



POTENSI AIR TANAH DI WILAYAH PENGUNGSIAN ERUPSI GUNUNG AGUNG BALI

GROUNDWATER POTENTIAL AT MOUNT AGUNG ERUPTION REFUGEE AREA

Yan Adhitya¹⁾ Isnan Fauzan¹⁾ Heni Rengganis¹⁾

¹⁾Balai Litbang Hidrologi dan Tata Air, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jl. Ir H, Juanda No 193 Bandung 40135. Indonesia

Email : yanadhitya@yahoo.co.id, henirengganis@yahoo.com

Diterima: 22 Februari 2019 ; Direvisi: 21 Maret 2019; Disetujui: 8 Juli 2019

ABSTRACT

Gunung Agung is a stratovolcano type which has height of 3,142 msl and is located in Karangasem Regency, Bali Province. At the end of 2017, Mount Agung's volcanic activity increased until it finally erupted several times in October until December. The government has prepared refugee area at the foot of Mount Agung, that are not directly affected by eruption. At plan, there are 19 drilling points points that will be carried out to get the raw water in the evacuation site. This paper presents the groundwater recharge potency including the distribution of water, hydrogeological conditions and the magnitude of groundwater recharge potency at hillside of Mount Agung and the surrounding area. The method used in this study is a survey, calculation of recharge potency, analysis and evaluation of hydrogeological conditions, distribution of water and calculation of groundwater recharge potency. From the results of the analysis, ground water at the foot of Mount Agung has the potential to be utilized and developed primarily to cover raw water needs in several refugee area, namely in the Subdistricts of Sidemen, Abang and Karangasem. The result of the analysis is that the largest groundwater potential is in Kubu Sub-District, namely 97,560,207 m³ / year, with a position that is relatively susceptible to primary hazards and secondary to Mount Agung eruption. For locations that are relatively safe and reachable in the area, they are in Tianyar, Sukadana, Baturingggit, Kubu, and Tulamben Villages, all of which are on the coast of the sea. These results are expected to be used by local governments in an effort to deal with the provision of water from the impact of the eruption of Mount Agung.

Keywords: Eruption, ground water, potential recharge, hydrogeology, water resources

ABSTRAK

Gunung Agung merupakan gunung api tipe stratovolcano yang memiliki tinggi 3.142 mdpl dan terletak di Kabupaten Karangasem, Provinsi Bali. Pada akhir 2017, aktivitas vulkanisme Gunung Agung meningkat hingga akhirnya terjadi beberapa kali erupsi pada bulan Oktober hingga Desember. Pemerintah telah menyiapkan kantong-kantong pengungsian di kaki Gunung Agung, pada daerah yang tidak terdampak erupsi secara langsung. Terdapat 19 titik rencana pengeboran yang akan dilakukan guna mencukupi kebutuhan air baku pada lokasi pengungsian. Tulisan ini menyajikan potensi imbuhan air tanah mencakup sebaran sumber-sumber air, kondisi Hidrogeologi dan besaran potensi imbuhan air tanah di kaki Gunung Agung dan sekitarnya. Metode yang digunakan pada kajian ini yaitu survei lapangan, perhitungan potensi imbuhan, analisis dan evaluasi kondisi hidrogeologi, sebaran sumber-sumber air serta perhitungan potensi imbuhan air tanah. Air tanah pada kaki Gunung Agung berpotensi untuk dimanfaatkan dan dikembangkan terutama untuk menutupi kebutuhan air baku pada beberapa lokasis pengungsian, yaitu di Kecamatan Sidemen, Abang dan Karangasem. Dari hasil analisis potensi air tanah terbesar berada di Kecamatan Kubu yaitu 97.560.207 m³/thn, dengan posisi lokasi yang relatif rentan terhadap bahaya primer dan sekunder erupsi gunung Agung. Untuk lokasi yang relatif aman dan bisa dijangkau pada wilayah tersebut berada di Desa Tianyar, Sukadana, Baturingggit, Kubu, dan Desa Tulamben yang kesemuanya berada di pesisir laut. Hasil ini diharapkan dapat digunakan oleh pemerintah daerah dalam upaya menangani penyediaan air penduduk dampak erupsi Gunung Agung.

Kata kunci: Erupsi, air tanah, potensi imbuhan, hidrogeologi, sumber air

PENDAHULUAN

Gunung Agung merupakan salah satu gunung api di pulau Bali dengan tipe *stratovolcano*, yaitu gunung api yang mempunyai bentuk khas mengerucut dengan kubah lava di atasnya dan memiliki material penyusun yang berlapis antara lava, piroklastik dan abu vulkanik. Gunung api lainnya yang terdapat di Pulau Bali adalah Gunung Bratan dan Gunung Batur. Gunung Agung adalah gunung tertinggi di Pulau Bali dengan ketinggian pada 3.142 mdpl- terletak di bagian tengah-timur Pulau Bali tepatnya di Kabupaten Karangasem .

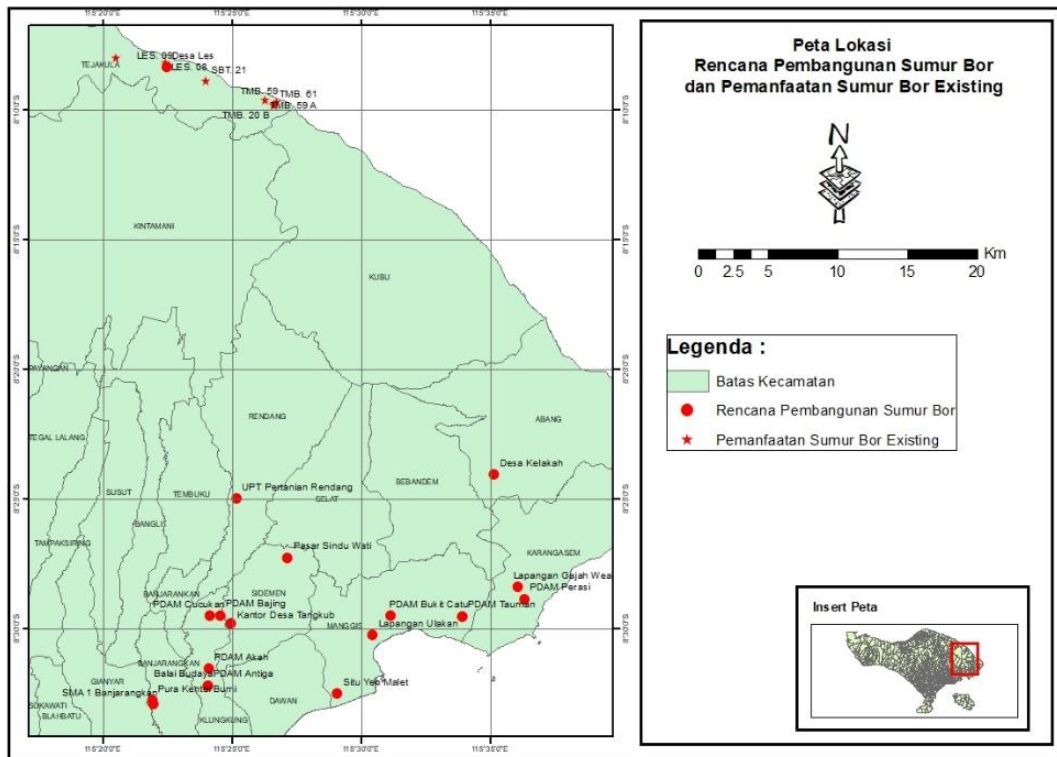
Gunung yang merupakan tujuan wisata mancanegara ini belum lama menunjukkan aktifitas vulkaniknya berupa gempa-gempa dangkal yang sering terjadi sebagai akibat pergerakan magma menuju permukaan, puncaknya berupa letusan *phreatic* yang terjadi akibat akumulasi air yang terkumpul di kubah lava. Erupsi Gunung Agung terakhir terjadi pada tahun 1963, dan pada tahun 2017 yang lalu gunung tersebut kembali mengalami erupsi (Kompas, September 2017).

Akibat aktifitas vulkanik yang meningkat hingga berujung erupsi, menyebabkan banyak penduduk yang mengungsi ke tempat yang lebih aman. Pengungsi Gunung Agung yang tersebar di sejumlah posko di Kabupaten Karangasem memerlukan penyediaan air dalam upaya mengantisipasi semakin dahsyatnya erupsi gunung tertinggi di Bali itu.

Dampak lain dari erupsi gunung Agung yaitu berhentinya sumber air dari PDAM, sehingga dalam pengamatan lapangan banyak dijumpai warga harus mengantri untuk mendapat air. Hal ini semakin banyak dijumpai pada lokasi-lokasi pengungsian, dimana penyediaan air bersih melalui penampungan komunal dilakukan.

