagi pemerintah daerah setempat dalam rangka konservasi air tanah CAT Bali Utara.

Makalah ini menyajikan uraian tentang hasil simulasi aliran air tanah dan penyusunan skenario penggunaan air tanah di CAT Bali utara yang meliputi CAT Singaraja, dengan menerapkan program aplikasi *Visual Modflow* Versi 4.3.



Gambar 1. Peta wilayah penelitian

2. METODOLOGI PENELITIAN

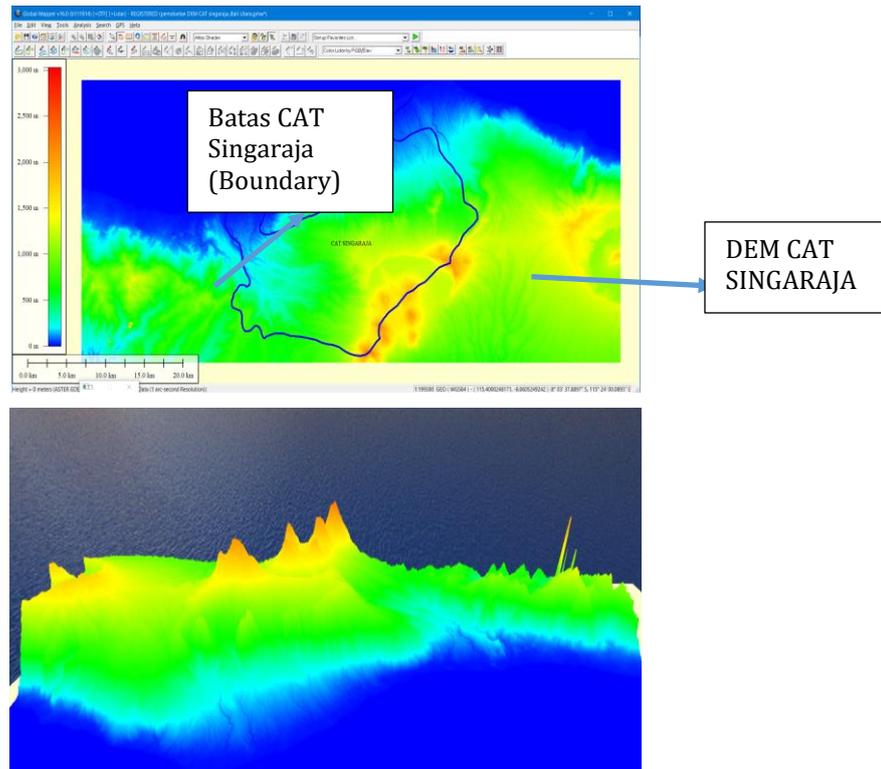
Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan air tanah dengan menggunakan model dari VISUAL MODFLOW. Program ini digunakan untuk melihat hasil perilaku pergerakan air tanah. Untuk program MODFLOW ada beberapa mesin atau algoritma perhitungan yang tersedia yaitu *MODFLOW 96*, *MODFLOW 2000*, *MODFLOW 2005*, *MODFLOW SURFACT*, dan *MODFLOW Seawat 2000*. Untuk lokasi studi, algoritma yang digunakan menggunakan mesin MODFLOW SURFACT dengan tipe simulasi *unsteady state flow* (aliran tak langgeng). Berdasarkan hasil simulasi setelah dilakukan kalibrasi dan verifikasi model tersebut, dapat dilihat hasil keluaran model berupa pergerakan besarnya kecepatan aliran air tanah baik besar maupun arah aliran yang terjadi, serta proses muka airnya.

Model simulasi air tanah yang digunakan pada studi ini adalah menggunakan *software* Visual MODFLOW Premium versi 4.3. Perangkat lunak ini merupakan sebuah program komputer yang dapat mensimulasikan aliran tanah tiga dimensi yang melewati media *porous* dengan menggunakan metode beda hingga (*finite-difference*) (McDonald and Harbaugh, 1996).

Pemodelan air tanah dengan Visual Modflow 4.3 digunakan untuk melihat model perilaku aliran air tanah di Cekungan Air Tanah (CAT) Singaraja dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah umum digunakan. Pemodelan air tanah merupakan pendekatan suatu sistem yang ada di dalam tanah. Jadi proses pemodelan tersebut sedapat mungkin dilakukan peniruan sistem aliran air tanah yang terjadi dengan melihat kondisi kenyataan di lapangan.

Peniruan sistem tersebut maka diperlukan karakteristik dari daerah tersebut yaitu berupa parameter air tanah. Parameter tersebut merupakan masukan dari program *Visual Modflow* agar dapat dijalankan. Pemodelan air tanah dengan Visual Modflow dapat berjalan apabila data yang diperlukan tersedia, untuk itu maka diperlukan pengumpulan data yang berkaitan dengan air tanah di CAT Singaraja.

