

ESTIMASI NERACA AIR TANAH DI PULAU KARIMUNJAWA YANG DIPENGARUHI KONDISI HIDRO-METEOROLOGI LAUT JAWA

GROUNDWATER BALANCE ESTIMATION ON KARIMUNJAWA ISLAND INFLUENCED BY DYNAMIC HYDRO-METEOROLOGICAL CONDITIONS OF JAVA SEA

Herlina Ika Ratnawati¹, Dini Purbani², & M.Hikmat Jayawiguna³

¹Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim, Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Pusat Riset Konservasi Sumber Daya Laut dan Perairan Darat, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim, Badan Riset dan Inovasi Nasional

³Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan

e-mail : herl010@brin.go.id

Diterima tanggal: 10 April 2023 ; diterima setelah perbaikan: 23 Oktober 2023 ; Disetujui tanggal: 1 November 2023

ABSTRAK

Ketersediaan air tawar di wilayah Pulau Karimunjawa dengan luas wilayah sekitar 43.025 km² pada umumnya terbatas dengan jumlah penduduk yang cenderung terus meningkat dan penggunaan air tawar pada umumnya bersumber dari air hujan dan air tanah. Studi ini bertujuan untuk mengestimasi neraca air di wilayah Pulau Karimunjawa dengan pendekatan menggunakan data iklim dari data reanalisis curah hujan *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) dan data reanalisis temperatur udara ERA-5 selama 20 tahun (1996-2015). Pola hujan di wilayah Pulau Karimunjawa menunjukkan sifat unimodial atau termasuk dalam tipe monsunal dengan satu puncak hujan minimum (musim kering) dan satu puncak hujan maksimum (musim hujan). Satu puncak musim kemarau terjadi pada Juli-Agustus-September dengan curah hujan bulanan kurang dari 100 mm. Satu puncak musim hujan terjadi pada November hingga April dengan curah hujan bulanan mencapai lebih dari 200 mm. Estimasi neraca air di wilayah Pulau Karimunjawa dilakukan dengan menggunakan metode *Thornwaite*. Parameter utama neraca air menunjukkan kondisi surplus air bulanan yang bervariasi antara 57,7mm hingga 175,6mm pada periode musim hujan, mulai Desember hingga April. Defisit air mulai terlihat pada bulan Mei hingga Oktober, dengan kondisi defisit maksimum pada bulan September sebesar 63,7mm.

Kata Kunci : Neraca air, Pulau Karimunjawa, surplus, defisit, *Thornwaite*.

ABSTRACT

The availability of fresh water in the Karimunjawa Island region which has an area of approximately 43,025 km² is generally limited, the population tends to increase continuously and the use of freshwater is generally sourced from rainwater and groundwater. This study aims to estimate the water balance in the Karimunjawa Island region using climate data reanalysis from the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) and ERA-5 air temperature reanalysis data during 20 years (1996-2015). The rain pattern in the Karimunjawa Island region shows a unimodial or monsoonal type with one minimum rainfall peak (dry season) and one maximum rainfall peak (rainy season). One peak of the dry season occurs in July-August-September which has monthly rainfall of less than 100 mm. One peak of the rainy season occurs from November to April which has monthly rainfall reaching more than 200 mm. Estimation of the water balance in the Karimunjawa Island area is conducted by using the Thornwaite method. The main parameter of the water balance shows the condition of monthly water surplus which varies from 57.7mm to 175.6mm during the rainy season, from December to April. The water deficit occurs from May to October, and a maximum water deficit occurs in September at approximately 63.7mm.

Keywords: water balance, Karimunjawa Island, surplus, deficit, *Thornwaite*.

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki 17.508 pulau berdasarkan UU No. 6 Tahun 1996 tentang Perairan Indonesia. Dalam perkembangannya, Indonesia juga berupaya dengan mencatatkan jumlah pulau pada Gasetir Nasional pada tahun 2020 sejumlah 16.771 (KKP, 2017).

Pulau Karimunjawa berada dalam gugusan Kepulauan Karimunjawa yang secara geografis terletak di antara 5°40'-5°57' LS dan 10°04'-11°40' BT dengan jarak sekitar 60 mil laut di sebelah timur laut Kota Semarang. Kepulauan Karimunjawa dengan wilayah daratan seluas 71,2 km², secara administratif merupakan salah satu kecamatan di wilayah Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Sesuai definisi pulau kecil menurut UU No. 27 Tahun 2007 beserta perubahannya (UU No. 1 Tahun 2014) tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, yaitu pulau dengan luas lebih kecil atau sama dengan 2.000 km² beserta kesatuan ekosistemnya, maka Kepulauan Karimunjawa merupakan gugus pulau-pulau kecil. Kepulauan Karimunjawa terdiri dari 27 pulau, dimana 22 pulau diantaranya termasuk ke dalam kawasan Taman Nasional Karimunjawa. Permukiman penduduk hanya terdapat di lima pulau terbesar, yaitu Pulau Karimunjawa (43,025 km²), Pulau Kemujan (15,015 km²), Pulau Parang (6,92 km²), Pulau Genting (1,37 km²) dan Pulau Nyamuk (1,26 km²). Taman Nasional Karimunjawa dengan total luasan 1.116,25 km² (111.625 ha) terdiri dari hutan hujan tropika dataran rendah seluas 2,222 km² dan sisanya perairan seluas 1.101,173km² (BTNK, 2004; Suryanti, 2010). Hal inilah yang menjadikan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil patut diperhatikan, terutama di wilayah Pulau Karimunjawa sebagai pulau kecil yang menjadi fokus area penelitian ini. Selain kriteria utama tersebut, ada beberapa karakteristik ekologis dari pulau kecil ini yang bersifat unik, terpisah dari pulau induknya (*mainland island*), memiliki batas fisik yang jelas dan terpencil dari habitat pulau induk, sehingga bersifat insular; mempunyai sejumlah besar jenis endemik dan keanekaragaman yang tipikal dan bernilai tinggi; tidak mampu mempengaruhi hidroklimat; memiliki daerah tangkapan air (*catchment area*) yang relatif kecil sehingga sebagian besar aliran air permukaan dan sedimen masuk ke laut serta dari segi sosial, ekonomi dan budaya masyarakat pulau-pulau kecil bersifat khas dibandingkan dengan pulau induknya, (KKP, 2023).

Air tawar (*fresh water*) sangat diperlukan bagi

kehidupan khususnya di wilayah pulau-pulau kecil. Namun, kondisi air tawar (*fresh water*) di pulau-pulau kecil pada umumnya terbatas, tergantung pada air hujan dan air tanah, (Marganingrum *et al.*, 2023) serta memiliki daerah resapan air yang kecil sehingga sebagian besar air hujan permukaan mengalir dengan cepat ke laut dan resapan air hujan yang menjadi air tanah yang terbatas (Tatas *et al.*, 2015). Jika terjadi peningkatan penggunaan air tanah maka akan menyebabkan terganggunya keseimbangan input dan output air. Kondisi inilah yang kemudian dapat menimbulkan permasalahan surplus dan defisit air, pencemaran air serta intrusi air laut. Hal ini dapat berpotensi menyebabkan penurunan ketersediaan air baku. Dengan demikian, pulau-pulau kecil juga harus diberdayakan. Pulau-pulau kecil harus mendapatkan penguatan kapasitas sebagai salah satu strategi untuk memajukan masyarakat setempat dengan cara memberdayakan untuk membangun pulau dan di sisi lain pemerintah membantu mengembangkan potensi pulau-pulau kecil dengan baik, diantaranya sebagai lahan pertanian dan perikanan baru, tempat tinggal baru dan tujuan wisata. Oleh karena itu, kajian neraca air (*water balance*) di pulau kecil sangatlah penting untuk dilakukan dan memiliki tantangan yang cukup besar terutama terkait dengan ketersediaan data primer dan sekunder serta kemudahan dalam mengaksesnya.