Sungai-sungai dari hulu Gunung Agung di Karangasem pada umumnya bemuara ke Tukad Unda di Klungkung. Sejumlah sungai menjadi jalur lahar dingin akibat aktivitas erupsi, seperti Sungai Bambang Biaung, Sungai Yeh Sah, Sungai Telaga Waja, dan Sungai Tukad Dalem.

Berbagai macam upaya oleh pemerintah daerah dan pusat dalam operasi tanggap darurat telah dilakukan, salah satunya adalah pembuatan beberapa sumur bor dalam yang dilakukan oleh Kementerian PUPR dan ESDM. Sumur bor dalam ini digunakan sebagai sumber air baku untuk menutupi kebutuhan air bersih bagi penduduk disekitar kaki Gunung Agung, terutama untuk memenuhi kebutuhan air bersih pada kantong-kantong pengungsian yang dibuat oleh pemerintah daerah. Dalam rangka menangani penyediaan air bersih di area pengungsian, Balai Wilayah Sungai Bali Penida Kementerian PUPR dan Kementerian ESDM merencanakan pembuatan sumur bor berjumlah 19 titik sumur bor dalam dan 8 titik pemanfaatan sumur bor eksisting yang tersebar di kaki Gunung Agung, seperti ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Rencana Pembangunan Sumur Bor dan Pemanfaatan Sumur Bor Existing

Tulisan ini menyajikan potensi air tanah mencakup sebaran sumber-sumber air, kondisi Hidrogeologi dan besaran potensi imbuan air tanah di kaki Gunung Agung dan sekitarnya. Metode yang digunakan pada kajian ini yaitu survei lapangan dalam rangka pengumpulan data primer, perhitungan potensi imbuan, analisis perhitungan potensi imbuan air tanah dan evaluasi kondisi hidrogeologi, sebaran sumber-sumber air serta perhitungan potensi air tanah.

Hasil analisis dan evaluasi ini diharapkan dapat digunakan oleh pemerintah daerah maupun pusat dalam upaya menangani penyediaan air penduduk dampak erupsi Gunung Agung. Cekungan air tanah di area Gunung Agung, Bali dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

Kondisi Hidrogeologi Gunung Agung

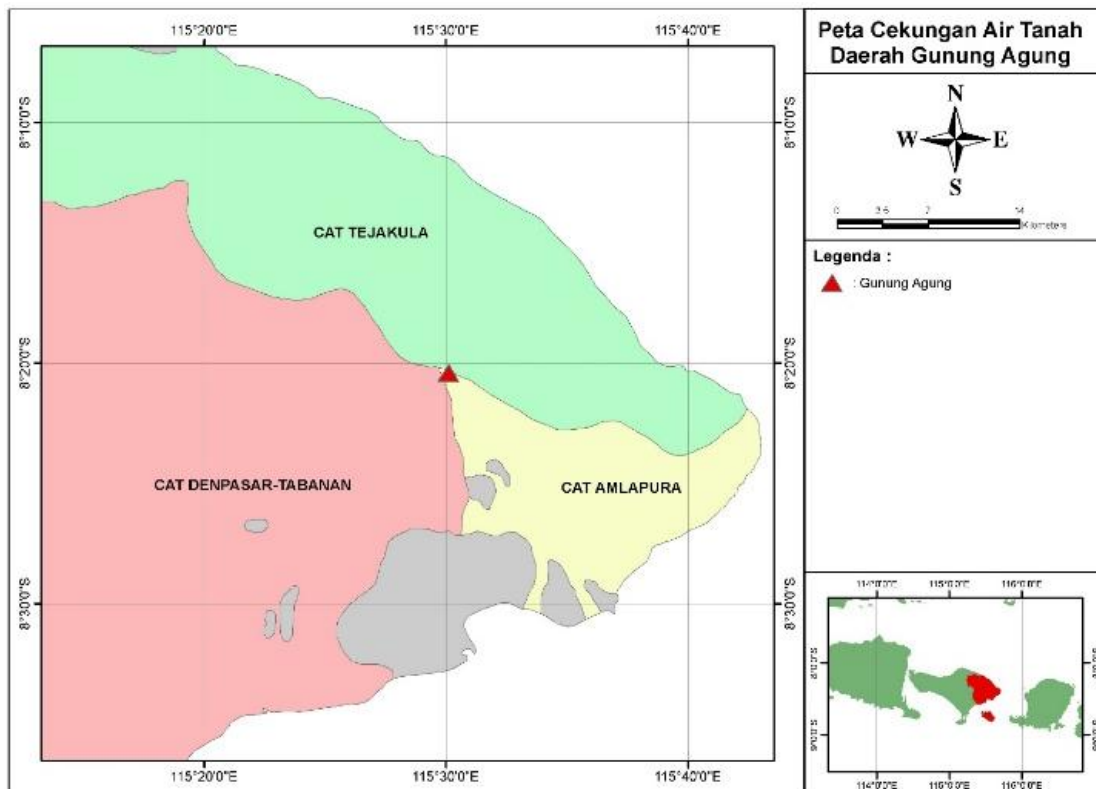
Berdasarkan Peta Hidrogeologi Lembar Pulau Bali, Gunung Agung memiliki potensi daerah air tanah langka mulai dari puncak hingga radius ± 4 km. Pada bagian bawahnya terbentang daerah dengan akuifer yang produktif, namun jarang pemanfaatannya dikarenakan dalamnya muka air tanah.

Wilayah Gunung Agung terbagi menjadi 3 cekungan airtanah/CAT (Permen ESD No.02 Tahun 2017) yaitu:

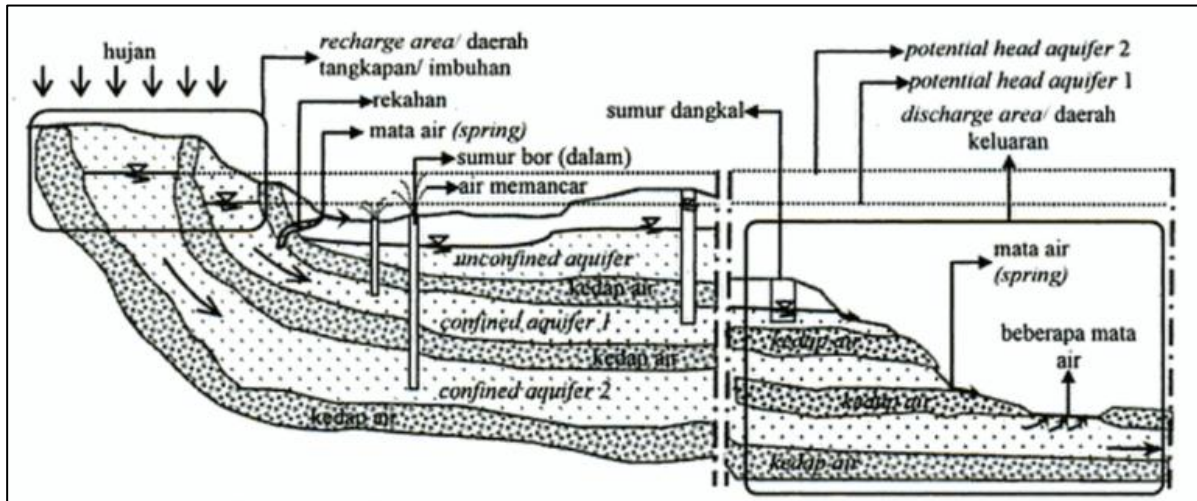
- 1 CAT Tejakula dengan luas total 764,14 km², meliputi wilayah Kabupaten Buleleng, Karangasem dan Bangli.
- 2 CAT Amlapura, memiliki luas 200 km² masuk ke dalam wilayah administrasi Kabupaten Karangasem.
- 3 CAT Denpasar-Tabanan termasuk ke dalam wilayah Kota Denpasar, Kabupaten Badung, Tabanan, Gianyar, Klungkung, dan Bangli dengan luas sebesar 2080 km².

Imbuan Air Tanah

Imbuan air tanah adalah proses masuknya air ke dalam zona jenuh air sehingga membentuk suatu garis khayal yang disebut sebagai garis muka air tanah (*water table*) dan bercampur dengan aliran air dalam kondisi jenuh tersebut ke arah daerah luhan. Sedangkan daerah tempat berlangsungnya proses meresapnya air tanah disebut daerah resapan atau daerah imbuan air tanah (*recharge zone*). (Teggu dan A.M Imran, 2013). Proses pengimbuhan air tanah dalam suatu cekungan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Peta Cekungan Air Tanah Gunung Agung



Gambar 3 Proses pengimbuhan air tanah (Grigg 1996, dalam Kodoatie 2010) yang disederhanakan.