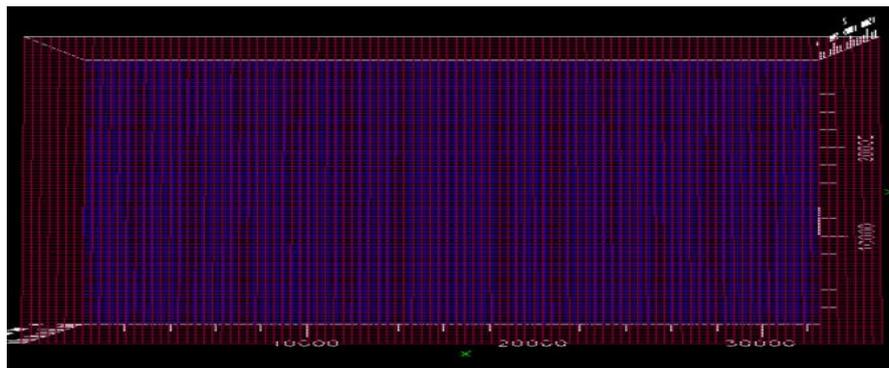
Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan penggunaan air tanah yaitu yang berkaitan dengan eksploitasi air tanah untuk berbagai keperluan. Pemanfaatan air tanah di masyarakat sangat banyak dan secara signifikan pemanfaatan air tanah dilakukan oleh industri. Data yang telah berhasil dikumpulkan terdiri sumur gali dan sumur bor yang diperoleh dari P2AT dan juga dari Sub Dinas ESDM yang berkaitan dengan izin perolehan pemanfaatan air tanah serta kajian atau studi yang berkaitan dengan air tanah pada tahun-tahun sebelumnya.



Gambar 3. Digital elevation Model (DEM) CAT Singaraja

c. *Import Elevation*

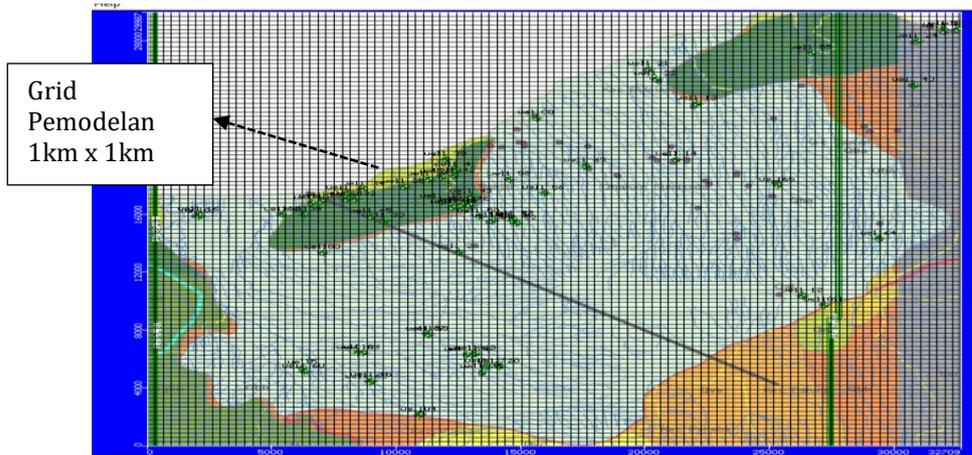
Digital Elevation Model (DEM) atau model ketinggian yang telah diperoleh dengan menggunakan softawer Global Mapper, selanjutnya diimport dengan software modflow sehingga ketinggian atau elevasi akan muncul seperti gambar berikut :



Gambar 4. Grid Pemodelan Modflow

1) *Data Grid Model*

Sebagai langkah awal dalam pemodelan tersebut adalah melakukan pembagian grid atau segmentasi terhadap CAT Singaraja dengan ukuran yang diinginkan. Adapun ukuran grid yang digunakan adalah sebesar 1 km x 1 km dengan luas CAT Singaraja k1. 1012.62 km². Pembagian lokasi studi menjadi ukuran yang lebih kecil diharapkan agar supaya parameter dan karakteristik dari grid tersebut menjadi lebih homogen. Adapun bentuk sistem grid dari lokasi CAT Singaraja dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Sistem Grid CAT Singaraja

Selain dari ukuran grid, juga harus ditentukan sistem akuifer yang terjadi di CAT Singaraja. Seperti yang telah dijelaskan bahwa di CAT Singaraja terdiri dari dua akuifer maka dalam sistem pemodelan digunakan tiga lapisan yaitu lapisan pertama dan lapisan ketiga sebagai akuifer dan lapisan kedua sebagai lapisan yang kedap.

d. Data Sumur Bor (Pumping Well)

Data sumur bor (*pumping well*) di lokasi studi hanya tersebar pada daerah pada bagian bawah dari CAT singaraja sehingga terpusat hanya pada beberapa lokasi saja. Data tersebut dimasukan melalui *pumping well* yang terdiri dari 18 buah smur yang diperoleh dari berbagai sumber termasuk P2AT, PU, JICA dan juga dari industri yang datanya diperoleh dari Sub Dinas Energi Sumber Daya Mineral (ESDM). Keseluruhan data tersebut berdiri sejak tahun 1992 sampaidengan sekarang. Berdasarkan data yang terkumpul diperoleh informasi sumur bor sekitar 19 buah untuk periode tahun 1990 sampai dengan 1995, sementara periode penambahan sampai pada tahun 2000 ada sekitar 13 buah dan sampai pada tahun 2013 ada penambahan sekitar 22 buah dan sampai pada tahun 2018 terjadi penambahan 3 buah. Data pumping well yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 sampai pada Tabel 3.