Menurut Rahayu & Soeprbowati (2018), ketersediaan air tanah di Pulau Karimunjawa tergantung pada kondisi iklim. Jika musim kering tiba, penduduk menggunakan air payau untuk mencukupi kebutuhan hidupnya. Selain itu, berdasarkan penelitian Sumaryat *et al.* (2022), Pulau Karimunjawa diketahui tidak memiliki Cekungan Air Tanah (CAT) sehingga debit air berfluktuasi tergantung pada curah hujan. Untuk mengetahui ketersediaan air salah satu analisis yang digunakan adalah dengan mengestimasi neraca air di wilayah tersebut dengan menggunakan metode Thornwaite. Menurut Tatas *et al.*, 2015, *analisis water balance* di Pulau Poteran, Jawa Timur, menggunakan data dari Dinas Pekerjaan Umum Irigasi di Sumenep, stasiun hujan yang berada di lokasi penelitian (Pulau Poteran), dan data parameter iklim lainnya dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) di Kalianget, Madura. Pulau Poteran ini terletak sekitar 250 meter dari Pulau Madura sebagai pulau utama/induknya (*mainland island*). Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Marganingrum *et al.*, 2022, yang berlokasi di Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta.

Dalam penelitian tersebut, digunakan data iklim dari Stasiun Meteorologi BMKG Tanjung Priok, yang

berada di Pulau Jawa sebagai pulau utama/induknya (*mainland island*). Beranjak dari hal tersebut dan belum adanya penerapan metode ini di Pulau Karimunjawa maka dipandang perlu untuk mencoba menerapkan metoda tersebut di lokasi penelitian. Selain itu, dengan mempertimbangkan terbatasnya akses data ke stasiun pengamatan meteorologi yang ada di lokasi survei, maka penelitian ini memfokuskan pada analisis estimasi neraca air berdasarkan Metode Thornwaite di Pulau Karimunjawa dengan memanfaatkan data iklim *reanalysis* serta informasi geologi yang tersedia. Data ini dianggap memiliki keunggulan dalam kemudahan akses dan kelengkapannya. Dengan demikian, kondisi kesetimbangan air (surplus dan defisit) di wilayah tersebut diharapkan dapat diketahui dan dipahami oleh para penduduk, pengunjung dan para pemangku kepentingan (*stakeholders*) lainnya dengan lebih baik karena menyangkut pada upaya untuk menjaga ketersediaan air di Pulau Karimunjawa yang dapat menyokong berbagai aktivitas kehidupan didalamnya. Selanjutnya, diharapkan akan muncul kesadaran penggunaan dan pengelolaan air serta pemanfaatan lahan yang berkorelasi terhadap ketersediaan sumber daya air secara berkelanjutan di Kepulauan

Karimunjawa.

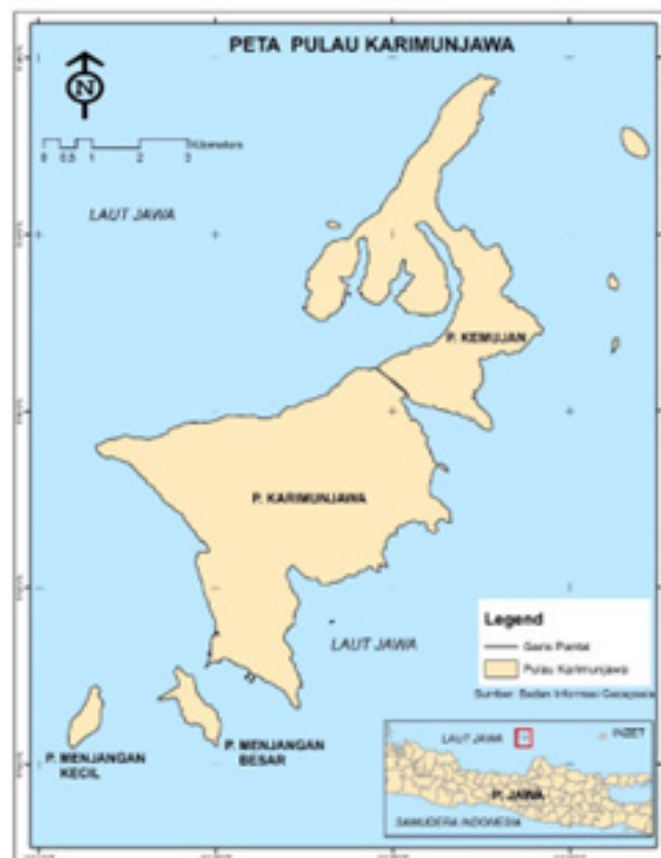
BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah, dengan fokus lokasi di Pulau Karimunjawa. Pengambilan data lapangan dilakukan selama 10 bulan mulai dari Februari 2021 sampai dengan Oktober 2021. Survei lapangan ini dilakukan pada tanggal 8 - 14 April 2021 untuk mengetahui kondisi sebaran mata air dan penggunaannya di Pulau Karimunjawa. Daerah penelitian difokuskan pada kota Kecamatan Karimunjawa dan di Taman Nasional Karimunjawa, Pulau Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan beberapa data sekunder diantaranya data jumlah penduduk dari BPS Kabupaten Jepara (2017-2021), peta rupa bumi (BIG, 2016), Peta Geologi (ESDM), Data Curah Hujan *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP), 20 tahun (1996-2015) dengan resolusi 1° (derajat) dan data temperatur udara Data *reanalysis* ERA-5. Data



Gambar 1. Lokasi Penelitian berada di Pulau Karimunjawa sebagai salah satu pulau digugusan Kepulauan Karimunjawa.
Figure 1. The research location is on Karimunjawa Island as one of the Karimunjawa Islands cluster.

curah hujan dan temperatur udara ini dicuplik untuk luasan area yang mewakili lokasi penelitian, Pulau Karimunjawa (Gambar 1).

Metode Penelitian

Air dalam keberadaannya di atmosfer dapat berbentuk gas, cair dan padatan (*solid*). Air dalam bentuk cair dapat berupa tetesan air di awan atau hujan, sedangkan dalam bentuk padatan (*solid*) dapat berupa kristal es di awan, kepingan salju, atau hujan es. Wujud air di atmosfer dalam bentuk padat hanya terjadi secara sesaat dan lokal. Meskipun jumlah total air dalam siklus pada dasarnya tetap, namun yang terjadi dalam distribusi dari berbagai proses tersebut terus berubah. Siklus air, atau disebut juga sebagai siklus hidrologi melibatkan proses sirkulasi air yang terjadi secara terus-menerus dalam sistem atmosfer bumi. Secara mendasar, air berasal dari presipitasi atmosferik, air permukaan dan air tanah. Dalam proses ini terjadi suatu pemindahan air ke seluruh reservoir berbeda di dalam planet bumi ini. Dari sekian banyak proses yang terjadi dalam siklus air, ada beberapa proses utama diantaranya: evaporasi, transpirasi, kondensasi, presipitasi, dan limpasan. Presipitasi adalah cairan atau air beku yang terbentuk di atmosfer dan jatuh kembali ke bumi. Presipitasi sampai ke bumi dalam berbagai bentuk, hujan, hujan es dan salju. Curah hujan atau presipitasi yang terjadi di pulau-pulau kecil dapat terjadi seperti hujan, salju, kondensasi embun dan intersepsi kabut dan lain-lain jenis, dengan berbagai faktor yang mempengaruhi termasuk geografis. Untuk wilayah tropis, di Pulau Karimunjawa, presipitasi pada umumnya berupa hujan. Oleh karena itu, curah hujan merupakan salah satu dari tiga bagian utama dari siklus air global selain penguapan dan kondensasi.

Secara mendasar, air berasal dari presipitasi atmosferik, air permukaan dan air tanah. Dalam suatu proses siklus hidrologi, terdapat berbagai komponen yang dapat dipahami dengan menganalisis neraca air atau kesetimbangan air (*water balance*), melalui estimasi ketersediaan air di suatu daerah. Dengan menganggap bahwa semua air hujan di suatu daerah dapat mengisi tanah, maka proses evapotranspirasi dapat terjadi. Pada kenyataannya presipitasi yang terjadi di suatu daerah akan mengalami proses penguapan kembali, sebagian akan mengalir melalui permukaan dan bagian lainnya akan meresap ke dalam tanah atau ke dalam resapan yang ada, disebut sebagai *recharge*.