Menurut Saiful Islam, dkk (2015), imbuhan air tanah merupakan komponen fundamental dalam keseimbangan air setiap daerah aliran sungai karena hampir tidak mungkin untuk mengukur secara langsung. Banyak metode telah digunakan untuk memperkirakan imbuhan, dan dalam beberapa kasus aliran dasar telah digunakan sebagai perkiraan imbuhan. Rekomendasi umum dalam literatur adalah bahwa imbuhan harus diperkirakan dari beberapa metode dan hasilnya dibandingkan, namun kenyataannya, membandingkan hasilnya mungkin sulit karena perbedaan yang ada dalam metode.

McMahon, dkk (2011) menjelaskan bahwa berbagai faktor lingkungan seperti iklim, kondisi geologi, tata guna lahan, jenis tanah, dan topografi berpengaruh terhadap imbuhan. Secara regional, imbuhan menunjukkan korelasi terbalik dan signifikan dengan suhu udara rata-rata tahunan dan korelasi positif yang signifikan dengan curah hujan tahunan rata-rata.

Hasil kajiannya menunjukkan besaran imbuhan 22% dari curah hujan tahunan rata-rata pada lokasi non-irigasi, sedangkan di area irigasi 40% dari curah hujan.

Menurut (Yongxin & Beekman, 2003). Besaran Imbuhan air tanah sangat sulit untuk diperkirakan dengan akurat, pada banyak kasus metode estimasi imbuhan diperlukan lebih dari satu. Ada banyak metode yang tersedia untuk menghitung imbuhan air tanah, dikarenakan terdapat sumber dan proses imbuhan yang berbeda.

Dalam paparannya, Scanlon, dkk (2002) menjelaskan bahwa setiap metode memiliki keterbatasan sendiri dalam hal penerapan dan keandalan, maka dianjurkan bahwa sebanyak mungkin cara yang digunakan dalam percobaan

sehingga hasil setiap cara dapat dibandingkan dengan cara yang lain.

Soenarto, B (1991) dalam kajiannya melakukan perhitungan recharge airtanah tahunan Pulau Bali hingga batas Kabupaten, dengan parameter hujan wilayah menggunakan metode isohyet. Sedangkan dalam kajian ini, perhitungan recharge dipersempit hingga kecamatan dan menggunakan parameter hujan wilayah dengan metode thiessen.

METODOLOGI

Metode yang digunakan pada kajian ini yaitu pengumpulan data, perhitungan, analisis dan evaluasi. Analisis dan evaluasi potensi air tanah dilaksanakan berdasarkan kondisi Hidrogeologi, sebaran sumber-sumber air dan hasil perhitungan potensi imbuhan. seperti diuraikan berikut ini. Kegiatan ini diawali dengan studi literatur dan pengumpulan data sekunder serta survei lapangan daerah terdampak erupsi Gunung Agung termasuk identifikasi lokasi sumber air berupa sungai, mata air dan sumur bor.

Peta yang digunakan pada kajian ini diantaranya Peta Geologi, Peta Hidrogeologi, Peta Cekungan Air Tanah, yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM dan Peta Kawasan Rawan Bencana, yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

Metode Perhitungan Potensi Imbuhan

Teknik untuk menghitung potensi imbuhan, telah banyak tersedia. Ketidakpastian dalam setiap pendekatan untuk mengestimasi imbuhan menekankan perlunya penerapan beberapa teknik untuk meningkatkan keandalan perkiraan imbuhan. Imbuhan tidak dapat diukur secara

langsung, dan karenanya, harus disimpulkan, biasanya melalui penerapan beberapa metode (Scanlon et al., 2002).

Perhitungan besaran potensi imbuhan air tanah pada tulisan ini dihitung dari estimasi imbuhan berdasarkan presentase hujan rata-rata tahunan, dengan asumsi bahwa sebagian air meresap ke dalam tanah dan masuk ke dalam sistem air tanah (Binnie and Partners, 1983), dengan rumus sebagai berikut:

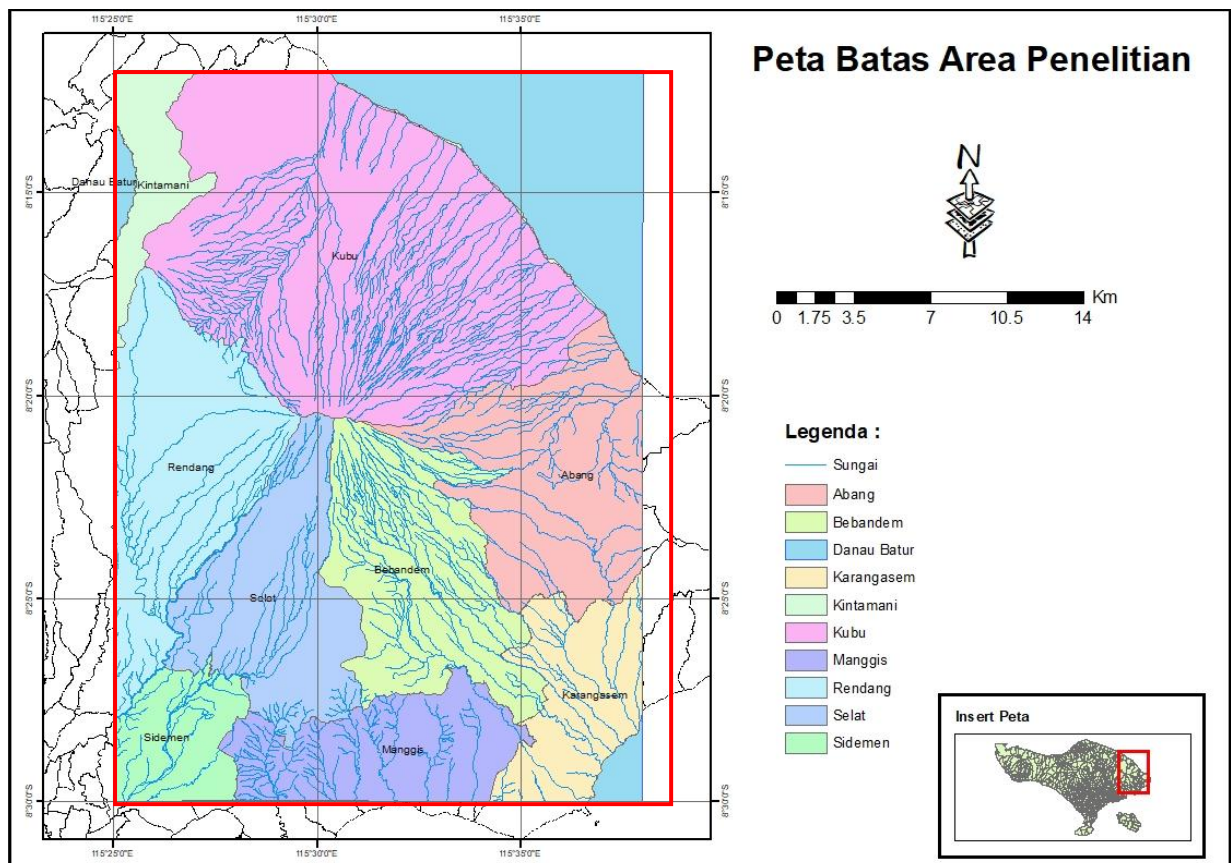
$$RC (m^3/tahun) = CH (mm/tahun) \times Area (m^2) \times \%RC \dots(1)$$

Keterangan:

- RC = besarnya imbuhan air tanah
- CH = curah hujan tahunan
- Area = luas area litologi
- %RC = persentase imbuhan dari hujan tahunan

Perhitungan curah hujan tahunan dihitung dengan menggunakan data hujan dari 6 pos hujan yang tersebar, diantaranya Pos Hujan Rendang, Susuan, Pengotan, Talengan, Poh Santen dan Pidpid. Analisis hujan wilayah secara spasial dengan metode thiessen menggunakan model GIS, dengan melakukan perbandingan bobot antara luas cakupan masing-masing pos hujan terhadap total luas cakupan seluruh pos hujan.

Luas area litologi dihitung berdasarkan luas masing-masing jenis litologi secara spasial dengan dasar Peta Geologi Gunung api Agung-Bali menggunakan model GIS. Lokasi kajian dilakukan di daerah terdampak erupsi Gunung Agung dan sekitarnya dengan batas wilayah seperti ditampilkan pada Gambar 4, meliputi 9 kecamatan yaitu Kec. Kintamani di Kabupaten Bangli, Kec Abang, Bebandem, Karangasem, Kubu, Manggis, Rendang, Selat dan Sidemen Kabupaten Karangasem.