Tabel 1. Data pumping well mulai dari tahun 1990 sampai dengan 1995

ID	KODE	STASIUN	DESA	KEC.	M	Lt_ Dt	MA	Pembo			
							T	Draw	ran	Data	
							(m)	Down	Tahun		
168	NB.48	Banjar Asem	Banjar Asem	Seririt	115	8	11.8	3.2	1992/19	93	PIB
169	NB.50	Pangkung Paruk	Pangklung Paruk	Seririt	110	0.5	17.5	10	1992/19	94	P U, JICA
170	BL.371	Seririt	Seririt	Seririt	120	5	5.8	3.5	1977		P U
171	Kayu Putih	Kayu Putih	Kayu Putih	Sukasada	124	9	8.47	7.8	1993		PIB
172	NB.25	NB.25	Kayu Putih	Sukasada	103	5.6	5.8	1.3	1989/19	90	PIB
173	NB.29	NB.29	Kaliasem	Bajar	90	6.9	8.47	0.6	1989/19	90	PIB
174	NB.28	NB.28	Kaliasem	Bajar	99m	6.9	3.28	1.86	1989/19	90	PIB
175	NB.25	Kayu Putih	Kayu Putih	Sukasada	103	5.6	5.8	1.3	1989/19	90	P U, JICA
176	NB.26	Kayu Putih	Kayu Putih	Sukasada	93	6.4	4.97	0.7	1989/19	90	P U, JICA

177	NB.27	Kayu Putih	Kayu Putih	Sukasada	120	4.4	19.9 4	3.7	1989/19 90	P U, JICA
178	NB.28	Kaliasem	Kaliasem	Banjar	99	6.9	5.28	1.86	1989/19 90	P U, JICA
179	NB.29	Kaliasem	Kaliasem	Banjar	90	6.9	8.47	0.6	1989/19 90	P U, JICA
180	NB.30	Kaliasem	Kaliasem	Banjar	120	3.4	7.59	19.91	1989/19 90	P U, JICA
181	NB.34	Kalibubuk	Kalibubuk	Buleleng	120	17	14.6 6	10.93	1991/19 92	P U, JICA
182	Tk. Mungga	Tk. Mungga	Tukad Mungga	Buleleng	115	12	8.47	5.7	2000	PIB
183	Anturan	Anturan	Antura	Buleleng	80	18	8.57	5.62	2000	PIB
184	NB.32	Jagaraga	Jagaraga	Sawan	108	8.5	8.3	5.5	1990/19 91	P U, JICA
185	NB.63	Panji	Panji Anom	Sukasada	132	18	18.2	0.89	1993/19 94	P U, JICA

3. Karakteristik Hidraulik Akuifer

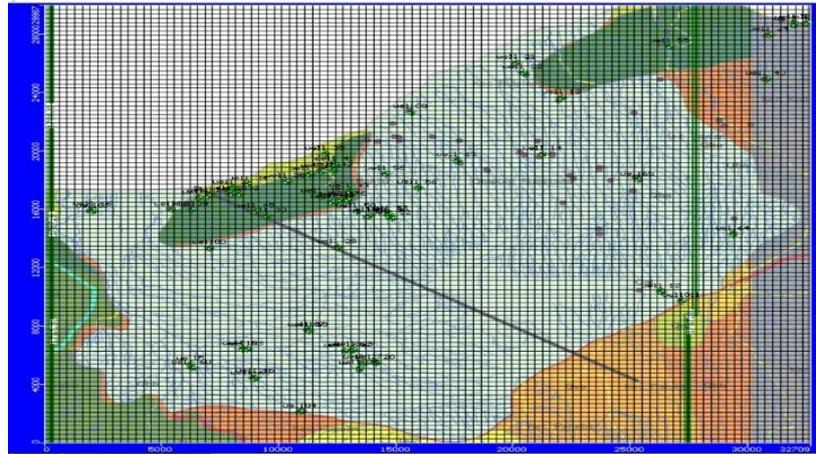
Karakteristik hidraulik akuifer yang berperan pada program *VISUAL MODFLOW* adalah *conductivity*, *storage*, *initial head*, dan *vadose zone*. Pada pemodelan air tanah di CAT Singaraja digunakan karakteristik konduktivitas, kapasitas dan *initial head* sebagai parameter model untuk melakukan simulasi.