Pada penelitian ini dilakukan estimasi neraca air atau kesimbangan air (*water balance*) dengan menggunakan pendekatan data iklim dan karakteristik tanah di

Kepulauan Karimunjawa. Metode estimasi neraca air yang digunakan adalah Metode Thornwaite. Metode ini dipilih karena sesuai dengan ketersediaan dan akses data hidrologi dan klimatologi yang ada. Analisis neraca air dilakukan secara klimatologis dengan menggunakan data data curah hujan dari *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) dalam kurun waktu 20 tahun (1996-2015) dengan resolusi 1° (derajat) dan data temperatur udara dari data *reanalysis* ERA-5.

Neraca air merupakan kesetimbangan antara air masuk dan keluar yang terjadi di suatu tempat, dengan asumsi curah hujan merupakan pasokan air utama yang diterima pada suatu daerah. Air luaran ini kemudian akan mengalir menjadi air permukaan atau surplus air berupa genangan (*run off*) dan perkolasi (*sub run off*), terevapotranspirasi (ETp), dan terinfiltrasi hingga kadar air tanah (KAT). Dalam penelitian ini neraca air dianalisis diestimasi berdasarkan waktu periodik dan klimatologi dengan satuan tinggi (mm) serta dengan satuan waktu bulanan.

Secara umum neraca air dinyatakan dalam persamaan 1.

$$P = E_p \pm S \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

P	:	presipitasi
E _p	:	evapotranspirasi
S	:	surplus/defisit air

Evapotranspirasi dapat diperoleh dengan menggunakan Metode Thornwaite (Tatas *et al.*, 2015, Marganingrum *et al.*, 2022). Metode ini dipilih karena pertimbangan ketersediaan data input yang relatif lebih mudah diperoleh. Evapotranspirasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$PET = c \cdot t^a \dots\dots\dots 2)$$

dimana,

PET	:	potensial evapotranspirasi dalam satuan mm untuk 30 hari dengan lama penyinaran 12 jam setiap hari
t	:	temperatur rata-rata bulanan dalam °C
c dan a	:	koefisien tahunan (heat indeks, I)

$$I = \sum_{1}^{12} i \dots\dots\dots 3)$$

dimana,

I: heat indeks bulanan, yang dapat diperoleh dari:

$$i=(t/5)^{1.514}$$

$$a=675.10^{-9}.I^3-771.10^{-7}.I^2+1792.10^{-5}.I+0,49239$$

$$c=1/I$$

Dengan demikian potensial evapotranspirasi dapat dinyatakan pada persamaan 4.

$$PET = 1,6 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a \dots\dots\dots 4)$$

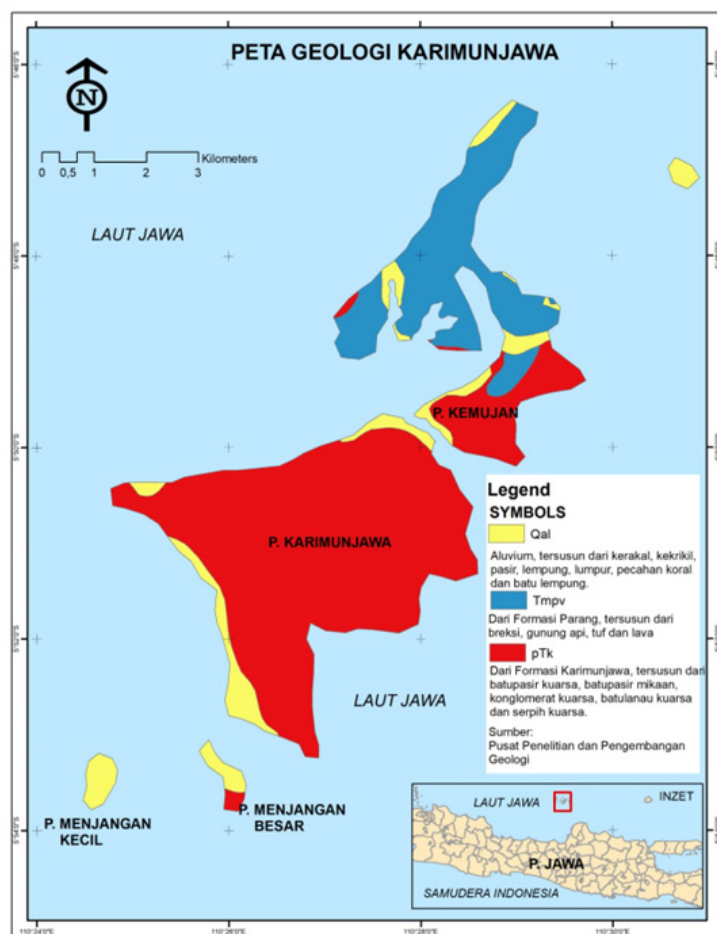
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Geologi, Morfologi, Jenis Tanah dan Tutupan Lahan Karimunjawa

Informasi Geologi Pulau Karimunjawa diperoleh dari studi literatur beberapa penelitian sebelumnya

dan pengamatan langsung di lokasi penelitian. Geologi Pulau Karimunjawa tersusun oleh Formasi Karimunjawa (pTk) yang berumur pra-tercier. Litologi satuan batuan ini batupasir kuarsa, batupasir mikan, konglomerat kuarsa, batulanau kuarsa dan serpih kuarsa. Pulau Kemujan tersusun Formasi Parang (Tmpv) berumur lebih muda (tercier) terdiri atas breksi gunungapi, tuff dan lava. Satuan batuan alluvium (Qal) merupakan batuan termuda. Terdiri atas kerakal, kerikil, pasir, lempung. Lumpur dan pecahan koral dan batuapung yang terbentuk saat ini (berumur resen) dari rombakan batuan sebelumnya (Sidarto *et al.*, 1993): Peta Geologi Lembar Karimunjawa, Jawa, Skala 1:100.00, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung).

Pulau Karimunjawa termasuk jenis pulau petabah (Hehanussa, 1993; Hadi *et al.*, 2006). Pulau petabah terbentuk di daerah yang stabil secara tektonik, dengan litologi pembentukan terdiri atas batuan ubahan (metamorf), intrusi dan sedimen yang terlipat dan berumur tua (Bengen *et al.*, 2012). Gambar 2. Merupakan Peta Geologi Karimunjawa dengan



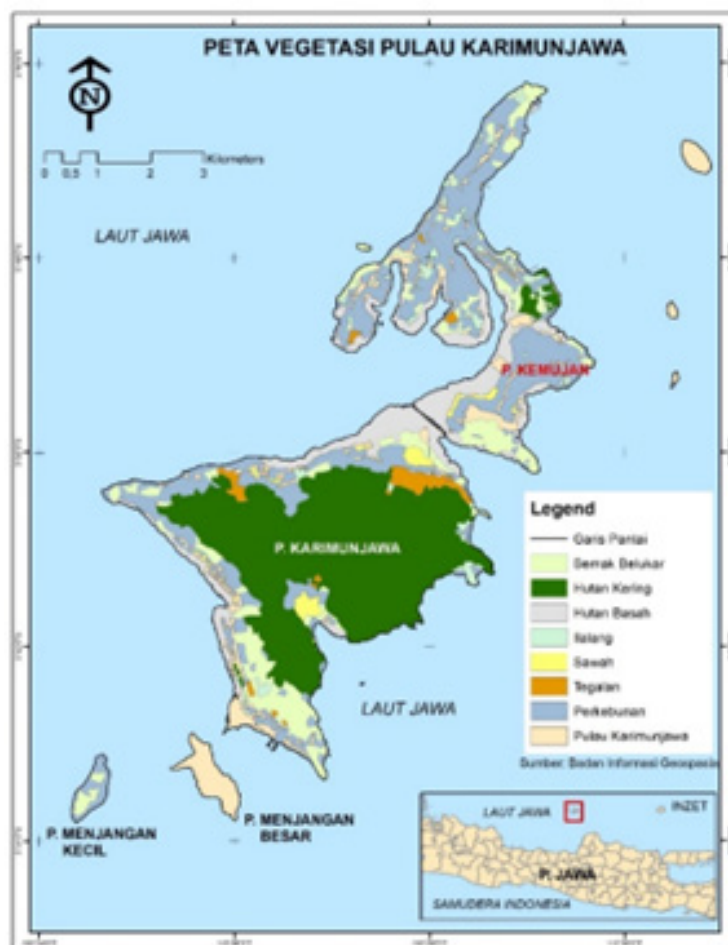
Gambar 2. Peta Gologi Kepulauan Karimunjawa.
Figure 2. The Geological Map of the Karimunjawa Islands.

sebaran batuan terdiri dari Qal, Tmpv dan pTk. Qal dari aluvium tersusun dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, lumpur, pecahan koral dan batuapung. Tmpv dari Formasi Parang tersusun dari breksi gunungapi, tuf dan lava. pTk dari Formasi Karimunjawa tersusun dari batupasir kuarsa, batupasir mikaan, konglomerat kuarsa, batulanua kuarsa dan serpih kuarsa.