Gambar 4 Peta Batas Area Kajian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Daerah Kajian

Morfologi kaki Gunung Agung merupakan topografi khas gunung api vulkanik, yang kaya akan material vulkanik berupa batuan andesitadan pasir piroklastik. Tanahnya yang subur banyak dimanfaatkan sebagai lahan pertanian penduduk, dan kawasan wisata alam. Disamping pemanfaatan sebagai kawasan pertanian dan wisata alam, terdapat bahaya yang sewaktu-waktu dapat mengancam makhluk hidup yang ada di kawasan terdampak tersebut khususnya pada aliran sungai utama.

Wilayah terdampak pada kaki Gunung Agung menurut BNPB dibagi menjadi 3 kawasan yang dihitung berdasarkan radius sebaran material erupsi. Area terdampak dibagi menjadi 3, yaitu radius sejauh 6 km, 9 km, dan 12 km dihitung dari puncak gunung. Terdapat 4 Desa terdampak dalam radius 6 km, yaitu Desa Dukuh, Besakih, Bhuana Giri dan Sebudi. Desa terdampak dalam radius 9 km meliputi Desa Ban, Baturinggit, Datah, Nawakerti, Pempatan, Jungutan, dan Sukadana. Radius 12 km melingkupi Desa terdampak Sukadana, Kubu, Tulamben, Pidpid, Ababi, Budakeling, Bebandem, Sibetan, Duda Utara, Duda, Amerta Bhuana, Peringsari, Muncan, Menanga, Suter, Abang Songan.

Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gunung Agung menurut peta yang dikeluarkan BNPB tahun 2017 dibagi menjadi 3, yaitu:

- 1 KRB III, adalah kawasan yang sangat berpotensi terlanda awan panas, aliran lava, guguran lava, lontaran batu (pijar), dan/atau gas beracun. Kawasan ini meliputi daerah puncak dan sekitarnya
- 2 KRB II, adalah kawasan yang berpotensi terlanda awan panas, aliran lava, lontaran batu (pijar) dan/atau guguran lava, hujan abu lebat, hujan lumpur panas, aliran lahar, dan gas beracun.
- 3 KRB I, adalah kawasan yang berpotensi terlanda lahar, tertimpa material jatuhnya berupa hujan abu, dan/atau air dengan keasaman tinggi. Apabila letusan membesar, kawasan ini berpotensi terlanda perluasan awan panas dan tertimpa material jatuhnya berupa hujan abu lebat, serta lontaran batu (pijar).

Bahaya letusan gunung api terdiri dua, yakni bahaya primer dan bahaya sekunder (PVMBG, Badan Geologi-ESDM). Bahaya Primer adalah bahaya yang langsung menimpa penduduk ketika letusan berlangsung. misalnya, awan panas, udara panas sebagai akibat samping awan panas, dan

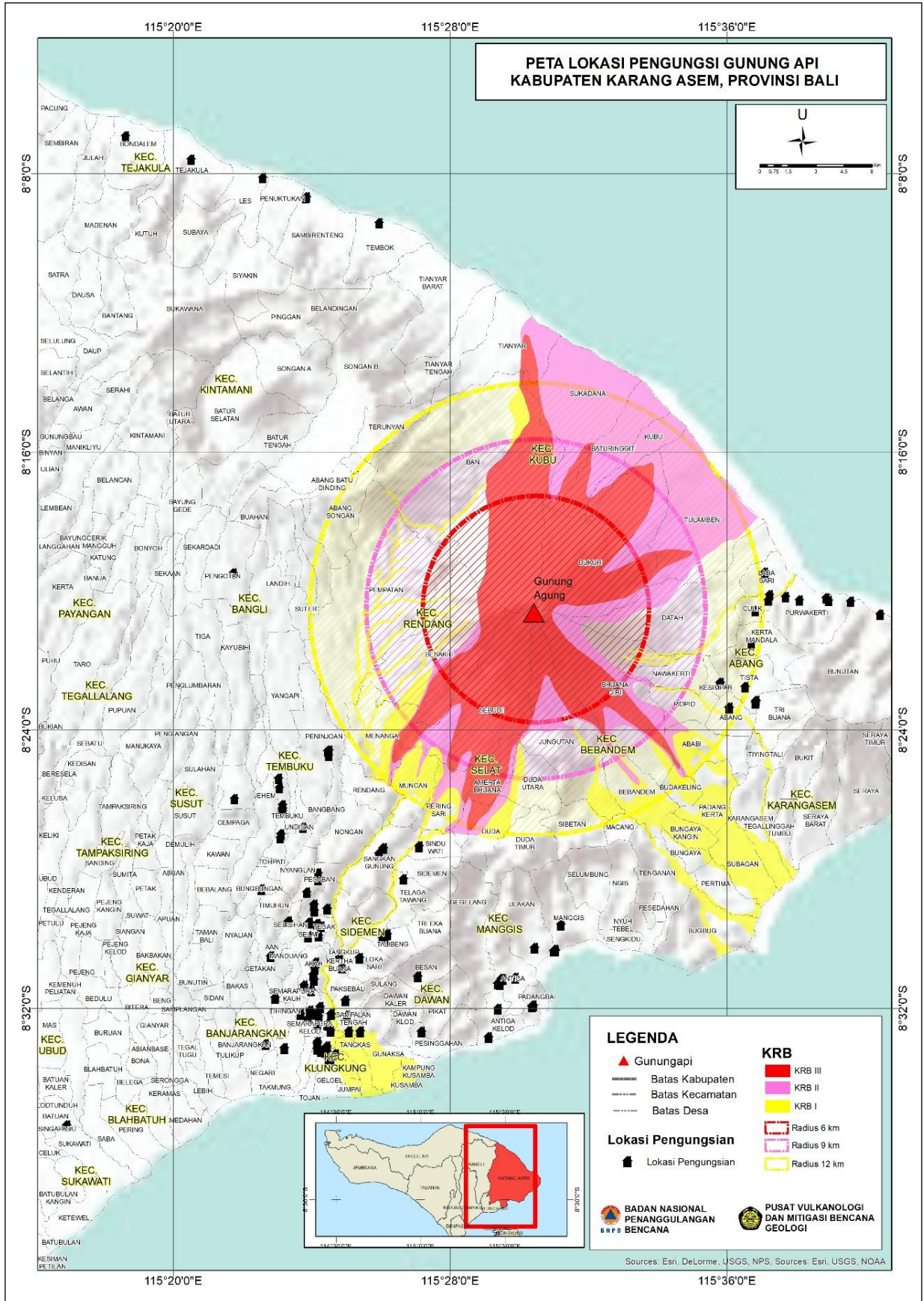
lontaran material. Bahaya sekunder terjadi secara tidak langsung dan umumnya berlangsung setelah letusan letusan terjadi, seperti lahar dingin yang dapat menyebabkan kerusakan lahan dan pemukiman (Rahayu, dkk. 2014).

Potensi bahaya primer dan sekunder akibat letusan Gunung Agung digambarkan ke dalam batas Kawasan Rawan Bencana (KRB) I, II dan III. Sebagian besar batas area KRB mengikuti alur-alur sungai yang ada di kaki Gunung Agung, hal ini mengikuti sifat bahaya sekunder berupa lahar dingin yang mengalir melalui sungai-sungai di sekitar kaki Gunung Agung. Zona-zona pengungsian yang dibuat oleh BNPB menjauhi zona Kawasan rawan bencana, hal ini untuk meminimalisir tambahan korban yang terjadi akibat dampak tidak langsung erupsi Gunung Agung. Batas Kawasan rawan bencana dan zona pengungsian dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini. Wilayah pengungsian yang disarankan sebagai lokasi aman menurut BNPB meliputi Kecamatan Tejakula, Tembuku, Sidemen, Abang dan Kecamatan Karangasem

