

**SIMULASI PENGARUH PERUBAHAN TATAGUNA LAHAN DAN
TEMPERATUR TERHADAP POTENSI CADANGAN AIR TANAH PADA
PERHITUNGAN NERACA AIR DAS CIJULANG, PANGANDARAN**

**Muhammad Augi Manggau¹, Boy Yoseph CSS Syah Alam¹, Teuku Yan Waliana
Muda Iskandarsyah¹**

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: augimtoriasa@gmail.com

ABSTRAK

DAS Cijulang termasuk kedalam Kabupaten Pangandaran, terletak diantara koordinat 7° 30' 15" LS dan 108° 19' 28" BT hingga 7° 45' 27" LS dan 108° 44' 54" BT. Luas wilayah DAS Cijulang sebesar 528.791.341,82 m² yang meliputi 9 kecamatan. Daerah ini merupakan wilayah yang berkembang pesat di bidang pembangunan. Kabupaten Pangandaran memiliki potensi sebagai tujuan wisata yang cukup tinggi karena keindahan alam dan geologinya menyebabkan pembangunan daerah ini terus berkembang sampai sekarang. Berubahnya tata ruang serta meningkatnya jumlah penduduk akan mempengaruhi potensi serta kebutuhan air tanah pada daerah ini. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui bagaimana potensi air tanah, dan pengaruh perubahan tata guna lahan dan temperatur terhadap potensi cadangan air tanah pada DAS Cijulang. Hasil perhitungan neraca air, didapatkan potensi cadangan air tanah pada DAS Cijulang sebesar 645,607,807.89 m³/tahun, total kebutuhan air sebesar 23,862,390.92 m³/tahun. Berdasarkan simulasi perubahan tata guna lahan diperoleh nilai pengaruh tiap tataguna lahan pada DAS Cijulang yaitu: Perkebunan sebesar 12%; Sawah sebesar 4%; Ladang sebesar 1%; Hutan sebesar 2%; dan Semak belukar sebesar 2,23%. Sedangkan perubahan temperatur mempengaruhi nilai infiltrasi air tanah secara eksponensial.

Kata kunci : DAS Cijulang, Neraca air, Potensi air tanah, Perubahan tata guna lahan, Perubahan temperatur.

ABSTRACT

Cijulang watershed is in Pangandaran Regency, located between coordinates 7 ° 30 '15 "south latitude and 108 ° 19' 28" east longitude to 7 ° 45 '27 "south latitude and 108 ° 44' 54" east longitude. The total area of the Cijulang watershed is 528,791,341.82 m² which covers 9 districts. This area is a rapidly developing region in the field of development. Pangandaran Regency has the potential as a tourist destination that is quite high because of its natural beauty and geology cause the development of this area continues to grow until now. Changes in spatial planning and increasing population will affect the potential and needs of groundwater in this area. This study aimed to determine how the potential of groundwater, and the effect of changes in land use and temperature on the potential of groundwater reserves in the Cijulang watershed. The results of the calculation of the water balance, the potential for ground water reserves in the Cijulang watershed is 645,607,807.89 m³ / year, the total water demand is 23,862,390.92 m³ / year. Based on the simulation of land use change, the value of the influence of each land use on the Cijulang watershed, namely: Farm by 12%; Paddy fields at 4%; Fields of 1%; Forests at 2%; and Bushes by 2,23%. While changes in temperature affect the value of groundwater infiltration exponentially.

Keywords : Cijulang watershed, Water balance, groundwater potential, land use change, temperature change

1. LATAR BELAKANG

Airtanah merupakan sumberdaya alam yang terbarukan (*renewable natural resources*) saat ini telah memainkan peran penting pada penyediaan pasokan kebutuhan air bagi berbagai keperluan, Masyarakat, baik perseorangan maupun kelompok membutuhkan air untuk keperluan sehari-hari dan untuk kebutuhan lainnya. Seiring tumbuhnya masyarakat pada suatu daerah maka dibutuhkan cadangan air tanah yang memadai. Salah satu metode untuk mengetahui potensi cadangan air tanah adalah dengan menggunakan neraca air (*Water Balance*).

Salah satu indikator penting untuk menentukan potensi cadangan air tanah pada suatu daerah adalah tata guna lahan. Perubahan tata guna lahan dalam skala masif (misalnya karena pembukaan kawasan perkebunan skala besar, seperti perkebunan sawit, pembukaan kawasan permukiman dan industri) dapat menyebabkan air hujan yang seharusnya meresap ke dalam tanah (dalam bentuk infiltrasi dan perkolasi), akan berubah menjadi limpasan aliran permukaan (*surface flow*) yang umumnya mengalir ke sungai dan ke danau. Sehingga dapat mempengaruhi keseimbangan air dan lingkungan disekitarnya. Perubahan tata guna lahan yang relatif luas pada kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat menyebabkan terganggunya siklus hidrologi. Hal ini dapat mengganggu keseimbangan sumber daya air di suatu DAS.

Daerah kabupaten Pangandaran merupakan daerah yang memiliki populasi penduduk cukup banyak dan dapat berubah berdasarkan adanya wisatawan yang datang. Maka dari itu perhitungan potensi cadangan air tanah diperlukan sebagai parameter keterdapatan air tanah.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi hidrogeologi daerah penelitian, mengetahui jumlah cadangan air tanah daerah penelitian, mengetahui

seberapa besar pengaruh perubahan tata guna lahan dan temperatur terhadap potensi cadangan air tanah pada daerah penelitian.

Secara Geografis daerah penelitian terletak diantara koordinat $7^{\circ} 30' 15''$ LS dan $108^{\circ} 19' 28''$ BT hingga $7^{\circ} 45' 27''$ LS dan $108^{\circ} 44' 54''$ BT. Secara administrasi daerah penelitian terletak pada Kabupaten Pangandaran, Provinsi Jawa Barat. Luas wilayah DAS Cijulang sebesar $528,791,341.82 \text{ m}^2$. Daerah penelitian ini meliputi 9 (Sembilan) Kecamatan yaitu: Kecamatan Langkaplancar, Kecamatan Cigugur, Kecamatan Parigi, Kecamatan Cijulang, Kecamatan Sidamulih, Kecamatan Kalipucang, Kecamatan Pangandaran, dan Kecamatan Padaherang. Dengan luas tiap kecamatan yang termasuk daerah penelitian tercantum pada **Tabel 1**.



Gambar 1 Peta lokasi daerah penelitian.

Tabel 1 Luas Wilayah yang Meliputi DAS Cijulang.

Luas Wilayah yang Meliputi DAS Cijulang			
No	Kecamatan	L (m)	L (Km ²)
1	Padaherang	11,133,194.32	11.13
2	Kalipucang	38,717,869.87	38.72
3	Pangandaran	73,933,890.26	73.93
4	Sidamulih	88,285,969.83	88.29
5	Parigi	110,626,202.50	110.63
6	Langkap Lancar	92,875,669.56	92.88
7	Cigugur	26,464,077.84	26.46
8	Cijulang	73,897,052.29	73.90
9	Cimerak	12,857,415.31	12.86
Total		528,791,341.79	528.79

2. TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

DAS Cijulang termasuk kedalam sebagian Peta Geologi Lembar Karangnunggal (S. Supriatna, L. Sarmili, D. Sudana, dan A. Koswara, 1992) dan Lembar Pangandaran (T.O. Simanjuntak dan Surono, 1992). Dengan Formasi yang terdapat pada daerah penelitian (**Gambar 2**) antara lain :

1. Endapan Aluvium (Qal); terdiri dari material lanau, pasir, kerikil dan kerakal.
2. Formasi Bentang (Tmb); terdiri dari batupasir gampingan, batupasir tufan, bersisipan serpih dan lensa-lensa batugamping.