Tabel 2. Data pumping well mulai dari tahun 1995 sampai dengan 2016

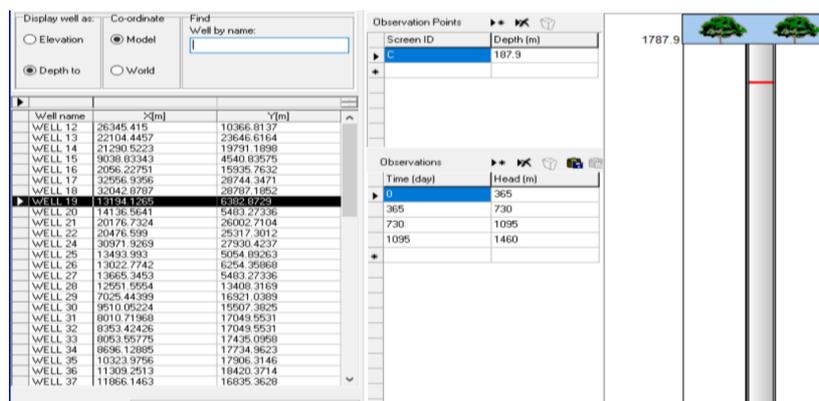
No.	Lokasi		Nama/Alamat	Jenis Usaha	Jenis Spa
Urut	Kec.	Desa	Perusahaan		
1	Banjar	Gobleg	PT. Marsini Bali (Munduk Moding Platation)	Hotel	Baru
2	Tejakula	Bondalam	PT. FELICIANAS RESORT Br. Dinas Jro Kuta	Hotel	Baru
3	Tejakula	Bondalam	PT. FELICIANAS RESORT Br. Dinas Jro Kuta	Hotel	Baru
4	Tejakula	Bondalam	PT. PRAMA VEDA BALI Br. Dinas Kelod Kauh	Hotel	Baru
5	Tejakula	Bondalam	PT. PRAMA VEDA BALI Br. Dinas Kelod Kauh	Hotel	Baru
6	Banjar	Kaliasem	PT. CARU DIAN Jl. Singaraja-Seririt, Br. Enjung Sanglang	Hotel	Baru
7	Banjar	Kaliasem	PT. CARU DIAN (ADIRAMA HOTEL & RESTAURANT)	Hotel	Baru
8	Buleleng	Pemaron	Hotel Puri Saron Jln. Pantai Baruna	Hotel	Perpanjangan
9	Buleleng	Pemaron	Hotel Puri Saron Baruna Beach Cottage	Hotel	Perpanjangan
10	Buleleng	Pemaron	PT. Indonesia POWER UP UPJP BALI Jln. Raya Singaraja Seririt KM.6	Pembangkit Listrik	Perpanjangan

Tabel 3. Data *pumping well* mulai dari tahun 2016 sampai dengan 2020

NO	LOKASI		NAMA/ALAMAT	K (m/hari)	JENIS	JENIS PENGAMBILAN AIR	
	KEC.	DESA	PERUSAHAAN		PIPA	S.BOR/S.GALI	Jumlah Pumping Test (l/dt)
1	2	3	4		6	7	8
1	Buleleng	Banyuasri	SAMA JAYA MOTOR Jl. A Yani No.196	23.4	Baru	SB	7
2	Buleleng	Kalibubuk	BANYUALIT SPA'N RESORT Jl. Lavian, Lovina	34.6	Baru	SG	7
3	Gerokgak	Pejarakan	PT. DINAR DARUM LESTARI (UNIT PERWAKILAN GORIS)	45.3	Baru	SB	7
4	Gerokgak	Pejarakan	PT. DINAR DARUM LESTARI	32.1	Baru	SB	8
5	Banjar	Temukus	PT. KRISNA WAHANA PERMAINAN (KRISNA FUNTASTIC LAND)	54.1	Baru	SB	8
6	Banjar	Temukus	CV. KRISNA KULINER (BEBEK TEPI SAWAH)	24.3	Baru	SB	8
7	Tejakula	Gredek	EDDY WAHYUONO Desa Gredek, Tejakula, buleleng	43.2	Baru	SG	5
8	Gerokgak	Sumber Kima	EDDY WAHYUONO Dusun Pengamanan, Ds.Sumber		Baru	SB	6
9	Banjar	Kaliasem	PT.SELTIM BATARA (Hotel Padmasari)	19.9	Baru	SG	7
10	Gerokgak	Pemuteran	PT GEDE ANUGRAH MARGI ANTARI	23.6	Baru	SB	5
16	Buleleng	Kampung Baru	PT ARTA SEDANA PROPERTINDO (HARDYS MALL URAPATI)	54.43	Perpanjangan	SB.1	5
17	Tejakula	Penutukan	PT. BALI VILLA DIVE RESORT (Jln. Singaraja-Amlapura)	23.67	Baru	SG.1	5
18	Tejakula	Penutukan	PONDOK WISATA ALAM MIMPI	43.2	Baru	SG.1	4
19	Gerokgak	Penyabagan	PT. YONISO MANASIKARA Jl. Seririt-Gilimanuk, Br. Triamerta	34.7	Baru	SB.1	6
20	Sukasada	Wanagiri	CV.BAGA TIRTA UTAMA (AIR MINUM DALAM KEMASAN)	34.3	Baru	SB.1	4
21	Buleleng	Kampung	PT. HARDYS GLOBAL INVESTINDO, SINGARAJA	37.9	Perpanjangan	SB.1	
22	Seririt	Sulanyah	PT. MEKAR SHANTI GRAHA	39.5	Perpanjangan	SB.1	3