Kondisi Hidrogeologi

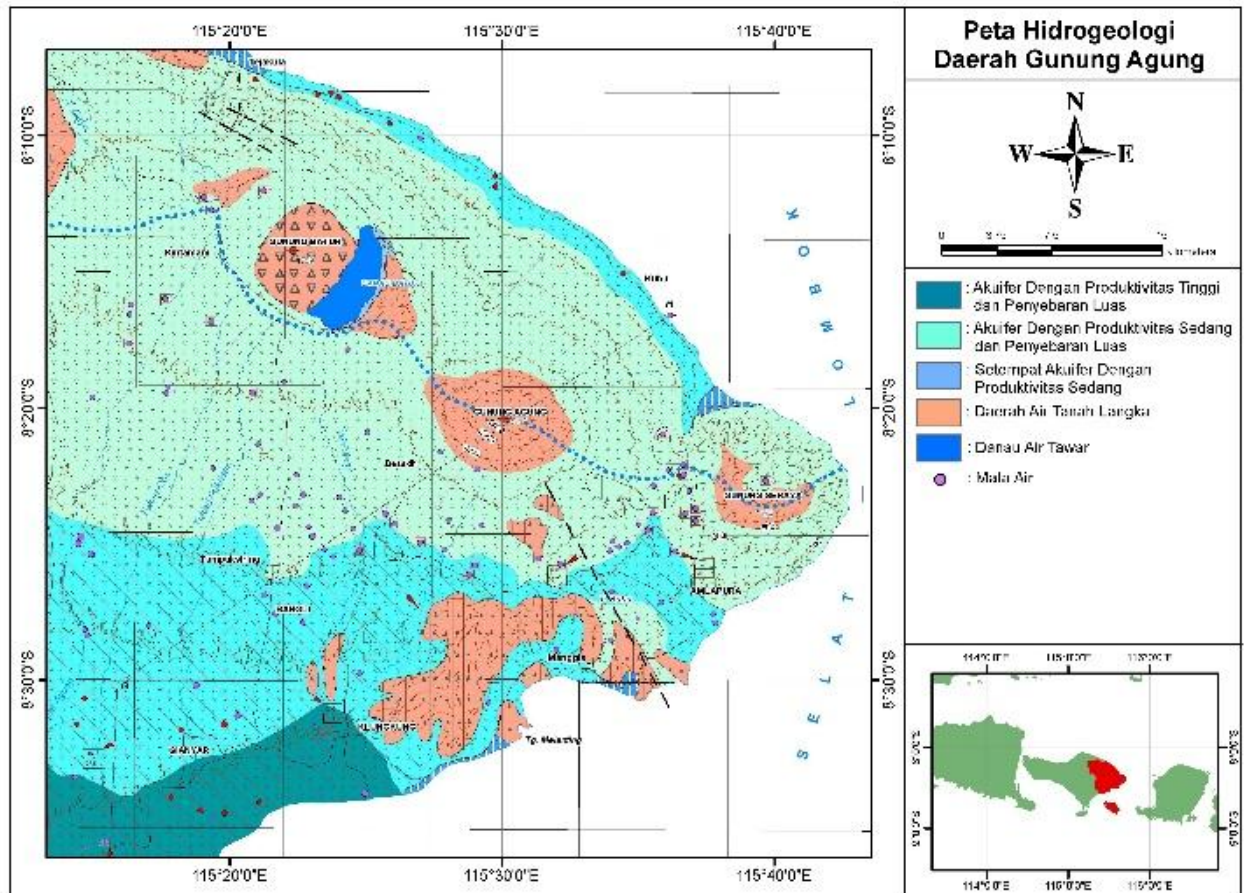
Berdasarkan Peta Hidrogeologi Indonesia, Lembar Pulau Bali yang terdapat pada Gambar 6, wilayah Gunung Agung dan sekitarnya tersusun oleh produk gunung api muda yang terdiri dari breksi vulkanik, tuf pasir dengan endapan laharik terutama tersusun oleh material lepas berukuran pasir hingga bongkah, terdapat lava pada beberapa tempat, memiliki kelulusan air sedang hingga tinggi, dengan kelulusan tinggi terdapat pada endapan laharik dan lava vesikuler.

Daerah terdampak erupsi Gunung Agung dimana banyak terdapat area pengungsian termasuk kedalam wilayah akuifer dengan produktivitas sedang dengan debit kurang dari 5 l/s dan penyebaran luas terdapat di sekeliling wilayah kaki Gunung Agung mencakup Kecamatan Kubu, Abang, Bebandem, Selat, Rendang, lereng Gunung Seraya Kabupaten Karangasem dan Kabupaten Klungkung yang meliputi Kecamatan Dawan dan Klungkung. Daerah air tanah langka meliputi puncak Gunung Agung dan sekitarnya yang meliputi Kecamatan Kubu, Abang, Bebandem, Selat dan Rendang, Kabupaten Karangasem. Setempat akuifer produktif meliputi Kecamatan Kubu, Rendang, Selat, Bandem, Karangasem, Kabupaten Karangasem.



Sumber: BNPB (2017)

Gambar 5 Peta Kawasan Rawan Bencana dan Lokasi Pengungsian Gunung Agung (BNPB, 2017)



Sumber: Kementerian ESDM

Gambar 6 Peta Hidrogeologi Daerah Gunung Agung (Peta Hidrogeologi Indonesia, Lembar P. Bali, 1986)

Sumur-sumur bor yang direncanakan dan sumur bor existing yang akan dimanfaatkan kembali oleh pemerintah setempat, menempati posisi pada zona akuifer dengan produktifitas sedang dan penyebaran yang luas, dengan debit sumur umumnya kurang dari 5 l/s. Secara teknis, posisi penempatan sumur-sumur bor produksi untuk air baku ini sudah sesuai dengan acuan peta Hidrogeologi yang dikeluarkan oleh ESDM.

Sebaran sumber-sumber air

Berdasarkan dari data yang diperoleh dari BWS Bali Penida pada tahun 2017, tercatat sebaran sumber air berupa mata air, sumur bor dan sumur gali yang ada di 3 Kabupaten, yaitu Kabupaten Bangli, Karangasem dan Kabupaten Klungkung. Jumlah mata air yang tersebar dan tercatat di 3 Kabupaten tersebut adalah 180 buah di Kabupaten Bangli dengan debit pada musim hujan rerata 13,7 m³/s, berada di Kecamatan Kintamani, Bangli, Susut, Tembuku. Mata air di Kabupaten Karangasem sebanyak 72 buah tidak tercatat besaran debitnya, dengan sebaran di Kecamatan Kubu, Rendang, Abang, Karangasem, Manggis, Selat, Sidemen, Bebandem. Mata air di Kabupaten Klungkung sebanyak 27 buah dengan debit musim

hujan rerata 31,1 m³/s dan tersebar di Kecamatan Bajangkaran, Klungkung, Dawan, Sampalan, dan Nusapenida.

Sebaran sumur bor di Kabupaten Bangli sebanyak 3 buah, dengan debit rerata 1,25 l/s di Kecamatan Kintamani dan Susut. Di Kabupaten Karangasem terdapat 51 sumur bor, dengan debit rerata 8,94 l/s dan tersebar di Kecamatan Kubu, Rendang, Abang, Karangasem dan Manggis. Sumur bor di Kabupaten Klungkung tersebar sebanyak 11 buah, dengan debit rerata 8,37 l/s dan tersebar di Kecamatan Bajangkaran, Dawan dan Nusapenida.

Data sumur gali hanya tercatat berada di Kabupaten Klungkung sebanyak 4 buah sumur gali di Kecamatan Dawan dan Selat dengan kedalaman rerata 11 mdpt. Data yang diperoleh tidak disebutkan penggunaan sumber-sumber air tersebut, namun dari informasi yang diperoleh, sumber-sumber air tersebut dipergunakan untuk kebutuhan air baku penduduk. Rekap data sebaran sumber air tanah disajikan pada Tabel 1 di bawah ini, dan peta sebarannya disajikan pada Gambar 7.

Tabel 1 Rekap Data Sumber Air Tanah

No	Kabupaten	Kecamatan	Jumlah Mata Air	Jumlah Sumur Bor	Jumlah Sumur Gali
1	Bangli	Kintamani	15	1	-
		Bangli	93	-	-
		Susut	13	2	-
		Tembuku	59	-	-
2	Karangasem	Kubu	3	33	-
		Rendang	19	1	-
		Abang	20	5	-
		Karangasem	6	4	-
		Manggis	3	8	-
		Selat	8	-	-
		Sideman	4	-	-
		Bebandem	9	-	-
3	Klungkung	Banjarangkan	9	3	-
		Klungkung	5	-	-
		Dawan	4	2	2
		Sampalen	1	-	-
		Nusa Penida	8	6	-
		Selat	-	-	2
JUMLAH			279	65	4

Potensi Imbuhan Air Tanah

Potensi imbuhan air tanah pada tulisan ini disajikan ke dalam suatu area kecamatan yang ada di dalam wilayah kajian. Jumlah kecamatan yang masuk ke dalam area terdampak erupsi Gunung Agung adalah 9 kecamatan yang meliputi Kec. Kintamani-Kabupaten Bangli, Kec Abang, Bebandem, Karangasem, Kubu, Manggis, Rendang, Selat dan Sidemen yang masuk ke dalam Kabupaten Karangasem.