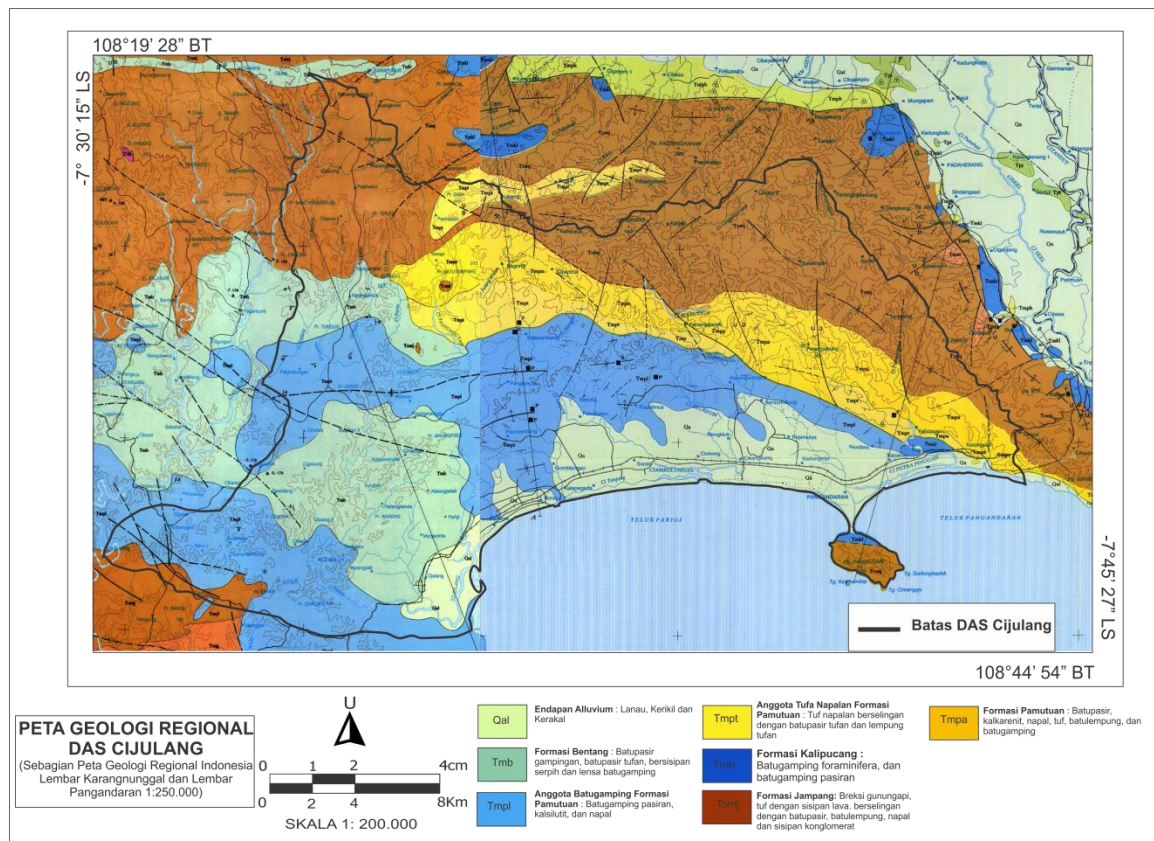
3. Formasi Kalipucang (Tmkl); terdiri dari batugamping foraminifera dan batugamping pasir.

4. Anggota Batugamping Formasi Pamutuan (Tmpl) ; terdiri dari batugamping pasir, kalsilit, dan napal.

5. Anggota Tufa Napalan Formasi Pamutuan (Tmpt); terdiri dari tuf napalan berselingan dengan batupasir tufan dan lempung.

6. Formasi Pamutuan (Tmpt); terdiri dari batupasir, kalkarenit, napal, tuf, batulempung, dan batugamping.

7. Formasi Jampang (Tomj); Breksi gunungapi, tuf dengan sisipan lava, berselingan dengan batupasir, batulempung, napal dan sisipan konglomerat, batupasir kerikildiamiktit.



Gambar 2 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian sebagian Peta Geologi Lembar Karangnunggal dan Lembar Pangandaran (Tanpa Skala)

Hidrogeologi Regional

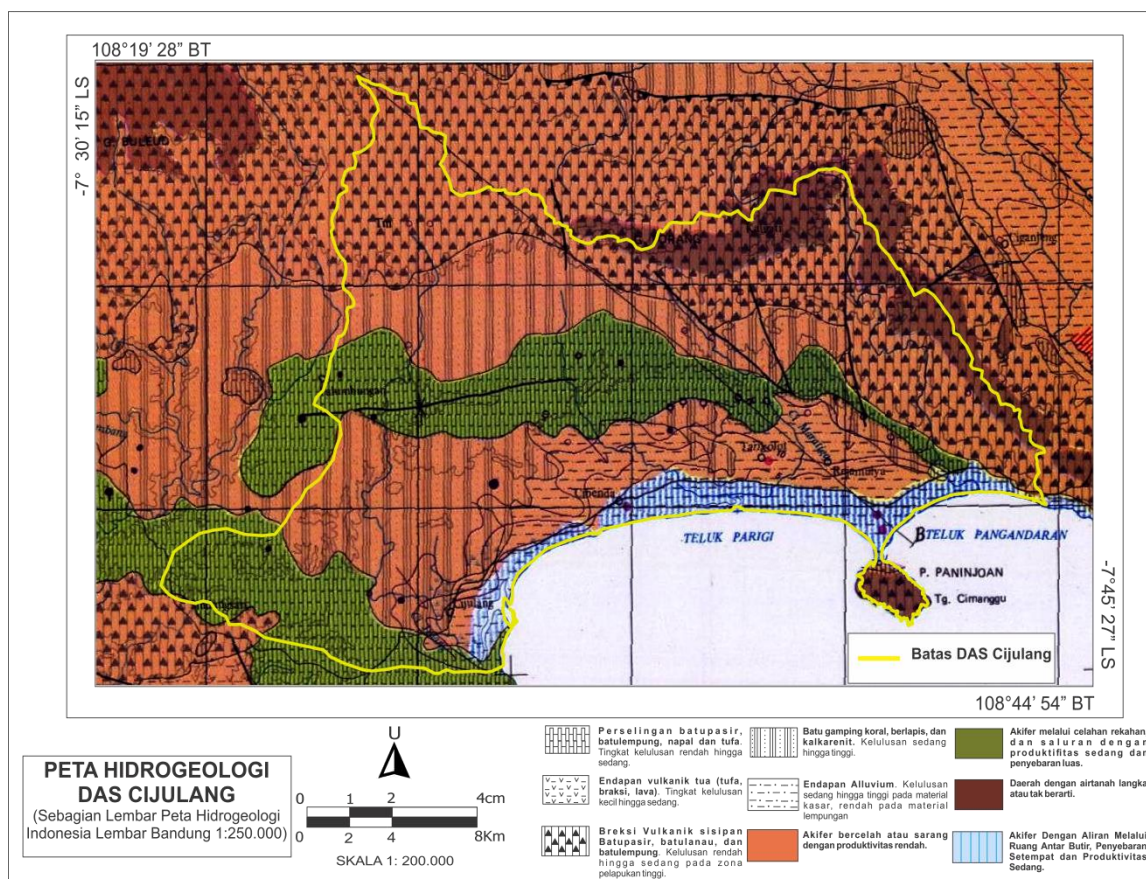
Berdasarkan Peta Hidrogeologi Indonesia lembar Bandung (Soetrisno. S, 1983) daerah penelitian dapat dibagi menjadi 4 (empat) jenis akuifer (**Gambar 3**) berdasarkan keterdapatan air tanah dan tingkat produktivitas akuifer, antara lain :