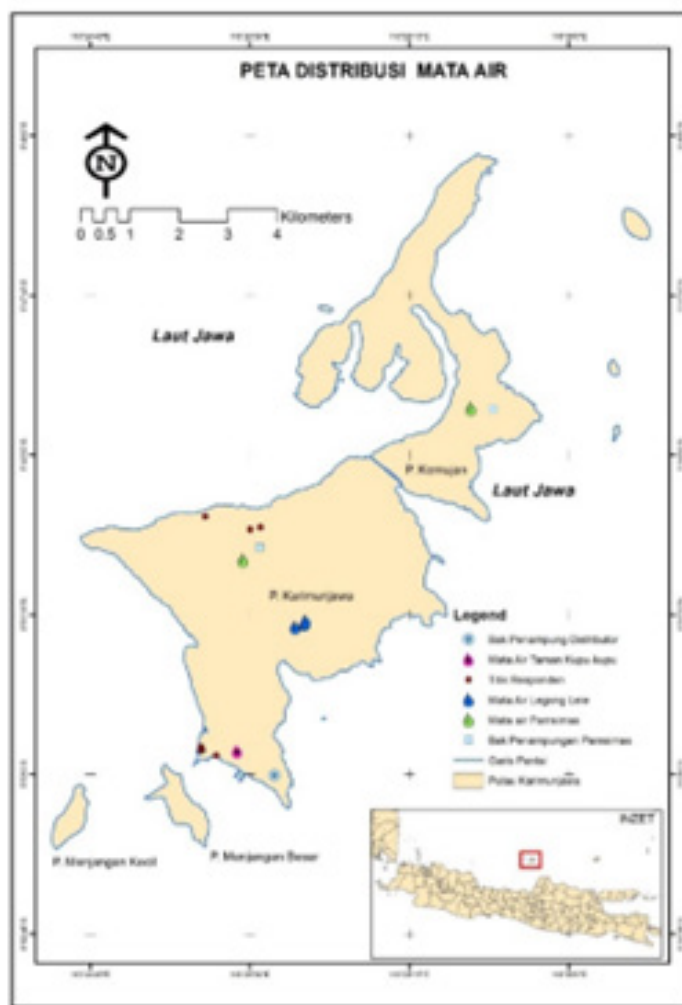
Kondisi jenis tanah di Pulau Karimunjawa adalah grumusol dan litosol (Santoso *et al.*, 2020). Tanah grumusol terbentuk dari batuan induk kapur dan tufa vulkanik umumnya bersifat basa dan miskin akan unsur hara dan unsur organik. Karakteristik tanah grumusol bertekstur lempung, sedikit keras mudah dibentuk dan mudah pecah dan hancur, tanah grumusol pada musim panas atau kemarau mengembang, dan kembali normal pada musim hujan, berwarna kelabu dan sedikit kasar. Tanah litosol merupakan jenis tanah yang terbentuk dari proses pelapukan batuan beku dan sedimen. Dan tanah litosol memiliki ciri khas butiran kasar berupa kerikil. Tanah ini sangat miskin unsur hara sehingga tidak subur dan kurang baik untuk pertanian. Karena

sifat tanahnya yang kurang subur, tanah ini hanya cocok untuk ditanami tanaman-tanaman besar di hutan (Murti & Maya, 2021). Tutupan lahan untuk jenis tanah grumusol dan litosol terdiri hutan sekunder, semak belukar, kebun, tegalan dan sawah (Santoso *et al.*, 2020; Mardiatno *et al.*, 2018). Menurut (Pryambodo, *et al.*, 2021), Pulau Karimunjawa secara garis besar tersusun dari endapan pasir lepas, endapan rawa, dan endapan alluvial Formasi Karimun dan Formasi Parang (Gambar 2). Sebaran tanah di Pulau Karimunjawa didominasi oleh tanah Alluvial yang terbentuk dari endapan lumpur sungai dan terletak di daerah dengan satuan geomorfologi datar sampai dengan sangat landai. Tanah Alluvial banyak mengandung material pasir dan liat serta memiliki warna kelabu dengan struktur yang sedikit lepas-lepas dan peka terhadap erosi. Tanah Alluvial ini cenderung bertekstur kasar di daerah dekat aliran air dan bertekstur lebih halus di daerah dekat pinggiran luar paparan banjir.

Penggunaan lahan di Pulau Karimunjawa (Gambar 3) didominasi oleh hutan kering, dimana di lokasi



Gambar 3. Peta Penggunaan Lahan.
 Figure 3. Land use Map of Karimunjawa Island.



Gambar 4. Peta Distribusi Mata Air.
 Figure 4. Water Resources Distribution.



Gambar 5. Kondisi sebaran mata air Legong Lele di Taman Nasional Karimunjawa; a. Pengambilan data pH di mata air Legong Lele yang berada di Taman Nasional Karimunjawa; b. Pengukuran derajat Be dari mata air Legong Lele; c. Penampungan mata air Legong Lele untuk didistribusi ke warga.

Figure 5. The condition of the distribution of Legong Lele springs in Karimunjawa National Park; a. Retrieval of pH data in Legong Lele springs in Karimunjawa National Park; b. Measuring the degree of Be from the Legong Lele spring; c. Legong Lele water reservoir for distribution to residents.

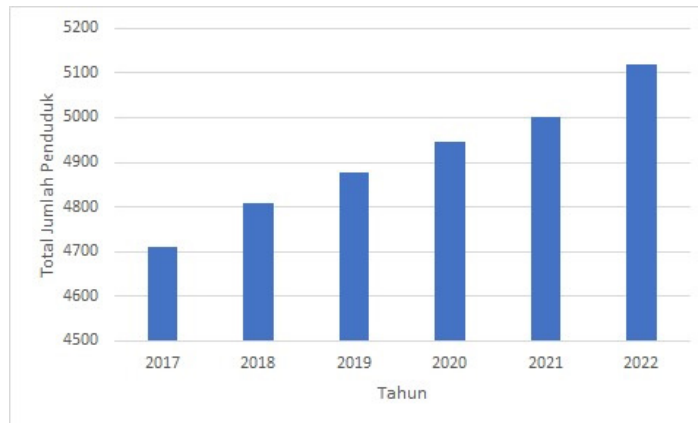
tersebut banyak terdapat mata air di hutan legong lele, yang digunakan untuk sumber air PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) dan Pansimas (Penyediaan Air

Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat). Sebaran lokasi mata air di Pulau Karimunjawa tertera pada Gambar 4. Adapun kondisi lapangan sebaran mata