Peta kecamatan area kajian dapat dilihat pada Gambar 8. Teggu Murtono dkk, 2013 menyampaikan bahwa imbuhan air tanah adalah fungsi dari curah hujan rata-rata tahunan, karakteristik hidrologi, geologi daerah, lereng, dan sifat tanah. Peningkatan curah hujan menyebabkan peningkatan tinggi muka air tanah, sebaliknya, penurunan curah hujan menyebabkan air tanah berkurang. Imbuhan merupakan faktor yang sangat penting dalam proses terbentuknya air tanah. Besarnya volume air hujan yang meresap ke dalam tanah akan menentukan tercapai atau tidaknya keseimbangan kondisi air tanah.

Meskipun air merupakan sumber daya terbarukan untuk mempertahankan hidup dan lingkungan, eksploitasi air tanah berlebihan akan

menyebabkan muka air tanah menurun drastis. Sumber alami utama imbuhan air tanah adalah melalui curah hujan dan air sungai. (Magnus, dkk. 2011) Besaran potensi imbuhan dihitung menggunakan persamaan rumus (1).

Sebaran Hujan Wilayah

Hujan wilayah dihitung secara spasial dengan metode Thiessen menggunakan model GIS, dari pos-pos hujan di daerah telitian yang terdiri dari 6 pos hujan tersebar di sekeliling Gunung Agung seperti ditampilkan pada Gambar 9. Perhitungan hujan wilayah menggunakan metode thiessen ini menggunakan parameter perbandingan luas atau pembobotan, yaitu perbandingan antara luas cakupan masing-masing pos hujan dengan luas keseluruhan daerah kajian.

Hasil perhitungan curah hujan wilayah di area Gunung Agung mendapatkan nilai hujan wilayah sebesar 2058 mm/thn, yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil perhitungan curah hujan wilayah ini bisa disebut sebagai inputan potensi imbuhan dan digunakan sebagai bahan perkalian untuk mendapatkan potensi imbuhan air tanah total pada suatu luasan tertentu dengan berbagai jenis litologi maupun luasan dengan batas administrasi.

Tabel 2 Perhitungan Hujan Wilayah Gunung Agung

Nama Pos	Luas (Km ²)	Faktor Bobot	Jumlah Hujan (mm/thn)	Hujan Wilayah (mm/tahun)
Rendang	147,2304	0,182186	2932,2	534,2056
Iklim Susuan	113,7669	0,140778	1404,5	197,722
Pengotan	133,7546	0,165511	2008,6	332,4448
Telengan	59,69498	0,073868	1592,2	117,6123
Poh Santen	31,9053	0,03948	1984,3	78,34071
Pidpid	321,7805	0,398178	2003,2	797,6298
Jumlah	808,13268			2057,96

Hasil kajian estimasi besaran imbuan menggunakan model kalibrasi di lapangan yang dilakukan oleh Matthew J. Knowling and Adrian D. Werner (2017) menunjukkan bahwa estimasi besaran imbuan yang wajar <30%. Hal ini memerlukan jumlah data muka air yang cukup panjang, dan distribusi spasial K harus diketahui. Hasil ini menyimpulkan bahwa estimasi melalui kalibrasi mungkin tidak praktis untuk saat ini, dikarenakan keterbatasan data pengamatan muka air yang panjang tidak tersedia.

Luas Area Imbuan

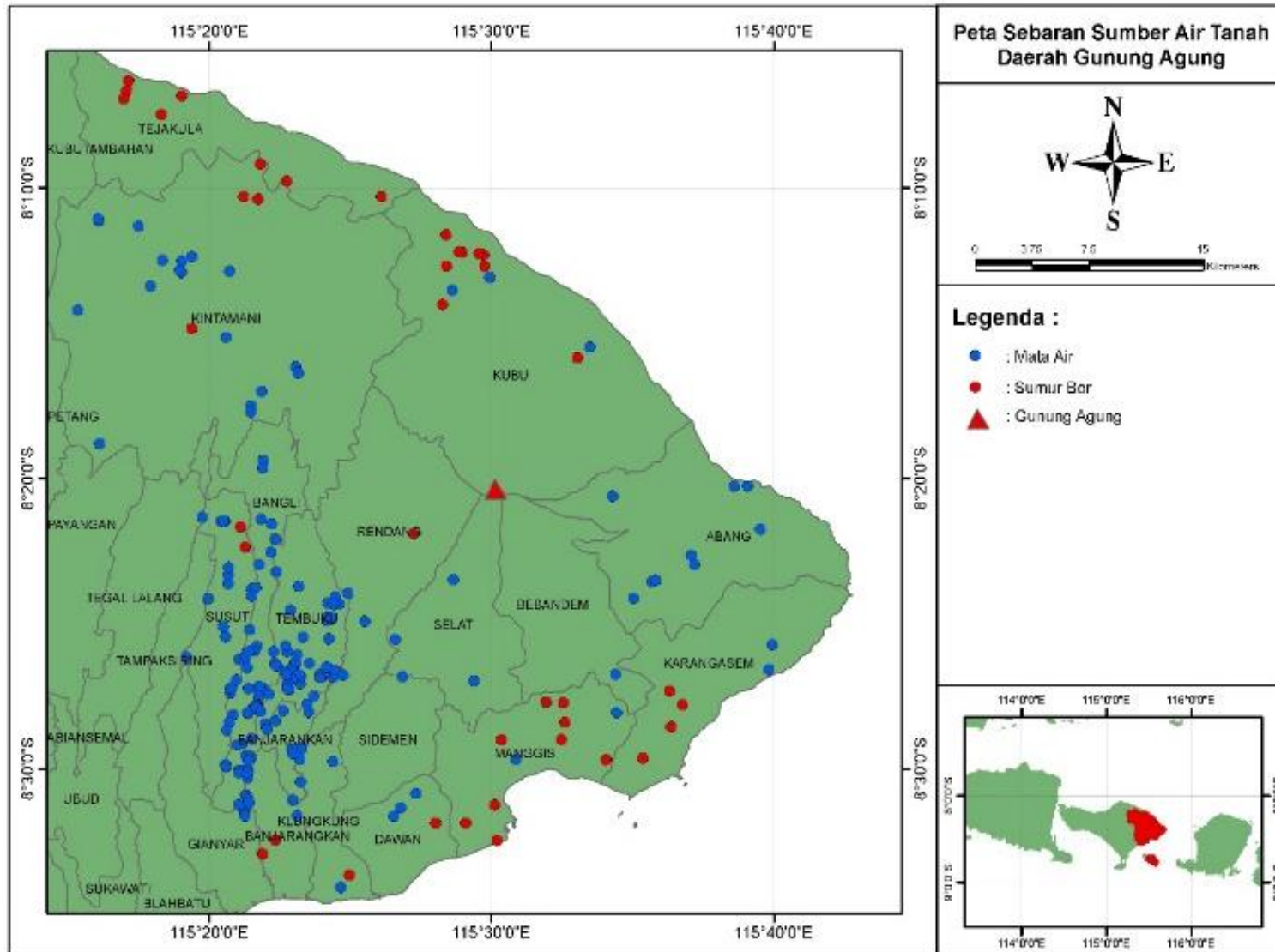
Luas wilayah imbuan yang tersusun atas berbagai macam litologi, dihitung dari Peta Geologi Gunung api Agung yang juga digunakan sebagai dasar batas daerah kajian. Hasil yang didapatkan berupa luas area masing-masing litologi berdasarkan Peta Geologi Gunung api Agung.

Berdasarkan batas area kajian, terdapat setidaknya 307 satuan litologi, 79 Desa dan 10 Kecamatan yang masuk ke dalam wilayah kajian. Untuk menyederhanakan hasil perhitungan potensi imbuan air tanah yang didapatkan, maka disajikan potensi imbuan air tanah yang sudah dikonversi berdasarkan batas wilayah administrasi yaitu Kecamatan.