1. Akuifer dengan aliran melalui celahan (*fissures*), rekahan (*fractures*), dan saluran (*channel*) dengan produktivitas sedang. Ditandai dengan warna hijau, aliran air tanah terbatas pada zona celahan, rekahan, dan saluran pelarutan. Debit sumur dan mataair beragam dalam kisaran yang luas.
2. Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir (*Intergranular*), penyebaran setempat dan produktivitas sedang.

Ditandai dengan warna biru bergaris, akuifer tidak menerus, tipis, dan rendah keterusannya. Muka airtanah umumnya dangkal dengan debit sumur umumnya dibawah 5 L/s.

3. Akuifer bercelah (*fissured*) atau sarang (*phorous*) dengan produktivitas rendah setempat berarti. Ditandai dengan warna coklat terang. Umumnya keterusan sangat rendah, setempat airtanah dangkal dalam jumlah terbatas dapat diperoleh di lembah-lembah atau zona pelapukan.

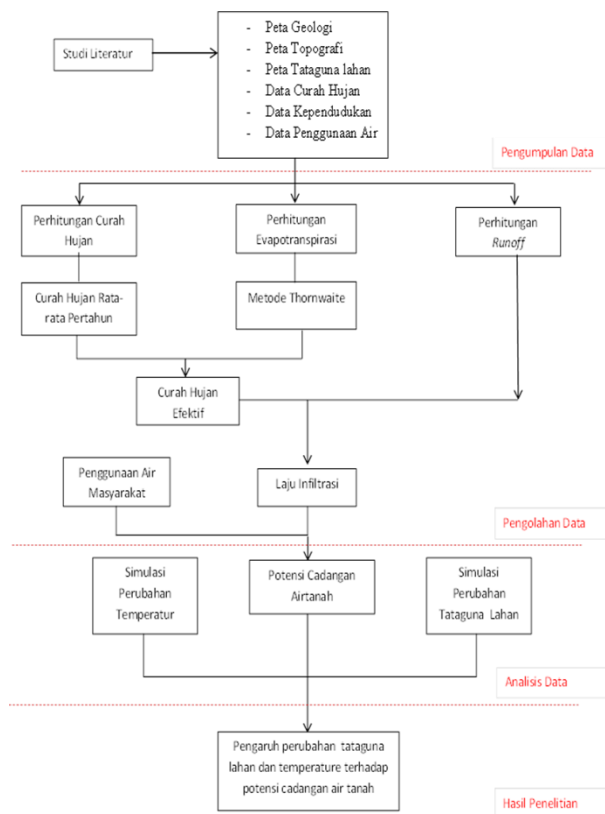
4. Daerah dengan airtanah langka atau tidak berarti. Ditandai oleh warna coklat gelap. Pada daerah ini sulit ditemukan adanya aliran airtanah dan mataair.



Gambar 3 Peta Hidrogeologi Lembar Bandung (Soetrisno. S, 1983) (Tanpa Skala)

3. METODE

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap pelaksanaan, hal ini dimaksudkan guna memperlancar pelaksanaan penelitian. Tahap-tahap pekerjaan secara garis besar meliputi tahap persiapan, tahap pengolahan data, tahap analisis data dan penyusunan laporan atau tahap akhir.



Gambar 4 Bagan Alir Penelitian
Perhitungan Curah Hujan

Perhitungan curah hujan dilakukan berdasarkan data curah hujan yang diperoleh dari stasiun meteorologi tunggul wulung tahun 2009 – 2019. Perhitungan dilakukan dengan cara menjumlahkan rata-rata curah hujan tiap bulannya dari tahun 2009 – 2019, dengan persamaan.

$$R = \bar{R}^1 + \bar{R}^2 + \bar{R}^3 + \dots \bar{R}^{12}$$

Dimana :

R = Total curah hujan rata-rata (mm/tahun)

$\bar{R}$ = Rata-rata curah hujan perbulan (mm/bulan)

$$\bar{R} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 \dots + r_n}{n}$$

r = Curah hujan perbulan dari tahun 2009 – 2019 (mm)

n = Jumlah tahun perhitungan data curah hujan

Perhitungan Evapotranspirasi

Dalam Perhitungan Evapotranspirasi, dilakukan perhitungan berdasarkan metode *Thornthwaite (1948)*, metode ini digunakan berdasarkan data klimatologis temperatur rata-rata bulanan. Dengan asumsi standar bulanan 30 hari dan lama waktu penyinaran 12 jam/hari.

Berdasarkan *Thornthwaite (1948)*, Rumus ini berlaku untuk temperatur udara rata-rata bulanan ($t < 26,5^\circ\text{C}$), yaitu :

$$Epo = 1,6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

Sedangkan untuk data temperatur ($t \geq 26,5^\circ\text{C}$), digunakan rumus :

$$Epo = -0,0433 t^2 + 3,2244 t - 41,545$$

Dimana :

Epo = Evapotranspirasi potensial bulanan belum terkoreksi (cm/bulan).

T = Temperatur rata-rata bulanan ($^\circ\text{C}$).

a = $0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239$

I = Index panas (*Heat Index*) = $\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$

Lalu dilakukan koreksi berdasarkan faktor kedudukan matahari atau faktor lintang (F) (**Tabel 2**). Sehingga didapatkan nilai Evapotranspirasi bulanan terkoreksi (Ep) adalah :

$$Ep = Epo \cdot F$$

Tabel 2. Faktor koefisien koreksi kedudukan matahari

LS	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
1	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
2	1,05	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,02	1,05
3	1,05	0,95	1,04	1,01	1,03	1,00	1,03	1,04	1,01	1,05	1,02	1,05
4	1,06	0,95	1,04	1,00	1,03	1,00	1,03	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
5	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
6	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
7	1,07	0,96	1,04	1,00	1,02	0,98	1,02	1,0	1,00	1,05	1,04	1,07
8	1,07	0,96	1,05	1,00	1,02	0,98	1,01	1,02	1,00	1,06	1,04	1,08
9	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,97	1,01	1,02	1,00	1,06	1,05	1,09
10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

Perhitungan Run Off

Perhitungan *Run off* dilakukan berdasarkan jenis penggunaan lahan dan laju air larian (*Peak run off*). Dalam memperkirakan air larian permukaan digunakan persamaan matematik berupa metode rasional (Chow,1988), yaitu :

$$Q = C.I.A$$

Dimana :

Q =Air Larian (debit) puncak (m³/tahun)

C =Koefisien Air Limpasan

I =Presipitasi Efektif (Curah hujan – Ep) (m/tahun)

A =Luas Wilayah DAS (m²)

Nilai koefisien air limpasan (C) merupakan bilangan perbandingan laju debit puncak dengan intensitas hujan dan merupakan bilangan tanpa satuan. Besar kecilnya nilai C tergantung pada permeabilitas dan kemampuan tanah dalam menampung air. Nilai koefisien air limpasan dalam penelitian ini adalah nilai berdasarkan tabel nilai koefisien limpasan (Manurung, 2013).