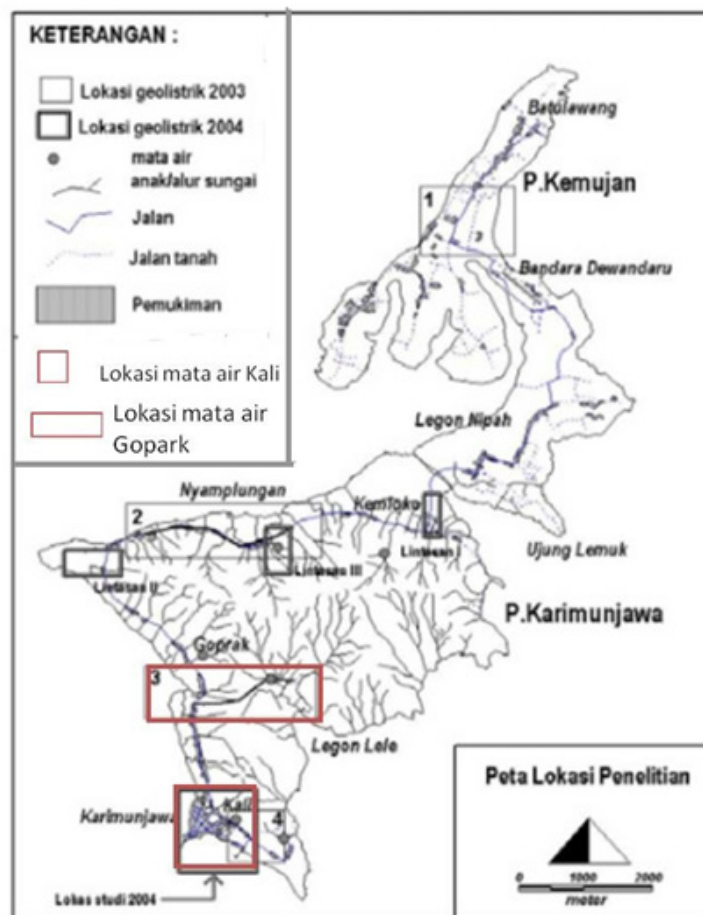
air di Pulau Karimunjawa pada Gambar 5 a.b. dan c. Sebagaimana diketahui Pulau Karimunjawa sebagai pulau kecil dengan luas 4.302,5 ha atau 43,025 km² dengan jumlah penduduk yang berusia 0 hingga 75 tahun lebih sebesar 253.457 jiwa (BPS 2021). Berdasarkan data perkembangan jumlah penduduk BPS Kabupaten Jepara, perkembangan populasi penduduk dari tahun 2017 hingga 2022 di Pulau Karimunjawa terlihat terus mengalami peningkatan (Gambar 6). Hal ini

tentunya berimplikasi pada peningkatan penggunaan air bersih di kawasan tersebut, sehingga perlu dijaga ekosistemnya karena berkaitan dengan ketersediaan cadangan air tanah.

Mata air di Pulau Karimunjawa berada di Goprak dan Kali. Menurut Supriharyono (2002) data pengukuran pada bulan Oktober tahun 1999 debit mata air Goprak adalah 0,31 l/det, mata air Kali adalah 0,16 l/det,



Gambar 6. Jumlah Penduduk di Pulau Karimunjawa.
Figure 6. Population of Karimunjawa Island.



Gambar 7. Lokasi Gopark dan Kali. (Sumber: Hadi *et al.*, 2006).
Figure 7. Location of Goprak and Kali. (Sumber: Hadi et al., 2006).

sedang Kanwil Dep.PU,1997 menyatakan bahwa pada musim hujan debit mata air Goprak di lokasi no. 3 dan mata air Kali di lokasi no. 1 masing-masing adalah 1,5 l/det dan 0,75 l/det (Gambar 7). Peta Lokasi mata air Gopark no 3 dan mata air Kali no 1).

Pulau Karimunjawa mempunyai sumber daya air yang terbatas yang berasal dari Legon Lele, Geopark dan Kali. Dari hasil wawancara dengan masyarakat pesisir yang dilaksanakan pada 8 - 14 April 2021, dimana masyarakat setempat pada musim kemarau sekitar Juni hingga Desember tidak menggunakan air dari PDAM yang mengambil sumber dari Legong Lele. Mereka membeli air yang diperoleh dari mata air taman kupu-kupu yang berada di selatan Pulau Karimunjawa (Gambar 4).

Memperhatikan kondisi tersebut sehingga perlu pengelolaan air yang berkesinambungan sesuai dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 Tentang Sumber Daya Air Pasal 1 ayat 8. Uraian dari pasal tersebut menyatakan bahwa Pengelolaan Sumber Daya Air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan Konservasi Sumber Daya Air, Pendayagunaan Sumber Daya Air, dan Pengendalian Daya Rusak Air.

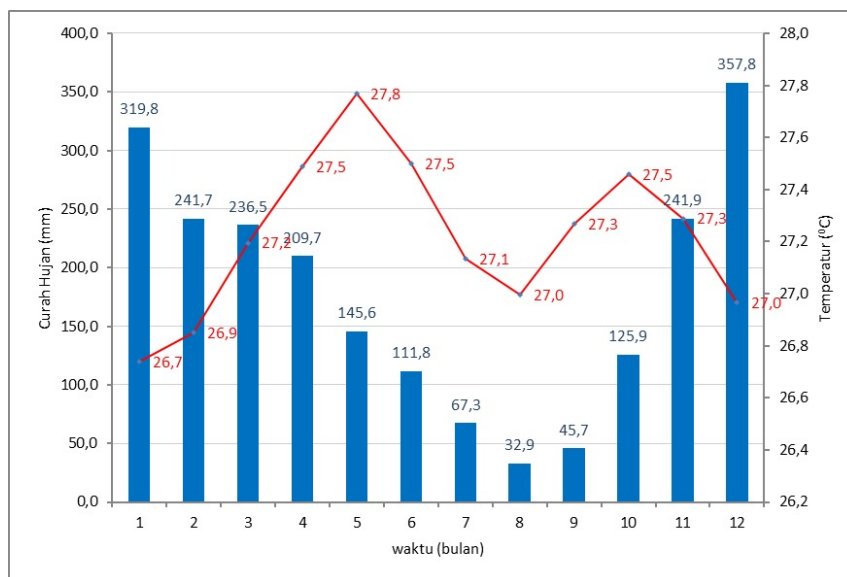
Kondisi Hidrometeorologi

Pulau Karimunjawa secara geografis terletak pada gugusan Kepulauan Karimunjawa, berjarak sekitar 65 mil laut dari Pulau Jawa sebagai pulau utamanya. Dengan posisinya berada di wilayah Laut Jawa,

interaksi antara Laut Jawa, Pulau Jawa dan atmosfer di atasnya diduga memberikan pengaruh pada karakter iklim dan variabilitas hidrometeorologi di Kepulauan dan Pulau Karimunjawa sebagai fokus area studi. Hasil studi Tarqiyya (2016), menunjukkan bahwa sirkulasi angin laut di Pulau Karimunjawa mendapat pengaruh dari sirkulasi angin laut Pulau Jawa. Hal ini terindikasi dari citra satelit Himawari 7 yang mampu menangkap keberadaan dua sel sirkulasi angin laut. Selain itu, hasil *hindcast* tanpa asimilasi data juga mampu mendukung dalam mendeteksi keberadaan dua sel sirkulasi angin laut. Sedangkan kondisi hidrometeorologi ketersediaan air tanah di Pulau Karimunjawa, umumnya tergantung pada kondisi iklim (Rahayu & Soeprbowati, 2018) dengan debit air yang berfluktuasi tergantung pada curah hujan karena tidak memiliki Cekungan Air Tanah (CAT) (Sumaryati *et al.*, 2022).

Estimasi neraca air di pulau-pulau kecil memiliki tantangan yang cukup besar dan menarik untuk diteliti. Hal ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satu diantaranya adalah ketersediaan data primer dan sekunder yang relatif cukup mudah untuk diakses. Hasil estimasi neraca air atau keseimbangan air (*water balance*) dengan menggunakan pendekatan data iklim yang diperoleh dari data *reanalysis* di Kepulauan Karimunjawa.