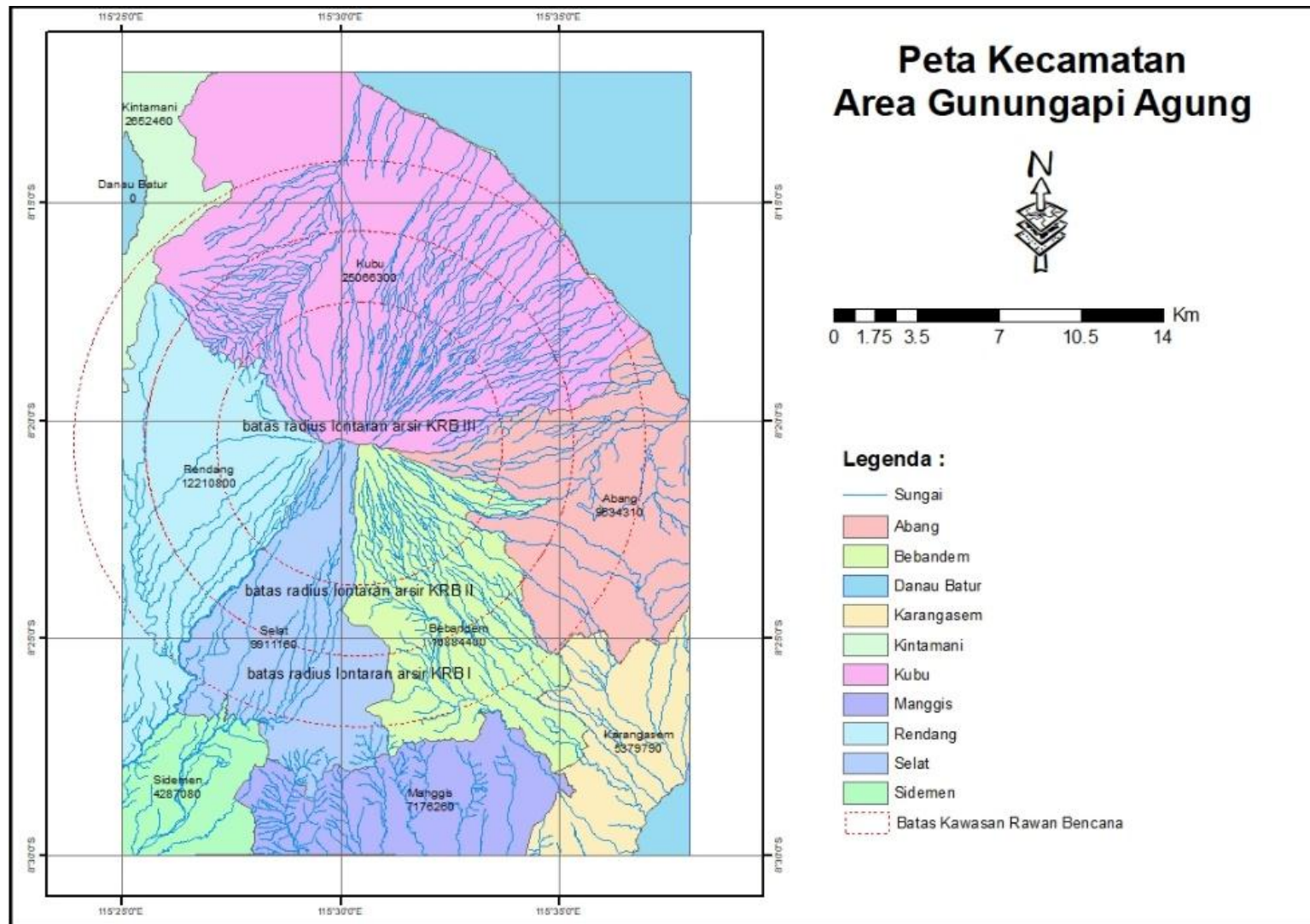
Persentase Imbuan

Perhitungan imbuan air tanah menggunakan nilai relatif koefisien imbuan, yang diambil dari nilai koefisien imbuan yang dikeluarkan oleh Binnie & Partners, 1983. Nilai persentase imbuan digunakan berdasarkan formasi geologi yang disajikan pada Tabel 3. Hasil perhitungan potensi imbuan air tanah, yaitu berupa potensi imbuan dengan batas tiap satuan litologi. Penyederhanaan pengambilan batas Kecamatan digunakan, agar memudahkan pengguna hasil kajian ini untuk menjadikan acuan dalam melakukan perencanaan pengeboran berbasis wilayah administrasi.

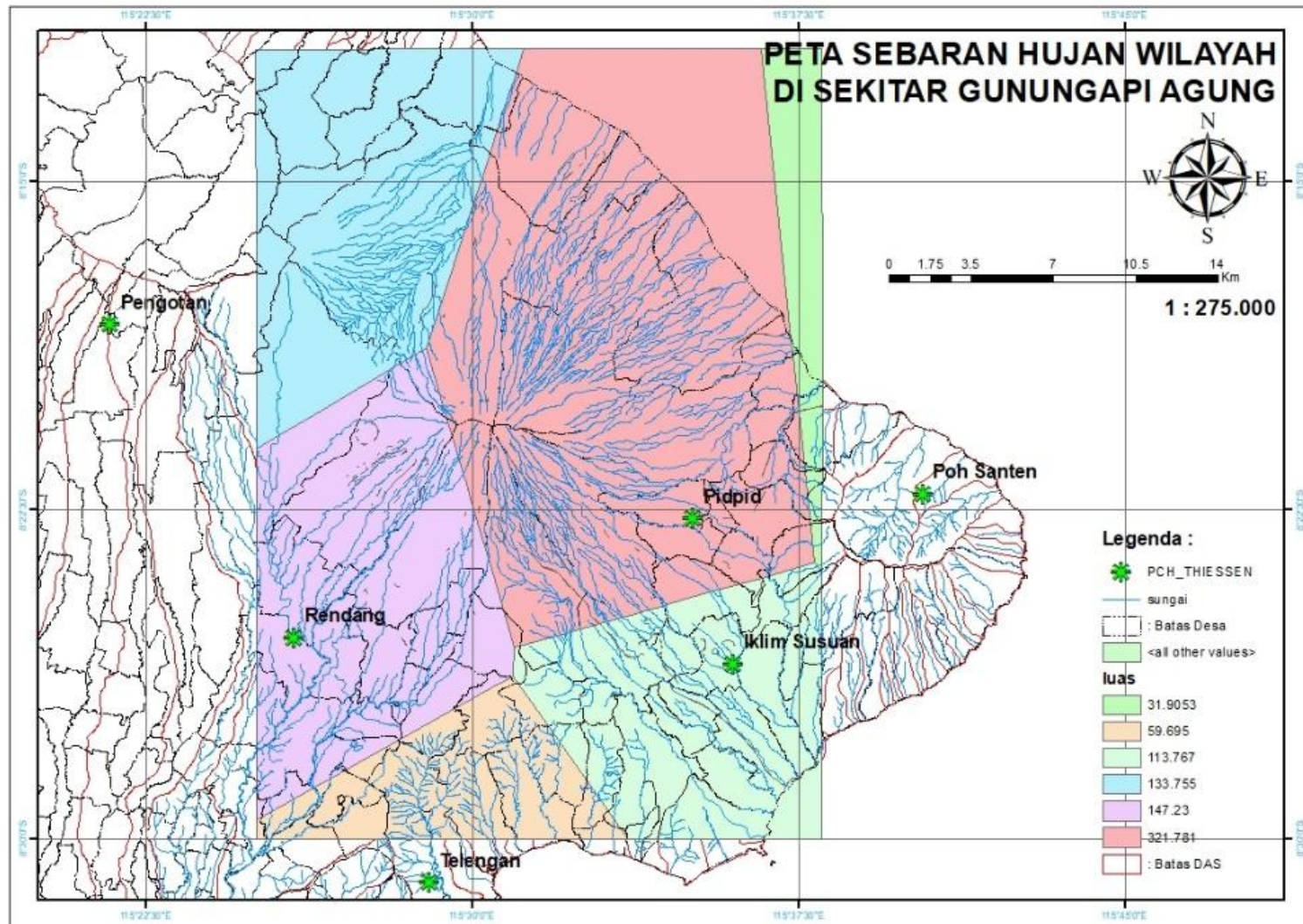
Potensi imbuan air tanah dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (1) menunjukkan potensi terbesar terdapat di Kecamatan Kubu dengan besaran potensi mencapai 97.560.207 m³/thn, dengan luasan wilayah mencapai 216,46 km². Kecamatan Kubu memiliki potensi imbuan air tanah terbesar, hal ini berbanding lurus dengan luasan wilayahnya yang paling besar dibandingkan dengan kecamatan yang lainnya. Kecamatan Kubu menempati lokasi paling utara dari wilayah kajian, yang juga merupakan lereng utara Gunung Agung. Kecamatan Kubu memiliki batas wilayah dari puncak Gunung Agung hingga Laut Bali, hal ini menunjukkan bahwa Kecamatan ini rentan terhadap bahaya primer dan sekunder dari erupsi Gunung Agung.