Tabel 3. tabel nilai koefisien limpasan (Manurung, 2013).

Penggunaan Lahan atau Bentuk Struktur	Nilai C (%)
Hutan Tropis	< 3
Hutan Produksi	5
Semak Belukar	7
Sawah-sawah	15
Jalan Aspal	95
Daerah Permukiman	50 – 70
Bangunan Padat	70 – 90
Bangunan Terpencar	30 – 70
Atap Rumah	70 – 90
Jalan Tanah	13 – 50
Lapis keras kerikil batu pecah	35 – 70
Lapis keras beton	70 – 90
Taman, Halaman	5 – 25
Tanah Lapang, Tegalan	10 – 30
Kebun, Ladang	0 – 20

Untuk mengetahui nilai koefisien per wilayah daerah dapat 'menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\bar{C} = \frac{(C_1A_1) + (C_2A_2) + (C_3A_3) \dots + (C_nA_n)}{A}$$

Dimana :

$\bar{C}$ = Koefisien rata – rata

$C_1, C_2, C_3, \dots C_n$ = Koefisien *run off*

$A_1, A_2, A_3, \dots A_n$ = Luas Daerah

Dari hasil perhitungan koefisien air limpasan rata – rata dapat dihitung koefisien infiltrasi dengan persamaan :

$$C_i = 1 - C_{ro}$$

Dimana :

C_i = Koefisien Infiltrasi

C_{ro} = Koefisien *run off*

Analisis Neraca Air (Water Balance)

Analisis neraca air dilakukan dalam memperkirakan potensi airtanah secara kuantitatif dari siklus hidrologi yang dilakukan pada daerah penelitian. Perhitungan potensi airtanah dilakukan berdasarkan debit infiltrasi yang merupakan jumlah air yang meresap ke dalam tanah pada daerah tersebut. Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan pendekatan persamaan empiris dari Ffolliot, 1980 (dalam Bonita dan Mardiyanto,2015), dengan persamaannya yaitu :

$$R = (P - E_p) \cdot A_i \cdot (1 - C_{ro})$$

Dimana :

R = Laju debit Infiltrasi ($m^3/tahun$)

P – E_p = Presipitasi – Evapotranspirasi ($m/tahun$)

A_i = Luas lahan (m^2)

Analisis Kebutuhan Air

Perhitungan air domestik dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$Q_d = J_p \times K_p$$

Dimana :

Q_d = Total kebutuhan air domestik ($m^3/bulan$)

J_p = Jumlah penduduk (orang)

K_p = Standar Kebutuhan air penduduk ($L/orang/hari$)

Tabel 4. Kebutuhan air domestik menurut Departemen Pekerjaan Umum.

Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Konsumsi Air ($L/orang/hari$)
Metropolitan	> 1000,000	190
Besar	500,000 - 1000,000	170
Sedang	100,000 - 500,000	150
Kecil	20,000 - 100,000	130
Kecamatan/Desa	<20,000	30

Perhitungan jumlah penduduk tahun 2020 dilakukan dengan memproyeksikan menggunakan metode aritmatika dengan persamaan :

$$P_n = P_o + (n \cdot q) \cdot P_o$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-*n*

P_o = Jumlah penduduk pada tahun dasar

n = Selisih tahun terhadap tahun dasar

q = Laju pertumbuhan penduduk

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk memproyeksikan pertambahan jumlah unit tiap fasilitas hingga tahun ke-*n* dengan menggunakan persamaan (Djawa, 2011).

$$F_n = K \cdot F_o$$

Dengan nilai $K = \frac{p_n}{p_o}$

Dimana :

F_n = Jumlah fasilitas pada tahun ke-*n*

F_o = Jumlah fasilitas pada tahun dasar

P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-*n*

P_o = Jumlah penduduk pada tahun dasar

Tabel 5. Tabel kebutuhan air non domestik (Noerbambang dan Soufyan, dalam Tata Cara Perencanaan Sistem Plumbing, 2005).

No	Fasilitas (non rumah tangga)	Pemakaian Air	Satuan
1	Taman Kanak-kanak (TK)	10	L/siswa/hari
2	Sekolah Dasar (SD)	40	L/siswa/hari
3	SLTP	50	L/siswa/hari
4	SMU/SMK dan lebih tinggi	80	L/siswa/hari
5	Puskesmas	500-1000	L/unit/hari
6	Puskesmas Pembantu	500-1000	L/unit/hari
7	Peribadatan	500-2000	L/unit/hari
8	Rumah Makan	1000	L/unit/hari
9	Hotel	250-300	L/unit/hari
10	Pasar	6000-12000	L/unit/hari
11	Pabrik/Industri	60-100	L/orang/hari

Simulasi Tataguna Lahan

Mengingat bahwa Kabupaten Pangandaran merupakan daerah wisata, maka tidak dapat menutup kemungkinan bahwa Kabupaten Pangandaran dapat berkembang secara pesat menjadi daerah yang maju. Hal ini akan memicu terjadinya peralihan fungsi lahan menjadi pemukiman. Dalam simulasi ini dipilih skenario perubahan tiap tataguna lahan yang kemungkinan dapat terjadi.

Simulasi Temperatur

Dalam perhitungan neraca air (*Water balance*), temperatur permukaan bumi menjadi salah satu parameter yang dibutuhkan. Temperatur permukaan bumi sangat mempengaruhi nilai evapotranspirasi yang terjadi pada suatu wilayah. Semakin tinggi temperatur suatu wilayah maka semakin tinggi nilai evapotranspirasinya. Dalam hal ini, simulasi berdasarkan fluktuasi kenaikan temperatur dalam satu tahun dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur dalam perhitungan neraca air.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Akuifer Daerah Penelitian dengan Kondisi Geologi

Berdasarkan peta hidrogeologi (**Gambar 3**) dan peta geologi regional (**Gambar 2**), didapatkan hubungan antara akuifer dengan

kondisi geologi pada daerah penelitian, yaitu :

1. Akuifer dengan aliran melalui celahan (*fissures*), rekahan (*fractures*), dan saluran (*channel*) dengan produktivitas sedang. Akuifer ini disusun oleh Anggota Batugamping Formasi Pamutuan (Tmpl) dan Formasi Kalipucang (Tmkl), terdiri dari batugamping koral, berlapis, dan kalkarenit. Karakteristik dari litologi ini yaitu memiliki tingkat kelulusan sedang hingga tinggi dengan media aliran berupa celah, rekahan ataupun saluran hasil pelarutan pada batuan. Akuifer ini terletak pada bagian tengah dan baratdaya daerah penelitian.