Berdasarkan hasil analisa data curah hujan bulanan dari *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) dalam kurun waktu 20 tahun (1996-2015), terlihat pola hujan di wilayah Pulau Karimunjawa bersifat monsunial (Gambar 8). Hal ini ditandai dengan pola



Gambar 8. Curah Hujan Bulanan (GPCP) dan temperatur udara bulanan (ERA-5) di Pulau Karimunjawa (1996-2015).
 Figure 8. Monthly rain fall (GPCP) and monthly air temperature (ERA-5) on Karimunjawa Island from 1996-2015.

curah hujannya bersifat unimodial, satu puncak hujan maksimum (musim hujan) dan satu puncak hujan minimum (musim kering/musim kemarau). Pola hujan ini masuk dalam tipe A dan sesuai dengan penelitian Adrian *et al.* (2003), dengan puncak musim kemarau terjadi pada bulan Juli-September. Hujan minimum ini berasosiasi dengan musim kering atau musim kemarau yang terjadi saat monsun timur pada bulan Juni, Juli dan Agustus, yaitu saat posisi matahari berada di garis balik utara. Hal ini berdampak pada masa udara diatas Benua Asia mengalami pemanasan yang intensif sehingga di Asia mengalami tekanan rendah. Kondisi ini berkebalikan dengan belahan bumi selatan, yang tidak mengalami pemanasan intensif sehingga udara diatas Benua Australia mengalami tekanan tinggi.

Curah hujan di wilayah Pulau Karimunjawa terlihat mulai mencapai lebih dari 200 mm pada bulan November dan terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada bulan Desember dan Januari dengan curah hujan lebih dari 300 mm. Curah hujan tinggi ini terkait dengan puncak musim hujan. Pada bulan Februari hingga April curah hujan mulai mengalami penurunan namun masih mencapai lebih dari 200 mm. Ini terkait dengan musim hujan yang relatif cukup panjang mulai November hingga April. Selanjutnya curah hujan terus mengalami penurunan hingga mencapai kondisi terendah pada bulan Juli-Agustus-September dengan curah hujan kurang dari 100 mm. Hal ini terkait dengan periode musim kering yang berlangsung di wilayah tersebut. Kondisi serupa juga diungkapkan oleh Ramdhan *et al.*, (2021) bahwa pola hujan di Pulau Karimunjawa dan Pulau Kemujan memiliki pola musonal dengan pengaruh musim kering pada bulan Juli, Agustus dan September. Pola hujan musonal inipun serupa dengan pola hujan di wilayah Pulau Pari, Kepulauan Seribu (Marganingrum *et al.*, 2023) yang masih dalam satu sistem iklim-laut Jawa. Sementara itu, pada penelitian Hartanto & S (2007) dengan menggunakan data yang bersumber dari Kecamatan Karimunjawa, 2002, Pola hujan musonal di Kepulauan Karimunjawa terlihat berada dalam pengaruh musim kering lebih panjang daripada musim basah. Musim kering terjadi pada bulan Mei, Juni, Juli, Agustus, September hingga Oktober, sedangkan musim basah terjadi selama secepat bulan yaitu pada bulan Desember, Januari, Februari hingga Maret. Kondisi ini diduga terkait dengan sumber data yang digunakan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Temperatur udara terlihat mengalami peningkatan hingga mencapai maksimum 27,8°C pada bulan Mei. Selanjutnya, temperatur udara mengalami penurunan

hingga 27,0°C bulan Agustus, dan meningkat kembali hingga mencapai maksimum 27,5°C pada bulan Oktober. Temperatur kembali mengalami penurunan hingga mencapai minimum 26,7°C pada bulan Januari. Pola fluktuasi temperatur udara rata-rata bulanan ini bersifat bimodial, memiliki dua puncak dan dua lembah (Gambar 6). Puncak temperatur udara tertinggi terjadi pada April-Mei-Juni (AMJ) sedangkan puncak terendah pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF). Pola temperatur udara dengan dua puncak maksimum terlihat lebih tinggi pada periode musim AMJ daripada periode September-Oktober-November (SON), sedangkan pola temperatur udara minimum (dua lembah) terlihat lebih rendah pada DJF daripada Juni-Juli-Agustus (JJA). Pola fluktuasi ini terkait dengan pergerakan semu matahari dalam arah utara-selatan yang melintasi lokasi penelitian (Prasetyo *et al.*, 2021). Pola temperatur udara di Pulau Karimunjawa terlihat memiliki kemiripan bila dibandingkan dengan pola temperatur udara di Pulau Pari, Kepulauan Seribu (Marganingrum *et al.*, 2023). Hal ini diduga kuat karena kedua wilayah kepulauan masih dalam satu sistem iklim antara laut Jawa-atmosfer-daratan Pulau Jawa.

Tabel 1 menunjukkan estimasi neraca air klimatologi di Pulau Karimunjawa dengan pendekatan Metode Thornwaite (Tatas *et al.*, 2015) berdasarkan data curah hujan bulanan 1996-2015. Temperatur udara rata-rata bulanan di lokasi penelitian mencapai 26,7°C hingga 27,8°C dan *heat* indeks bulanan (I) tergantung pada koefisien lokasi. Evapotranspirasi adalah proses kehilangan air yang merupakan kombinasi dari proses evaporasi dan transpirasi pada suatu lahan dan permukaan air dari suatu daerah pengaliran sungai. Kondisi air yang tersedia dapat terjadi secara berlebihan disebut dengan evapotranspirasi potensial. Evapotranspirasi potensial di lokasi penelitian mencapai 132,5 mm hingga 162,2 mm perbulan. Estimasi evapotranspirasi potensial ini cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan evapotranspirasi potensial di Pulau Pari, Kepulauan Seribu, yang mencapai 161,32 mm hingga 194,00 mm perbulan, (Marganingrum *et al.*, 2023). Hal ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya curah hujan yang cenderung fluktuatif, tekstur tanah dan tutupan lahan yang berpengaruh pada koefisien pada tanaman. Ketika curah hujan yang terjadi cukup besar maka ketersediaan air akan cukup banyak. Evapotranspirasi potensial terjadi pada kondisi air tersedia secara maksimum atau kapasitas lapangnya. Oleh karena itu, jika jumlah air yang tersedia secara berlebihan dari yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi, maka jumlah air tersebut akan relatif

lebih besar dibandingkan dengan tersedianya air di bawah keperluan.

Potensi infiltrasi air tanah dan akumulasi perbulan sepanjang tahun juga terlihat pada Tabel 1. Perbedaan antara curah hujan dan evapotranspirasi (CH-ETP) terlihat mulai menurun pada bulan Mei hingga Oktober, dan kembali meningkat pada bulan November. Kondisi ini terlihat adanya kemiripan pola dengan Pulau Pari, Kepulauan Seribu. Namun, selisih CH dan ETP di Pulau Pari terjadi penurunan pada bulan April-Oktober. Hal ini karena pada bulan April/Mei merupakan musim pancaroba di wilayah tersebut terlihat curah hujan mulai berkurang dan merupakan

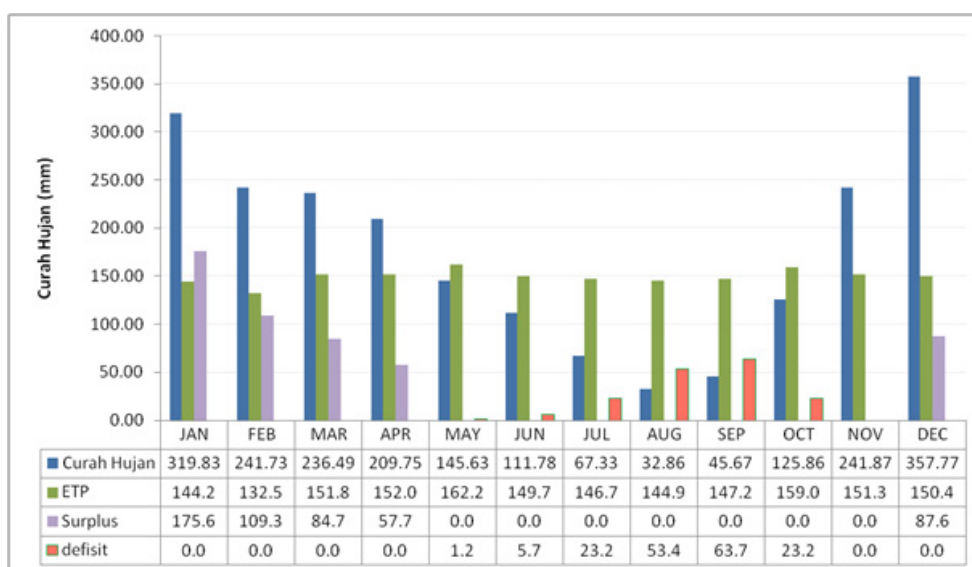
transisi menuju musim kemarau. Sementara itu, curah hujan pada bulan November di kedua wilayah terlihat mulai meningkat dan lebih besar dibandingkan dengan evapotranspirasinya.