Gambar 7 Peta Sebaran Sumber Air di Kaki Gunung Agung



Gambar 8 Peta Kecamatan di Sekitar Kaki Gunung Agung



Gambar 9 Peta Sebaran Hujan Wilayah Gunung Agung

Tabel 3 Nilai koefisien imbuhan

Formasi Geologi	Kode	Koefisien Imbuhan
<i>Permeable alluvium</i>	C1	0,30
<i>Young volcanics (< 500 m elevation)</i> <i>(500 – 1000 m elevation)</i> <i>(> 1000 m elevation)</i>	C1	0,30
	C3	0,25
	C4	0,20
<i>Limestone</i>	C2	0,25
<i>Old Quaternary volcanics</i>	C4	0,20
<i>Pleistocene sedimentary formations</i>	C5	0,10
	C6	0,10
<i>Low permeability alluvial clays</i>	C7	0
<i>Intrusive rocks</i>		

Sumber: Binnie & Partners, 1983

Imbuhan air tanah paling kecil berada di Kecamatan Kintamani sebesar 10.323.612 m³/thn dengan luasan sebesar 25,08 km², hal ini dikarenakan luas wilayah Kecamatan Kintamani

terpotong oleh batas wilayah dari Peta Geologi Gunung api Agung yang digunakan sebagai batas wilayah kajian. Berdasarkan batas kawasan rawan bencana, Kecamatan Kintamani cenderung tidak berdampak secara langsung terhadap bahaya primer erupsi Gunung Agung dikarenakan letaknya yang berada di radius ±12 km dari puncak kawah Gunung Agung. Rekapitulasi potensi imbuhan air tanah di wilayah kajian berdasarkan perhitungan dari persamaan (1), dapat dilihat pada Tabel 4 .

Jumlah potensi imbuhan air tanah tiap kecamatan yang dihitung berdasarkan perbandingan luas litologi ini diharapkan dapat menjadi acuan pengambilan maksimal air tanah per kecamatan per tahun yang disarankan kepada pemangku kepentingan. Perhitungan ini didasarkan hanya pada hasil perhitungan antara air hujan yang meresap ke dalam tanah dengan nilai persentase *recharge* tanpa memasukkan hitungan *storage* air tanah (tampungan awal). Hal ini dapat disimpulkan, bahwa tampungan air tanah yang sudah ada sebelumnya tidak akan terganggu.

Tabel 4 Potensi Imbuhan Air Tanah tiap Kecamatan

No.	Kecamatan	Total Luas (km ²)	CH (mm)	Nilai % RC	Potensi Imbuhan (m ³ /thn)
1	Kintamani	25,08	2058	0–0,3	10.323.612
2	Abang	86,40	2058	0–0,3	37.108.342
3	Bebandem	81,88	2058	0–0,3	42.363.009
4	Karangasem	44,23	2058	0–0,3	20.938.596
5	Kubu	216,46	2058	0–0,3	97.560.207
6	Manggis	54,23	2058	0–0,3	27.930.612
7	Rendang	90,32	2058	0–0,3	47.525.534
8	Selat	71,84	2058	0–0,3	38.575.076
9	Sidemen	30,43	2058	0–0,3	16.685.688
Jumlah		700,89			339.010.676

KESIMPULAN

Air tanah yang terdapat pada kaki Gunung Agung berdasarkan perhitungan cukup potensial, namun belum dimanfaatkan secara optimal pada beberapa lokasi.

Pemanfaatan air tanah pada lokasi aman yang disarankan sebagai wilayah pengungsian, yaitu Kecamatan Sidemen, Abang, Karangasem, dan Manggis. Lokasi tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan dan dikembangkan guna mencukupi kebutuhan air baku penduduk.

Perhitungan potensi air tanah awal sangat dibutuhkan dalam melakukan studi awal perencanaan penyediaan air baku, khususnya pengambilan air tanah dalam. Potensi air tanah terbesar yang berhasil dihitung berada di Kecamatan Kubu, berada pada lokasi KRB II dan III. Lokasi relatif aman pada Kecamatan Kubu ini bisa dijangkau pada Desa Tianyar, Sukadana, Baturinggih, Kubu, dan Desa Tulamben yang kesemuanya berada di pesisir laut. Potensi terkecil berada di Kecamatan Kintamani, dimana pada lokasi tersebut bukan merupakan area Kawasan rawan bencana. Area Kecamatan Kintamani lebih banyak berada di kaki Gunung Batur, sehingga relatif aman terhadap bahaya erupsi Gunung Agung seperti lava pijar, piroklastik dan aliran lahar dingin. Lokasi aman yang disarankan sebagai wilayah pengungsian yaitu Kecamatan Tejakula, Tembuku, Sidemen, Abang, dan Karangasem.

Dalam melakukan perencanaan air tanah khususnya pada lokasi kawasan rawan bencana erupsi gunung api, sebaiknya perlu mewaspadai lokasi-lokasi mana saja yang terkena dampak secara langsung maupun tidak langsung dari erupsi gunung api. Lokasi rencana sumur bor sebaiknya menjauhi kawasan rawan bencana, hal ini guna menghindari bertambahnya korban akibat bahaya susulan dari erupsi gunung api.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Drs. Irfan Sudono, MT selaku Kepala Balai Litbang Hidrologi dan Tata Air yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan survey ke wilayah Gunung Agung sebagai bahan penyusunan makalah ini. Terima kasih juga kepada anggota tim kegiatan lainnya yang telah membantu selama melakukan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Binnie & Patners. 1983. "Guideline BP 11 Groundwater Evaluation for Water Resources Projects ", Directorate General of Water Resources Development.
- BNPB, 2017, *Peta Lokasi Pengungsi Gunungapi, Kabupaten Karang Asem, Provinsi Bali*.
- BWS Bali Penida, 2017, Data sekunder sebaran sumber air.
- Kompas, Desember 2017. *Gunung Agung Kembali Meletus, Semburkan Asap Setinggi 2.500 Meter*, 23 Desember 2017. (<http://regional.kompas.com/read/2017/12/23/12052721/gunung-agung-kembali-meletus-semburkan-asap-setinggi-2500-meter>).
- Kompas, September 2017. *Erupsi Gunung Agung Berlangsung Hampir Satu Tahun*. (<http://sains.kompas.com/read/2017/09/25/210600423/1963-erupsi-gunung-agung-berlangsung-hampir-satu-tahun>)
- Magnus U. Igboekwe. and Adindu Ruth. 2011. *Groundwater Recharge through Infiltration Process: A Case Study of Umudike, Southeastern Nigeria*. Journal of Water Resource and Protection, 2011, 3, 295-299.
- Matthew J. Knowling and Adrian D. Werner. 2017. *Transient Recharge Estimability Through Field-Scale Groundwater Model Calibration*. National Ground Water Association (NGWA).org Vol. 55, No. 6—Groundwater—November–December 2017.p 827–840.
- Nasution. A et.al. 2004. *Peta Geologi Gunungapi Agung, Bali Skala 1:50.000*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- P. B. McMahon & L. N. Plummer & J. K. Böhlke & S. D. Shapiro & S. R. Hinkle. 2011. *A comparison of recharge rates in aquifers of the United States based on groundwater-age data*, Hydrogeology Journal (2011) 19: 779–800. DOI 10.1007/s10040-011-0722-5
- Permen ESDM No.02/Tahun 2017 Tentang Cekungan Air Tanah di Indonesia.
- Rahayu, Dwi Priyo Ariyanto, Komariah, Sri Hartati. 2014, *Dampak Erupsi Gunung Merapi terhadap Lahan dan Upaya-Upaya Pemulihannya*, Caraka Tani – Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian. Vol. XXIX No. 1 2014

- Saiful Islam, Ram Karan Singh, Roohul Abad Khan. 2015. *Methods of Estimating Groundwater Recharge*. International Journal of Engineering Associates (ISSN: 2320-0804) # 6 / Volume 5 Issue 2
- Scanlon, B.R., Healy, R.W. & Cook, P.G. 2002. *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge*. Hydrogeology Journal, 2002, ISSN: 1431-2174. Vol 10. Issue 1. Pp 18-39. DOI:10.4236/jwarp.2011.35037 Published Online May 2011 (<http://www.SciRP.org/journal/jwarp>)
- Sudadi.P et.al, 1986. *Peta Hidrogeologi Indonesia, Lembar P. Bali Skala 1:250.000*. Direktorat tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan.
- Sunarto, B. 1991 Annual Groundwater Recharge of Bali Island, Jurnal Litbang Pengairan No 19 Th. 6 KW. I. 1991, p 31-40
- Teggu Murtono, A.M. Imran. M. Arsyad Thaha. 2013., *Zonasi Imbuhan Air Tanah Pada Daerah Aliran Sungai Lahumbuti Provinsi Sulawesi Tenggara*, Geosains 2013. Vol. 09 No. 02 2013 . p 89-97
- Yongxin Xu and Hans E. Beekman, *Groundwater recharge estimation in Southern Africa*. 2003. UNESCO IHP Series No. 64, UNESCO Paris. ISBN 92-9220-000-3.