Gambar 6 Distribusi *Pumping Well* di CAT Singaraja



Gambar 7. Tampilan *Input* untuk *Pumping Well*

Tabel 5. Koefisien Kelulusan Sumur Bor PAT pada CAT Singaraja

No	Nilai K (m/hari)	Jumlah Sumur	%	Kelas
1.	$< 10^{-3}$	-	-	-
2.	$10^{-3} - 10^{-2}$	-	-	Rendah
3.	$10^{-2} - 10^{-1}$	1	1.64	-
4.	$10^{-1} - 10^0$	12	19.67	Sedang
5.	$10^0 - 10^1$	44	72.13	-
6.	$10^1 - 10^2$	4	6.56	Tinggi
7.	$> 10^2$	-	-	-
	Jumlah	61	100	

(Sumber : USGS, 1965)

Untuk lebih jelasnya nilai konduktivitas dari setiap sumur tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Kapasitas ($S = storage$), yang digunakan dalam pemodelan ini adalah dengan menggunakan data yang homogen diseluruh lokasi CAT Singaraja secara horizontal namun berbeda secara vertikal. Kapasitas ($storage$) yang digunakan dalam program MODFLOW terdiri dari kapasitas spesifik ($specific\ storage$), $specific\ yield$, porositas efektif dan total porositas. Adapun nilai dari setiap variabel tersebut adalah sebagai berikut :

- Kapasitas spesifik (S_s) = 10^{-5} (1/m)
- $Specific\ Yield (S_y)$ = 0.2
- $Eff. Porosity$ = 0.15 dan $total\ porosity$ = 0.3

Tabel 7 Koefisien keterusan sumur bor di CAT Singaraja

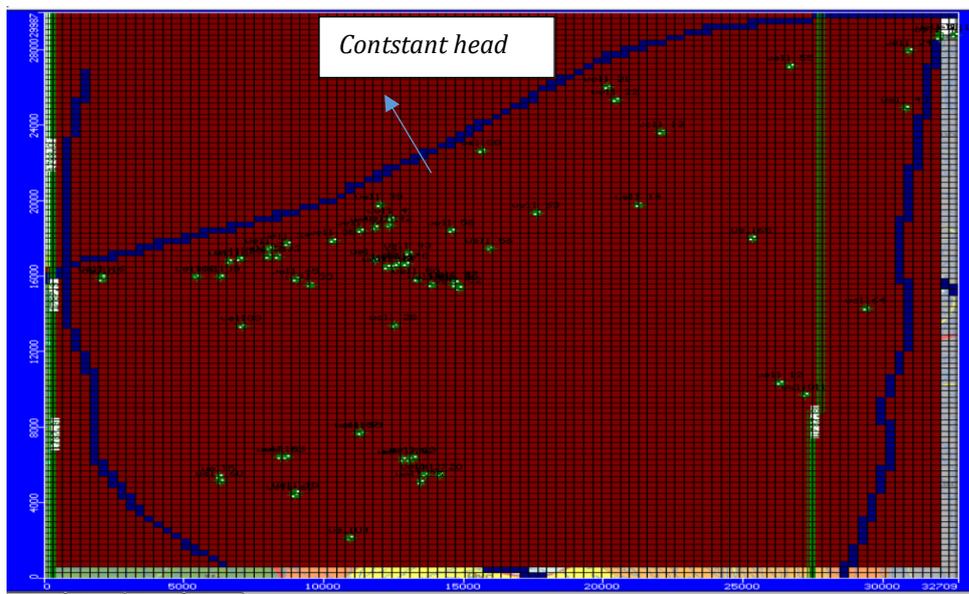
Nilai T (m ² /hari)	Jml Sumur	%	Kelas Potensi	
			Domestik	Irigasi
< 1	-	-	Kecil	-
1 - 10 ¹	4	6,56	Sedang	-
10 ¹ - 10 ²	46	75,41	Besar	Kecil
10 ² - 10 ³	9	14,75	-	Sedan
> 10 ³	2	3,28	-	g
			Besar	
Jumlah	61	100		

(Sumber : USGS, 1965)

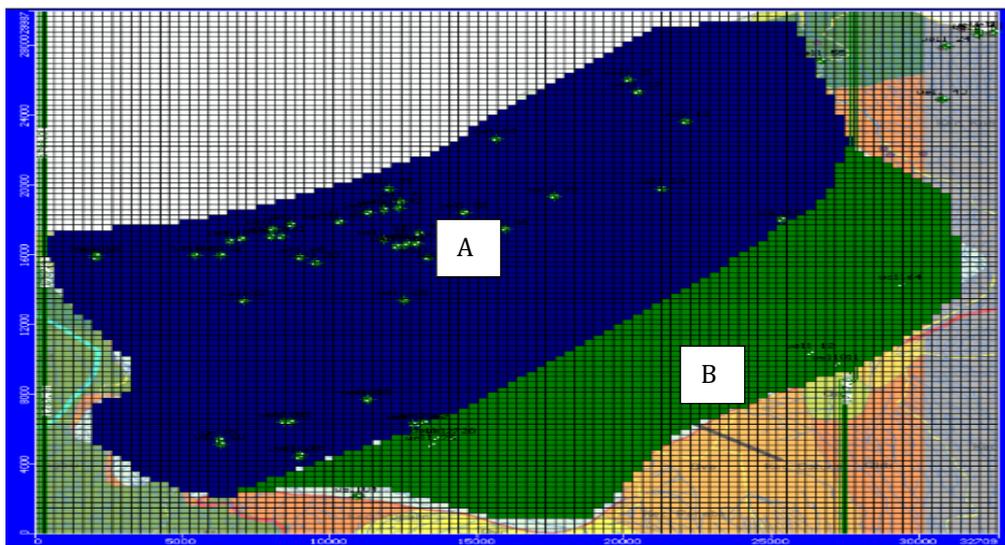
4. *Kondisi Batas (Boundary Conditions)*