Dalam evapotranspirasi aktual jumlah ketersediaan air tidak berlebihan atau terbatas. Evapotranspirasi aktual terlihat cenderung lebih berfluktuatif, air yang tersedia cenderung dibawah kapasitas lapang. Pada bulan Agustus dan September evapotranspirasi aktual berada pada kondisi terendah. Hal ini dipengaruhi oleh curah hujan yang relatif lebih rendah pada bulan tersebut karena berasosiasi dengan musim kering, sehingga air yang masuk ke permukaan tanah akan terus meresap

Tabel 1. Estimasi Neraca Air di Pulau Karimunjawa berdasarkan Data Curah Hujan Bulanan 1996-2015
Table 1. Water Balance Estimation in Karimunjawa Island on Monthly Rainfall Data 1996-2015

BULAN	Presipitasi (mm)	Temperatur (°C)	ETP (mm)	CH-ETP (mm)	ETA (mm)	DEFISIT (mm)	SURPLUS (mm)
JAN	319,83	26,74	144,2	175,6	144,2	0,0	175,6
FEB	241,73	26,85	132,5	109,3	132,5	0,0	109,3
MAR	236,49	27,20	151,8	84,7	151,8	0,0	84,7
APR	209,75	27,49	152,0	57,7	152,0	0,0	57,7
MAY	145,63	27,77	162,2	-16,5	160,9	1,2	0,0
JUN	111,78	27,50	149,7	-37,9	144,0	5,7	0,0
JUL	67,33	27,13	146,7	-79,3	123,5	23,2	0,0
AUG	32,86	27,00	144,9	-112,1	91,6	53,4	0,0
SEP	45,67	27,27	147,2	-101,6	83,6	63,7	0,0
OCT	125,86	27,46	159,0	-33,2	135,8	23,2	0,0
NOV	241,87	27,29	151,3	90,5	151,3	0,0	0,0
DEC	357,77	26,97	150,4	207,4	150,4	0,0	87,6

Evapotranspirasi Potensial (ETP), Selisih antara curah hujan dan evapotranspirasi potensial (CH-ETP), Evapotranspirasi Aktual (ETA), Defisit/Suplus Ketersediaan Air



Gambar 9. Parameter utama (curah hujan, evapotranspirasi potensial, surplus dan defisit air) neraca air Pulau Karimunjawa.

Figure 9. Main parameters (precipitation, potential evapotranspiration, water surplus and deficit) of water balance on Karimunjawa Island.

kedalam tanah terlebih dahulu hingga mencapai kondisi jenuh .

Gambar 9 menunjukkan neraca air Pulau Karimunjawa dalam bentuk grafik, dengan menampilkan parameter utama dalam neraca air (Evapotranspirasi potensial, surplus dan defisit air). Evapotranspirasi potensial bulanan mencapai 132,5 mm hingga 162,2 mm. Fluktuasi evapotranspirasi potensial ini terlihat mengikuti jumlah curah hujan. Pada saat musim hujan, nilai evapotranspirasi cenderung mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan saat musim kemarau. Hal ini juga terlihat adanya surplus air yang terjadi saat periode musim hujan. Pada bulan Desember ketika curah hujan mulai meningkat dan memasuki musim penghujan, terlihat surplus air mengikuti jumlah curah hujan. Kondisi ini terus berlangsung hingga puncak musim hujan di bulan Januari dan surplus air tertinggi. Selanjutnya, surplus air mengalami penurunan hingga bulan April yang berasosiasi dengan berkurangnya jumlah curah hujan dan menandai musim pancaroba menuju musim kemarau. Ketersediaan air di Pulau Karimunjawa terlihat mulai mengalami defisit pada bulan Mei sebesar 1,2 mm dan terus meningkat hingga Agustus dan mencapai defisit maksimum pada September sebesar 63,7 mm. Hal ini terkait dengan rendahnya curah hujan pada bulan Agustus dan September yang berasosiasi dengan puncak musim kemarau. Kondisi defisit air mulai berkurang pada bulan Oktober. Curah hujan yang terjadi pada bulan November terlihat mulai meningkat dan memasuki musim hujan, sehingga kondisi tanah yang semula dalam keadaan kering akan menerima pasokan air hujan yang terus mengisi ke dalam tanah hingga mencapai kondisi setimbang atau jenuh. Oleh karena itu, penggunaan air tawar pada bulan November ini belum dapat dilakukan secara maksimal, karena ketersediaan air belum mencapai kondisi surplus. Jika dibandingkan dengan kondisi di Pulau Pari, Kepulauan Seribu, ketersediaan air tanah cenderung memiliki kemiripan pola dengan pola curah hujan yang terjadi di wilayah Pulau Karimunjawa. Sedangkan di Pulau Pari perbedaan potensi air akumulasi tanah mencapai maksimum pada bulan Maret dan terendah pada bulan Oktober. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi topografi dan geologi dari Pulau Pari yang tidak memiliki sungai dan sistem drainase. Ketika terjadi hujan dengan intensitas kecil akan cenderung langsung meresap ke dalam tanah. Sedangkan hujan dengan intensitas tinggi akan menimbulkan genangan air hujan, namun sebagian lainnya akan menyusup ke dalam tanah secara perlahan setelah hujan berhenti, (Marganingrum *et al.*, 2023).

Selain itu, informasi yang diperoleh dari hasil wawancara ke warga di lokasi survei, mengindikasikan bahwa pada umumnya warga merasa kesulitan air pada saat musim kemarau, Juli-September. Pada periode ini, kualitas air yang mereka konsumsi secara umum berasa asin/payau, sedangkan pada musim hujan air akan berasa tawar (Pryambodo *et al.*, 2021). Hal ini diduga karena salah satu sumber air tawar berasal dari hujan sebagai air permukaan yang pada saat musim kemarau volumenya berkurang sehingga menyebabkan kondisi defisit air tawar. Selain itu pada kawasan pulau, seperti halnya Pulau Karimunjawa, secara umum memiliki sistem aliran permukaan dengan waktu tempuh pendek, hal ini mengakibatkan pemanfaatan sumber daya air lebih mengandalkan air tanah yang diduga terintrusi oleh air laut. Kondisi air tanah ini tergantung pada keadaan geologi wilayah setempat. Sebagian penduduk setempat memanfaatkan air tawar yang berasal dari penampungan mata air Legong Lele yang didistribusikan ke warga (Gambar 5).

Dengan mengetahui periode masa surplus dan defisit air, maka masyarakat dan para pemangku kepentingan diharapkan dapat memiliki kesadaran dalam menjaga pengelolaan penggunaan air dan lingkungannya secara keberlanjutan. Beberapa langkah positif yang dapat dilakukan untuk menjaga pengelolaan air tawar dan lingkungannya secara keberlanjutan antara lain dengan membangun embung, memanen hujan, membangun bio-pori di sekitar hunian/bangunan warga, serta menjaga daerah resapan air hujan agar tidak semakin berkurang keberadaannya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pola hujan di wilayah Pulau Karimunjawa menunjukkan sifat unimodial atau termasuk dalam tipe musunial dengan satu puncak hujan minimum (musim kering) dan satu puncak hujan maksimum (musim hujan). Satu puncak musim kemarau terjadi pada Juli-Agustus-September dengan curah hujan bulanan kurang dari 100 mm. Satu puncak musim hujan terjadi pada November hingga April dengan curah hujan bulanan mencapai lebih dari 200 mm. Estimasi neraca air di wilayah Pulau Karimunjawa menunjukkan surplus ketersediaan air bulanan bervariasi antara 57,7 mm hingga 175,6 mm pada periode musim hujan, mulai Desember hingga April. Defisit air mulai terlihat pada bulan Mei hingga Oktober, dengan kondisi defisit maksimum pada bulan September sebesar 63,7 mm. Populasi penduduk di wilayah Pulau Karimunjawa terus mengalami peningkatan sedangkan resapan air

dalam konsidi terbatas sehingga dapat berakibat pada terjadinya krisis air di masa depan jika tidak dilakukan upaya pengelolaan penggunaan air dan menjaga lingkungannya secara keberlanjutan.