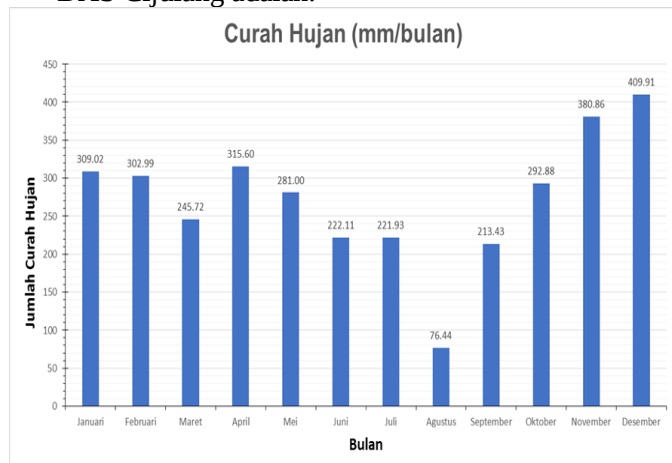
2. Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir (*Intergranular*), penyebaran setempat dan produktivitas sedang. Akuifer ini disusun oleh Endapan *Aluvium* (Qal); terdiri dari material lanau, pasir, kerikil dan kerakal. Karakteristik litologi ini yaitu memiliki tingkat kelulusan sedang hingga tinggi pada material yang kasar dan rendah pada material halus. Dengan media aliran melalui celah ruang antar butir. Akuifer ini berada pada bagian selatan daerah penelitian.

3. Akuifer bercelah (*fissured*) atau sarang (*phorous*) dengan produktivitas rendah setempat berarti. Akuifer ini disusun oleh Formasi Bentang (Tmb) dan Anggota Tufa Napalan Formasi Pamutuan (Tmpt) terdiri dari perselingan batupasir, batulempung, napal, dan tufa. Karakteristik dari litologi ini yaitu memiliki tingkat kelulusan rendah hingga sedang dengan media aliran berupa celah batuan ataupun pori pada batuan. Akuifer ini terletak pada bagian utara dan tengah daerah penelitian.

4. Daerah dengan airtanah langka atau tidak berarti. Akuifer ini disusun oleh Formasi Jampang (Tomj) terdiri dari breksi vulkanik, sisipan, batupasir, batulanau, dan batulempung. Karakteristik dari litologi ini yaitu memiliki tingkat kelulusan rendah, atau sedang pada daerah dengan zona pelapukan tinggi. Akuifer ini terletak pada bagian timurlaut dan tenggara daerah penelitian.

Presipitasi

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari data pencatatan stasiun meteorologi terdekat, yaitu Stasiun Meteorologi Tunggul Wulung Kabupaten Cilacap tahun 2009 hingga 2019. Dari data tersebut, didapatkan nilai curah hujan bulanan selama ± 10 tahun pada wilayah DAS Cijulang adalah.



Gambar 4. Grafik Curah Hujan Selama ± 10 Tahun Terakhir

Setelah didapatkan nilai curah hujan pada wilayah penelitian, maka dilakukan perhitungan debit presipitasi dengan cara mengalikan besar curah hujan dengan luas wilayah penelitian yang kemudian dijumlahkan. Perhitungan debit curah hujan dijabarkan pada **Tabel 6**.

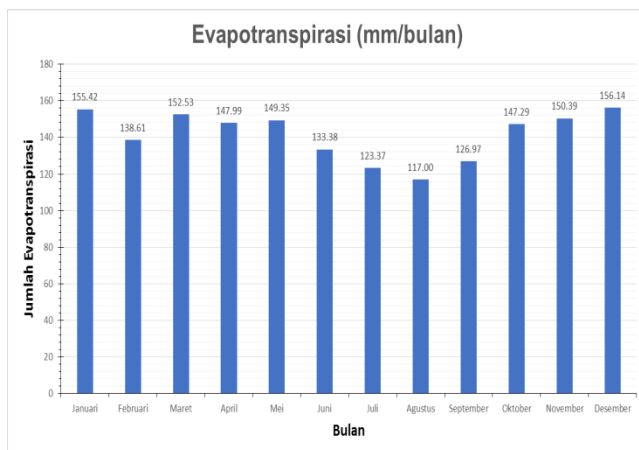
Tabel 6. Debit Presipitasi pertahun

Bulan	P (mm/bulan)	P(m/bulan)	A (m ²)	P (m ³ /bulan)
Januari	309.02	0.31	528,791,341.82	163,406,139
Februari	302.99	0.30	528,791,341.82	160,218,488
Maret	245.72	0.25	528,791,341.82	129,933,647
April	315.60	0.32	528,791,341.82	166,886,547
Mei	281.00	0.28	528,791,341.82	148,590,367
Juni	222.11	0.22	528,791,341.82	117,449,364
Juli	221.93	0.22	528,791,341.82	117,353,220
Agustus	76.44	0.08	528,791,341.82	40,420,810
September	213.43	0.21	528,791,341.82	112,859,180
Oktober	292.88	0.29	528,791,341.82	154,871,233
November	380.86	0.38	528,791,341.82	201,397,393
Desember	409.91	0.41	528,791,341.82	216,756,378
Total laju presipitasi per tahun				1,730,142,769

Berdasarkan data tabel diatas didapatkan nilai debit presipitasi **1.730.142.769,29 m³/tahun** dengan debit paling besar terdapat pada bulan desember.

Evapotranspirasi

Dalam Perhitungan Evapotranspirasi, dilakukan perhitungan berdasarkan metode *Thornthwaite (1948)*, metode ini digunakan berdasarkan data klimatologis temperatur rata-rata bulanan. Data temperatur rata-rata bulanan yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari data pencatatan stasiun meteorologi terdekat, yaitu Stasiun Meteorologi Tunggul Wulung Kabupaten Cilacap tahun 2009 hingga 2019.



Gambar 5. Nilai evapotranspirasi terkoreksi berdasarkan metode *Thornthwaite (1948)*

Setelah didapatkan nilai evapotranspirasi terkoreksi maka dilakukan perhitungan debit evapotranspirasi dengan mengalikan nilai evapotranspirasi terkoreksi rata-rata bulanan dengan luas wilayah penelitian dan

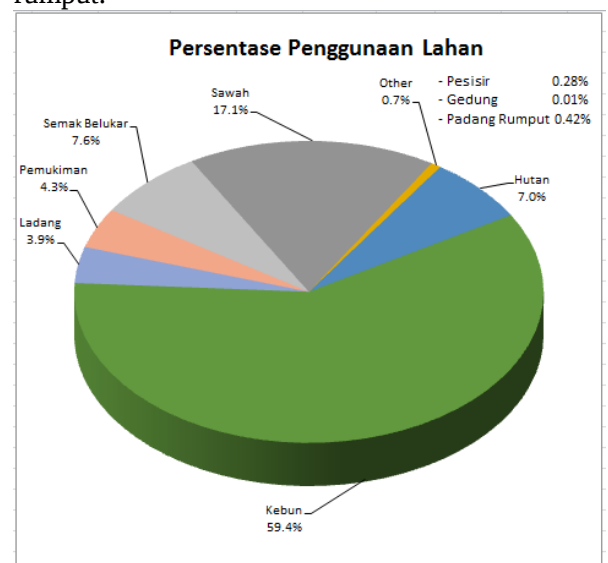
dijumlahkan. maka didapatkan debit evapotranspirasi dalam setahun pada daerah penelitian sebesar **898,122,676.07 m³**. Dengan evapotranspirasi terbesar terjadi pada bulan desember.