Kondisi batas atau *boundary conditions* yang ada di program MODFLOW 4.3 terdiri dari 8 variabel yaitu *constant head*, *river*, *stream*, *general head*, *drain*, *wall*, *recharge* dan *evapotranspiration*. Kondisi batas ini tidak sekaligus semua variabel digunakan pada waktu melakukan pemodelan namun tergantung pada kondisi lokasi dan ketersediaan data. Untuk kasus di CAT Singaraja kondisi batas yang digunakan adalah adanya *constant head*, *wall* dan juga *recharge*.

Constant head digunakan pada grid yang berada di sepanjang daerah pesisir pantai sampai pada batas sebelah barat dari CAT yang merupakan sebuah sungai begitu pula sebelah timur berupa sungai. Selain itu juga digunakan *Wall* yang digunakan untuk membatasi wilayah sebelah timur sampai ke selatan yang digunakan untuk membatasi pengaruh di luar dari system CAT Singaraja. Sedangkan *Recharge* digunakan pada seluruh grid yang berada pada CAT Singaraja. *Recharge* tersebut berbeda-beda berdasarkan sub daerah aliran sungai yang berada dalam CAT tersebut. Nilai *recharge* yang digunakan diperoleh berdasarkan hasil analisa hidrologi dengan menggunakan nilai curah hujan 10 tahun terakhir pada daerah tersebut. Distribusi *recharge* di CAT Singaraja dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Distribusi *constant head* dan *wall*.



Gambar 9. Distribusi *Recharge* di CAT Singaraja

Nilai *recharge* untuk peta di atas adalah sebagai berikut :

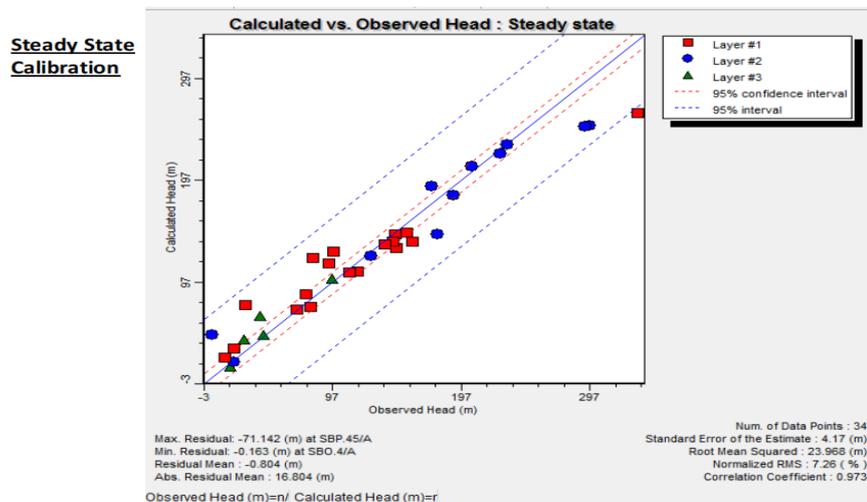
- A = 892.3 mm/tahun
- B = 1575.3 mm/tahun

5. Kalibrasi Model MODFLOW

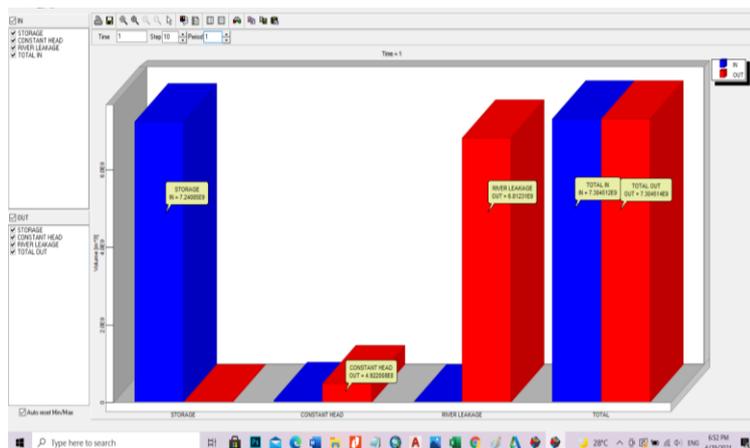
Kalibrasi model dilakukan untuk melihat perilaku hasil model dengan kenyataan di lapangan. Kalibrasi model yang digunakan adalah muka air yang terjadi pada tahun 1986 dengan pengambilan air melalui *pumping well* dan lain- lain sebelum tahun 1986. Hasil muka air yang diperoleh disesuaikan dengan kenyataan di lapangan secara regional, dan bukan dilihat berdasarkan muka air yang terjadi pada suatu *grid*. Adapun muka air tanah yang dihasilkan oleh penelitian Karmadi, K.A dkk.,2020.