Saran

Penelitian lanjutan diperlukan dengan menggunakan data observasi dari stasiun hujan di sekitar lokasi studi sehingga akan diperoleh analisis estimasi neraca air yang lebih akurat untuk suatu pulau. Selain itu, perlu dilakukan analisis estimasi neraca air dengan menggunakan metode perhitungan lainnya dan melakukan uji perbandingan dari berbagai data yang digunakan dalam analisis estimasi neraca air suatu pulau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari Kegiatan Rekomendasi Pemanfaatan Sumberdaya Air Tanah di Pesisir dan Pulau Kecil (Pusriskel – 2021). Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Penanggung Jawab Kegiatan tersebut - Dino Gunawan Pryambodo, M.T.; Penanggung Jawab output - Dinamika Laut dan Perubahan Iklim, Dr. Tubagus Solihuddin; dan juga kepada Kepala Pusat Riset Kelautan, Dr. I Nyoman Radiarta di Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan atas terlaksanakannya kegiatan penelitian ini. Studi “Estimasi Neraca Air di Pulau Karimunjawa yang dipengaruhi Kondisi Hidrometeorologi Laut Jawa” ini dilakukan secara mandiri di Pusat Riset Iklim dan Atmosfer (PRIMA, 2022), Organisasi Riset Ilmu Kebumihan dan Maritim, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Riset Iklim dan Atmosfer beserta jajarannya atas kesempatan dalam menyelesaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, E., & Susanto, R. D. (2003). Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *International Journal Climatology*, 23, 1435-1452.
- Badan Informasi Geospasial - BIG Peta Indonesia (2016).
- Badan Pusat Statistik - BPS Kab. Jepara. (2017). Kecamatan Karimunjawa Dalam Angka 2017. viii + 104 hlm.
- Badan Pusat Statistik - BPS Kab. Jepara (2018). Kecamatan Karimunjawa Dalam Angka 2018.
- Badan Pusat Statistik - BPS Kab. Jepara (2019). Kecamatan Karimunjawa Dalam Angka 2019.
- Badan Pusat Statistik - BPS Kab. Jepara (2020). Kecamatan Karimunjawa Dalam Angka 2020.
- Badan Pusat Statistik - BPS Kab. Jepara (2021). Kecamatan Karimunjawa Dalam Angka 2021.
- Balai Taman Nasional Karimunjawa - BTNK. 2004. Penataan Zonasi Taman Nasional Karimunjawa Kabupaten Jepara. BTNK. Semarang.
- Bengen, D. G., Retraubun, A. S., & Saad, S. (2012). Menguak Realitas dan Urgensi Pengelolaan Berbasis Ekososio Sistem Pulau-Pulau Kecil.
- Budipriyanto, T. A., Khoiri, M., Lestaria, W., & Rahman, A. (2015). Study on water balance in Poteran – a small island in East Java, Indonesia. *Procedia Engineering*, 12, 236–242. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.034.
- Hadi, S. I., Arsadi, E. M., Hartanto, P. & Marganingrum, D. (2006). Kualitas Air Tanah Bebas Kota Karimunjawa, Pulau Karimunjawa. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 16(2), 27-50.
- Hartanto, P., & S, I, H. (2007), Evaluasi Kualitas dan Ketersediaan Air Pulau Karimunjawa-Kemujan, Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, *JURNAL TEKNOLOGI ACADEMIA ISTA*, 12(1), 117-129.
- Hehanussa, P. E. (1993). *Morphogenetic Classification of Small Island as basis for Resources Planning in Indonesia. Seminar on Small Island Hydrology*, UNESCO-ROSTSEA, Batam Island, 13p.
- IlmuGeografi.com (2023). Tanah Grumusol : Pengertian, Karakteristik, Jenis dan Pemanfaatan. diakses tanggal 9 januari 2023, dari <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/tanah/tanah-grumusol>.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral - Republik Indonesia - ESDM Peta Geologi.

- Kementerian Kelautan dan Perikanan (2017). Data Jumlah Pulau Di Indonesia. Diakses 2 Desember 2022, dari <https://kkp.go.id/djprl/p4k/page/4270-jumlah-pulau>.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (2022). Definisi dan Tipe Pulau. diakses 2 Desember 2023, dari <https://kkp.go.id/djprl/p4k/page/4259-definisi-dan-tipe-pulau>.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (2023). Direktori Pulau-Pulau Kecil Indonesia. diakses 9 Januari 2023, dari http://www.ppk-kp3k.kkp.go.id/direktori-pulau/index.php/public_c/menu_info/1.
- Mardiatno, D., Susilo, B. & Mei, E. T. W. (2018). Potensi Sumberdaya Pesisir Kabupaten Jepara. ISBN: 978-602-386-033-3. Diakses 9 Januari 2023, dari <https://books.google.co.id/books>.
- Marganingrum, D., Ismail, M., F. A., & Wulan., D. R. (2023). Assessment of shallow groundwater contamination on Pari Island, Indonesia, *Environ Monit Assess*, 195(1), 195:87. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10649-w>.
- Prasetyo, S., Hidayat, U., Haryanto, Y. D., & Riama, N. F. (2021). Variasi dan Trend Suhu Udara Permukaan di Pulau Jawa. *Jurnal Geografi*, 18(1), 61-68, DOI 10.15294/jg.v18i1.27622.
- Pryambodo, D. G., Arifin T., Purbani, D., Yulius., Ramdhan, M., Adi, N. S., Kusuma., L. P. A. S. C., Ratnawati, H. I., Permana, S. M., & Indriasari, V. Y. (2021). Laporan penelitian, Rekomendasi Pemanfaatan Sumberdaya Air Tanah di Pesisir dan Pulau Kecil, Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Rahayu., & Soeprbowati, T. R. (2018). Implementation of State Obligations and Responsibility Ensuring the Availability of Clean Water in Karimunjawa Islands. *E3S Web of Conferences*, 31, 09004. I. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183109004>.
- Ramdhan, M., Priyambodo, D. G., Yulius., Purbani, D., Indriasari, V. Y., Kusuma, L. P. A. S. C., Permana, S. M., Arifin, T., Ratnawati, H. I., Prihantono, J., Adi, N. S., & Mangindaan, P. (2021). Studi Pemanfaatan Sumberdaya Air Permukaan Di Pulau Karimunjawa Dan Pulau Kemujan. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia, Palembang, 27 April 2021*.
- Santoso, D. H., Prasetya, J. S., & Saputra, D. R. (2020). Analisis Daya Dukung Lingkungan Hidup Berbasis Jasa Ekosistem Penyediaan Air Bersih di Pulau Karimunjawa. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 290-296.
- Supriharyono. (2002). Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis, P.T. Gramedia P.U 248 hal.
- Sidarto., Santosa, S., & Hermanto, B. (1993): Peta Geologi Lembar Karimunjawa, Jawa, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Suryanti. (2010). *Degradasi Pantai Berbasis Ekosistem Di Pulau Karimunjawa Kabupaten Jepara*. Tesis, Program Pascasarjana Undip.
- Sumaryati, S., Prihatinningsih, P., Kristiawan, Kuswadi. (2022). Sumber Daya Air di Pulau-Pulau Kecil: Pola Pemanfaatan Air di Pulau Karimunjawa, Taman Nasional Karimunjawa. *Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis ke-46 UNS Tahun 2022, "Digitalisasi Pertanian Menuju Kebangkitan Ekonomi Kreatif"*, 6(1).
- Taqiyya, M. (2016). *Kajian Sirkulasi Angin Laut di Pulau Karimunjawa dengan Observasi dan Model Prediksi Cuaca Numerik, Program Studi Meteorologi*. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung.
- Tatas., Budipriyanto, A., Khoiria, M., Lestaria, W., & Rahman, A. (2015). Study on water balance in Poteran – a small island in East Java, Indonesia. *Procedia Engineering*, 125, 236-242.
- Undang Nomor 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2014 Tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.