Tabel 7. Debit Evapotranspirasi pertahun Berdasarkan Metode *Thornthwaite (1948)*

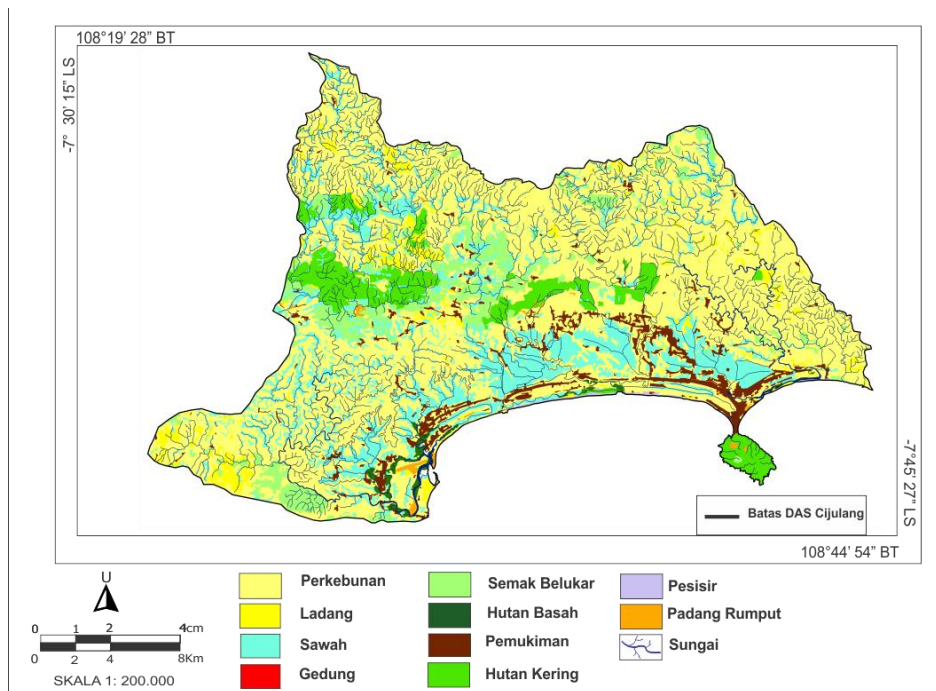
Bulan	Ep(mm/bulan)	Et(m/bulan)	A (m ²)	Ep (m ³ /bulan)
Januari	155.42	0.16	528,791,341.82	82,184,151.53
Februari	138.61	0.14	528,791,341.82	73,297,559.03
Maret	152.53	0.15	528,791,341.82	80,655,572.30
April	147.99	0.15	528,791,341.82	78,254,553.52
Mei	149.35	0.15	528,791,341.82	78,976,131.13
Juni	133.38	0.13	528,791,341.82	70,529,435.70
Juli	123.37	0.12	528,791,341.82	65,236,815.92
Agustus	117.00	0.12	528,791,341.82	61,869,840.80
September	126.97	0.13	528,791,341.82	67,142,789.34
Oktober	147.29	0.15	528,791,341.82	77,884,521.37
November	150.39	0.15	528,791,341.82	79,525,556.70
Desember	156.14	0.16	528,791,341.82	82,565,748.72
Total				898,122,676.07

Limpasan (Run off)

Air limpasan adalah aliran air yang mengalir di permukaan dikarenakan berlebihnya kapasitas infiltrasi tanah. Alir limpasan dipengaruhi oleh curah hujan dan tutupan lahan. Tiap jenis tutupan lahan memiliki koefisien yang disebut dengan nilai koefisien *run off*. Tutupan lahan dalam daerah penelitian terdiri atas perkebunan, sawah, ladang, pemukiman, hutan, semak belukar, gedung, pesisir, dan padang rumput.



Gambar 6. Diagram Persentase Penggunaan



Gambar 7. Peta Tataguna Lahan DAS Cijulang (Tanpa Skala)

Setelah diketahui jenis lahan dan luas area tutupan lahan maka dapat di tentukan besarnya nilai air larian menggunakan metode rasional. Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai debit air limpasan pada DAS Cijulang sebesar **162,549,894.42 m³/tahun.**

Tabel 8. Nilai Debit limpasan

Wilayah	P-Ep	Cro	A (m2)	Q Ro (m3/tahun)
DAS Cijulang	1.57	0.195	528,791,341.82	162,549,894.42

Infiltrasi

Infiltrasi adalah aliran air yang menyerap masuk kedalam tanah akibat adanya gaya kapiler (lateral) dan gaya gravitasi (vertikal). Setelah lapisan tanah bagian atas jenuh, maka air akan mengalir ke bagian yang lebih dalam sebagai akibat gravitasi bumi yang dikenal dengan istilah Perkolasi (Asdak,2010). Perhitungan infiltrasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan persamaan empiris dari Ffolliot, 1980 (dalam Bonita dan Mardiyanto,2015) Berdasarkan hasil perhitungan debit Infiltrasi didapatkan nilai debit infiltrasi sebagai potensi cadangan air tanah sebesar **669,470,198.81 m³/tahun**

Tabel 9. Nilai Debit Infiltrasi

A	1-Cro	P-Ep	Q Infiltrasi (m3/tahun)
528,791,341.82	0.805	1.57	669,470,198.81

Jumlah Penduduk

Data penduduk dalam perhitungan ini merupakan data jumlah penduduk pada 9 kecamatan merupakan hasil proyeksi jumlah penduduk berdasarkan laju pertumbuhan penduduk 10 tahun terakhir. Laju pertumbuhan penduduk dan data jumlah penduduk lainnya bersumber dari Badan Pusat Statistik dalam buku profil daerah Pangandaran.

Tabel 10. Jumlah penduduk tahun 2000,2010, dan 2020 pada daerah penelitian.

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk			Laju Pertumbuhan Penduduk 10 tahun terakhir
		2000	2010	2020	
1	Padaherang	60,010	61,366	62,777	2.30%
2	Kalipucang	32,402	35,432	38,763	9.40%
3	Pangandaran	46,857	52,163	58,057	11.30%
4	Sidamulih	25,388	26,694	28,055	5.10%
5	Parigi	40,117	41,967	43,898	4.60%
6	Langkap Lancar	43,944	46,756	49,748	6.40%
7	Cigugur	20,006	20,915	21,856	4.50%
8	Cijulang	25,685	26,278	26,882	2.30%
9	Cimerak	40,531	43,500	46,676	7.30%
TOTAL		334,940	355,071	376,712	6.01%

Kebutuhan Air

Kebutuhan air di daerah penelitian terdiri dari kebutuhan air domestik dan non-domestik. Dengan kebutuhan air domestik didapat dari hasil perkalian antara jumlah penduduk dengan kebutuhan air per orang/liter/tahun. Sedangkan kebutuhan air non-domestik didapatkan berdasarkan jumlah fasilitas umum pada daerah penelitian.

Tabel 11. Perhitungan Kebutuhan Air Domestik Pada DAS Cijulang.

Tahun	Jumlah Penduduk	Kebutuhan Air Domestik (m ³ /tahun)
2020	376,712.00	20,625,024.38

Tabel 12. Perhitungan Kebutuhan Air Non Domestik Pada DAS Cijulang

Kebutuhan air non domestik		
Fasilitas	Jumlah unit	Kebutuhan air(m ³ /tahun) 2020
peribadatan	2220	1,620,600
SMA dan sederajat	44	385,644
SMP dan sederajat	79	353,191.78
SD dan sederajat	846	535,407.96
Taman Kanak-kanak	217	98,790
Puskesmas	14	5,110
Pasar	25	109,500
Hotel	208	22,776
Industri kecil	4856	106,346
Total		3,237,366.54

Berdasarkan data tabel diatas, didapatkan total kebutuhan air pada daerah penelitian sebesar **23,862,390.92 m³/tahun** dengan nilai terbesar berupa kebutuhan air domestik dengan nilai **20.625.024.38m³/tahun**.