3. HASIL STUDI DAN PEMBAHASAN

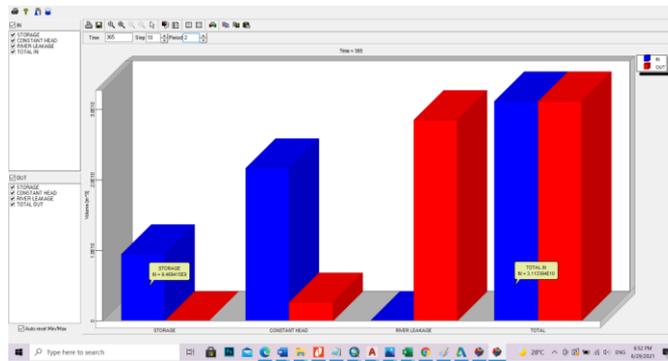
Setelah data berhasil diinputing dan telah dilakukan kalibrasi model secara regional dengan melihat pola muka air yang terjadi seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, maka selanjutnya melakukan simulasi atau menjalankan program untuk melihat hasil perilaku kondisi air tanah dengan periode sampai pada tahun 2006. Berdasarkan hasil simulasi, maka dapat dilihat hasil keluaran model berupa elevasi muka air tanah yang terjadi serta surutan (*drawdown*) dan juga pergerakan besarnya kecepatan aliran air tanah baik besar maupun arah aliran yang terjadi. Nilai tersebut dapat dilihat pada setiap *grid* yang telah dilakukan pemodelan. Namun program MODFLOW 4.3 memberikan informasi dari setiap *grid*nya seperti terlihat pada Gambar 10.



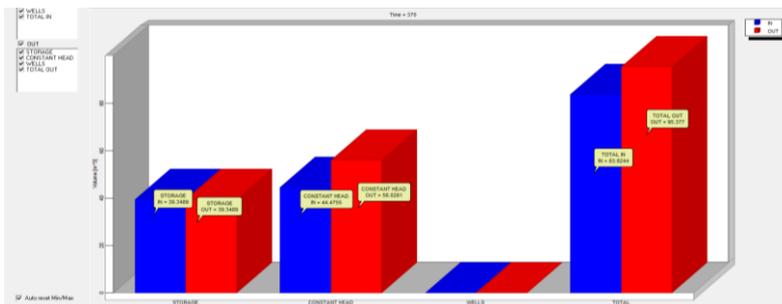
Gambar 10. Kalibrasi Muka Air Tanah Kondisi Tunak Pemodelan Air Tanah CAT Singaraja



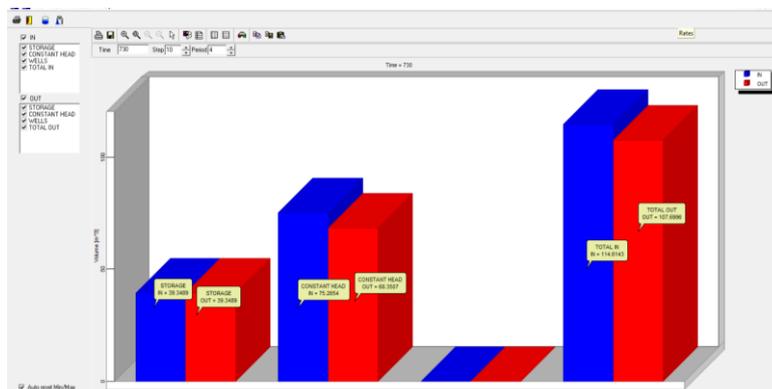
Gambar 11. Grafik yang menunjukkan tahapan skenario periode 1. (STEP PERIODE 01)



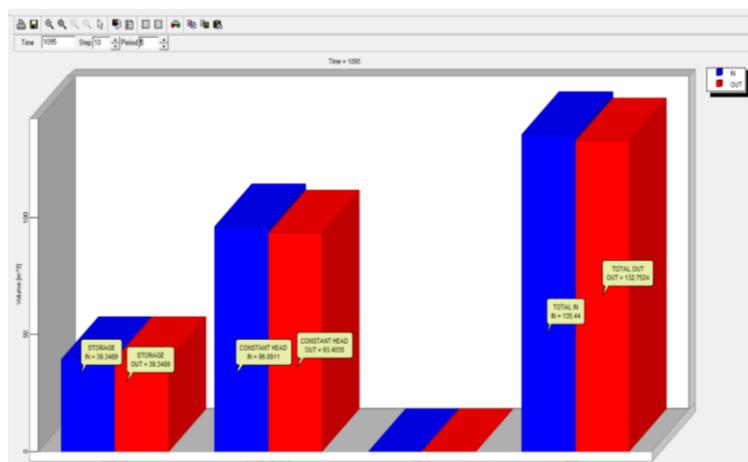
Gambar 12. Grafik yang menunjukkan tahapan skenario periode 2 (TIME STEP PERIODE 2).



Gambar 13. Grafik yang menunjukkan tahapan skenario periode 3 (TIME STEP PERIODE 3)



Gambar 14. Grafik yang menunjukkan tahapan skenario periode 1 (TIME STEP PERIODE 4)



Gambar 15. Grafik Yang Menunjukkan Tahapan Skenario Periode 5 (Time Step Periode 5)

Selain dari pemodelan di atas juga dilakukan suatu pengembangan pengambilan air tanah yang tidak terkontrol dengan melakukan skenario pengambilan air tanah. Adapun skenario yang dibuat adalah sebagai berikut :

- Skenario I : dilakukan penambahan pemompaan pada setiap grid mulai elevasi 25 m ke bawah dengan laju pemompaan sekitar 5 l/s.
- Skenario II : dilakukan penambahan pemompaan pada setiap grid mulai elevasi 25 m ke bawah dengan laju pemompaan sekitar 10 l/s.
- Skenario III : dilakukan penambahan pemompaan pada setiap grid mulai elevasi 25 m ke bawah dengan laju pemompaan sekitar 15 l/s.
- Skenario IV : dilakukan penambahan pemompaan pada setiap grid mulai elevasi 25 m sampai elevasi 250 m dengan laju pemompaan sekitar 5 l/s.
- Skenario V : dilakukan penambahan pemompaan pada setiap grid mulai elevasi 25 m sampai elevasi 250 m dengan laju pemompaan sekitar 10 l/s.
- Skenario VI : dilakukan penambahan pemompaan pada setiap grid mulai elevasi 25 m sampai elevasi 250 m dengan laju pemompaan sekitar 15 l/s.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pemodelan yang dilakukan maka dapat diberikan kesimpulan bahwa pengambilan air tanah yang tidak terkontrol yang dilakukan pada pemodelan menunjukkan terjadinya perubahan muka air tanah serta terjadinya surutan pada CAT Singaraja, perubahan muka air yang terjadi dengan meningkatnya laju pengambilan air tanah mulai dari Selatan menuju Utara, perubahan kontur muka air tanah yang lebih besar terjadi pada skenario I sampai dengan skenario III dibandingkan dengan skenario IV sampai dengan skenario VI, dan surutan muka air tanah yang terjadi berkisar antara 0 cm sampai dengan 150 cm dengan rata – rata 65,3 cm yang terjadi pada skenario III.

4.1 Saran

Pemerintah Daerah Provinsi Bali perlu melaksanakan inventarisasi sumur produksi untuk melengkapi data yang telah ada, terutama penentuan koordinat lokasi, kedalaman, kedudukan akuifer yang disadap, debit pengambilan air tanah, dan konstruksi semua sumur produksi yang ada di wilayahnya. Hal itu penting dilakukan untuk melakukan simulasi debit air tanah pada periode 3 tahun hingga 5 tahun mendatang yang bertujuan untuk validasi data debit dan kalibrasi permukaan air tanah hasil penghitungan dengan skenario yang telah ditetapkan, sebagai acuan bagi Pemda setempat dalam penyusunan rencana pengelolaan air tanah khususnya dalam hal pengendalian penggunaan air tanah di CAT Singaraja.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Bali-Penida (BWS Bali – Penida) dan Sub Dinas Energi dan sumber Daya Mineral Provinsi Bali (ESDM) yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada PT. Sari Arta Utama yang telah membantu dalam pencarian data untuk pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad Nubli Gadeng, Dede Rahmad, D. 2020. *Jurnal Ilmu Lingkungan. Kajian Tipologi Dan Pemanfaatan Sumber Daya Air Provinsi Aceh.*

Harbaugh, a. and McDonald, M. 1996. *User's Documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey Modular Finite-Difference Ground-Water Flow Model. Open-File Report, US Geological Survey.*

Elkrail, Adil Balla and Abdalla E. Ibrahim. 2008. *Regional groundwater flow modeling of Gash River Basin, Sudan. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, 3 (3): 157-167.*

Karmadi, K.A., Redana, I.W., Simpensimpen, I.N. and Infantri, M. 2020. Study of groundwater and intrusion zonation conservation in North Bali Sea. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*.

Rojanschi, V., J. Wolf, and R. Barthel. 2006. Storage cascade vs. MODFLOW for the modelling of groundwater flow in the context of the calibration of a hydrological model in the Ammer catchment. *Advanced in Geosciences*, 9, 101–108.

Straface, S., Enzo Rizzo, and Francesco Chidichimo. 2010. Estimation of hydraulic conductivity and water table map in a large-scale laboratory model by means of the self-potential method. *Journal of Geophysical Research*, vol. 115.

He, B., Keiji Takase, and Yi Wang. 2008. A Semi-distributed groundwater recharge modeling for estimating water-table and water balance variables. *Hydrogeology Journal* 16:1215-1228.

Satmoko, Y. 2010. Jurnal air Indonesia = Indonesia water journal. *Jurnal Air Indonesia*.

Widodo, A. 2020. Back Matter Jurnal Tanah dan Air Vol 17 No 1, 2020. *JURNAL TANAH DAN AIR (Soil and Water Journal)*.