Cadangan Air Tanah

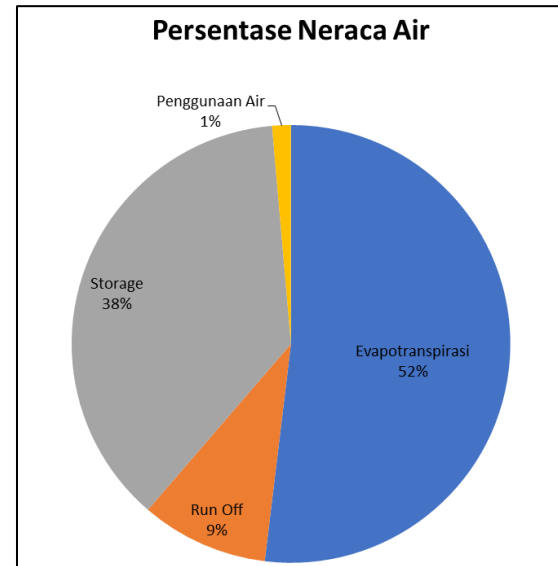
Setelah diketahui besar nilai infiltrasi dan kebutuhan air di daerah penelitian, kemudian dihitung nilai cadangan air tanah dengan cara mengurangi nilai infiltrasi dengan besar kebutuhan air tanah.

Tabel 13. Perhitungan Cadangan Air Tanah pada DAS Cijulang.

Elemen neraca air	Debit (m ³ /tahun)
Infiltrasi	669,470,198.81
Penggunaan Air Tanah	23,862,390.92
Storage	645,607,807.89

Berdasarkan perhitungan cadangan airtanah pada DAS Cijulang didapatkan nilai cadangan

sebesar **645,607,807.89 m³/tahun** dan berdasarkan diagram persentase neraca air pada DAS Cijulang dengan nilai evapotranspirasi sebesar 52%, *Run Off* sebesar 9%, cadangan air sebesar 38%, dan pemakaian air sebesar 1%.



Gambar 8. Diagram Persentase Neraca Air Pada DAS Cijulang.

Indeks Kekritisian Air Tanah

Indeks kekritisian air tanah menjelaskan tingkat kekritisian air dalam persen yang membandingkan antara jumlah kebutuhan air (m³) terhadap jumlah ketersediaan air. Indeks kekritisian air tanah dihitung menggunakan persamaan :

$$IKA = \frac{Wn}{Ws} \times 100\%$$

Dimana :

IKa = Indeks Kekritisian Air tanah (%)

Wn = Jumlah Kebutuhan Air tanah (m³)

Ws = Jumlah Ketersediaan Air tanah (m³)

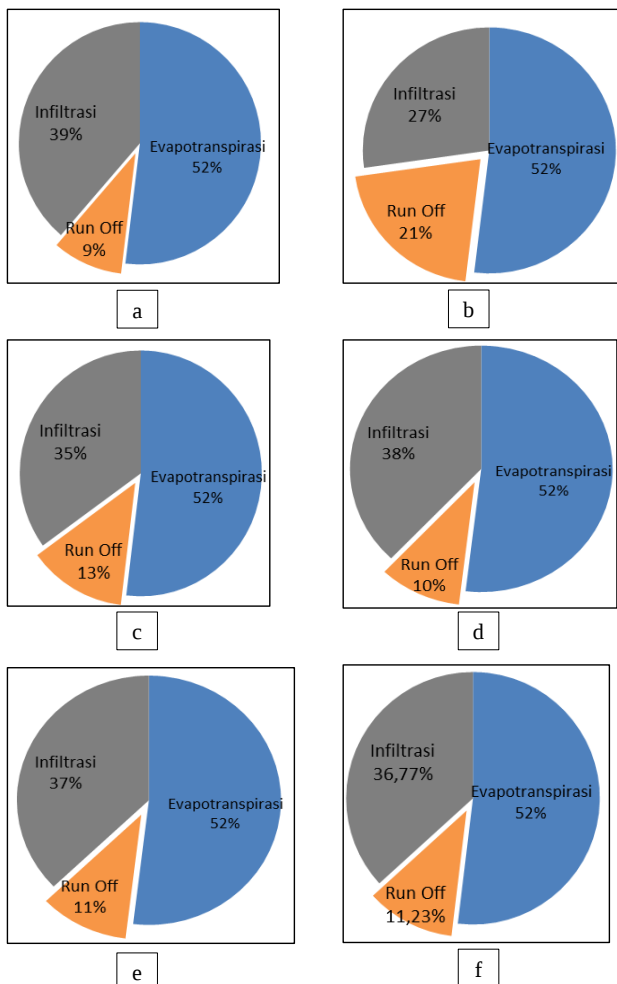
Setelah dilakukan perhitungan indeks kekritisian air tanah maka didapatkan bahwa berdasarkan klasifikasi indeks kekritisian tanah. DAS cijulang termasuk pada klasifikasi Belum Kritis dengan nilai indeks sebesar 4%.

Tabel 14. Klasifikasi Indeks Kekritisan Air tanah (Menhut No 52/KPTS-11/2001 tentang Pedoman Penyelenggaraan Pengelolaan DAS)

Indeks Kekritisan Air tanah	Klasifikasi
< 50%	Belum Kritis
50% - 75%	Mendekati Kritis
75% - 100%	Kritis
> 100%	Sangat Kritis

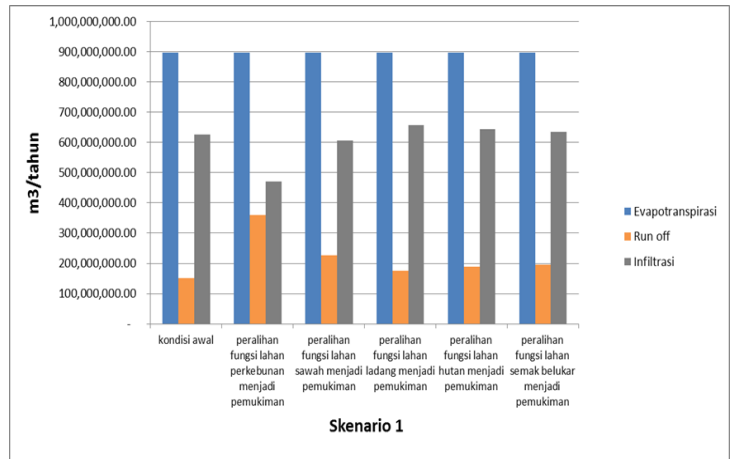
Simulasi Skenario 1

Pada skenario ini dilakukan simulasi perubahan tataguna lahan dengan asumsi nilai evapotranspirasi, dan curah hujan tetap seperti kondisi awal. Skenario yang dilakukan adalah dengan mensimulasikan perubahan tiap tata guna lahan menjadi pemukiman.



Gambar 9. Hasil simulasi skenario 1, model neraca air pada DAS Cijulang. (a) Kondisi Awal; (b) peralihan fungsi lahan perkebunan menjadi pemukiman; (c) peralihan fungsi

sawah menjadi pemukiman; (d) peralihan fungsi ladang menjadi pemukiman; (e) peralihan fungsi hutan menjadi pemukiman; (f) peralihan fungsi semak belukar menjadi pemukiman.



Gambar 10. Grafik model simulasi skenario 1 pada DAS Cijulang

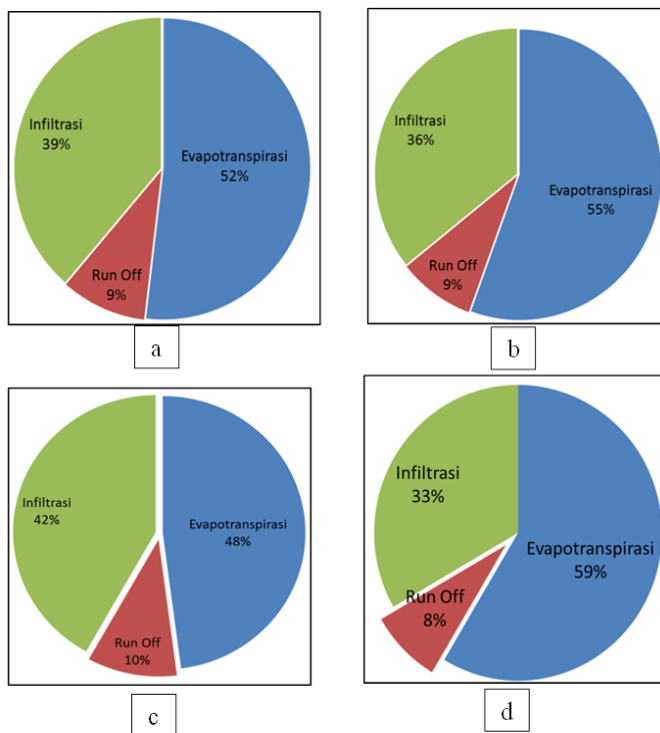
Berdasarkan simulasi pada skenario 1 didapatkan hasil bahwa perubahan pada tataguna lahan berpengaruh langsung terhadap nilai *Run off* yang mempengaruhi besarnya nilai infiltrasi cadangan airtanah. Dengan nilai pengaruh tiap tataguna lahan pada DAS Cijulang yaitu: Perkebunan sebesar 12%; Sawah sebesar 4%; Ladang sebesar 1%; Hutan sebesar 2%; dan Semak belukar sebesar 2,23%. rincian hasil perhitungan terdapat pada tabel.

Tabel 15. Hasil perhitungan simulasi skenario 1 DAS Cijulang

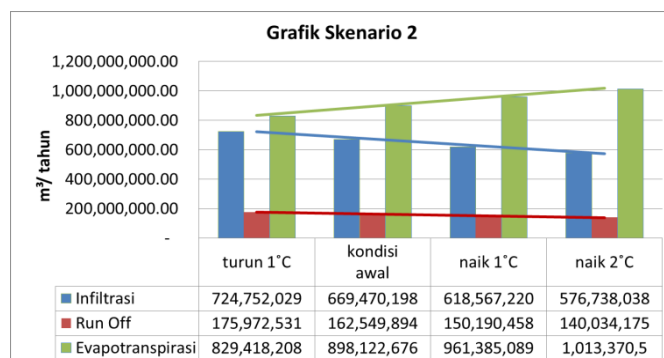
skenario 1	Element neraca air (m3/tahun)		
	Evapotranspirasi	Run off	Infiltrasi
kondisi awal	898,122,676.07	151,938,037.13	625,764,712.36
peralihan fungsi lahan perkebunan menjadi pemukiman	898,122,676.07	360,292,021.85	471,728,071.37
peralihan fungsi lahan sawah menjadi pemukiman	898,122,676.07	226,565,437.10	605,454,656.13
peralihan fungsi lahan ladang menjadi pemukiman	898,122,676.07	175,457,643.18	656,562,450.04
peralihan fungsi lahan hutan menjadi pemukiman	898,122,676.07	188,883,585.70	643,136,507.52
peralihan fungsi lahan semak belukar menjadi pemukiman	898,122,676.07	195,878,342.43	636,141,750.79

Simulasi Skenario 2

Pada skenario ini dilakukan simulasi temperatur dengan asumsi tataguna lahan dan curah hujan tetap seperti kondisi awal. Simulasi temperatur yang dilakukan adalah: kenaikan temperatur rata-rata bulanan sebesar 1°C , penurunan temperatur rata-rata bulanan sebesar 1°C , dan kenaikan temperatur rata-rata bulanan sebesar 2°C . Model neraca air diambil berdasarkan fluktuasi temperatur 10 tahun terakhir.



Gambar 11. Hasil simulasi skenario 2, model neraca air pada DAS Cijulang. (a) Kondisi Awal; (b) Kenaikan temperatur 1°C ; (c) Penurunan temperatur 1°C ; (d) Kenaikan temperatur 2°C .



Gambar 12. Grafik model simulasi skenario 2

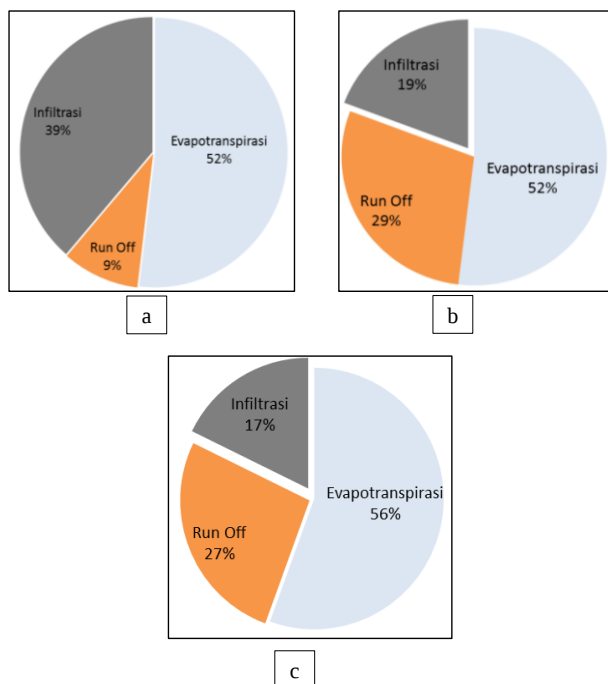
Dari hasil perhitungan pada simulasi skenario 2 didapatkan : apabila terjadi penurunan temperatur 1°C menyebabkan kenaikan nilai infiltrasi sebanyak 3%, kenaikan *runoff* sebanyak 1%, dan penurunan evapotranspirasi sebanyak 4%; apabila terjadi kenaikan temperatur 1°C menyebabkan nilai infiltrasi berkurang sebanyak 3%, nilai *runoff* tetap, dan nilai evapotranspirasi naik 3%; dan apabila kenaikan temperatur terjadi 2°C dapat menyebabkan berkurangnya infiltrasi sebanyak 6%, turunnya nilai *runoff* sebanyak 1%, dan naiknya evapotranspirasi sebanyak 7%. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur menyebabkan nilai evapotranspirasi meningkat secara eksponensial. Dan laju evapotranspirasi akan cenderung konstan apabila terjadi kejenuhan uap air di udara.

Tabel 4.14 Hasil perhitungan simulasi skenario 2 pada DAS Cijulang.

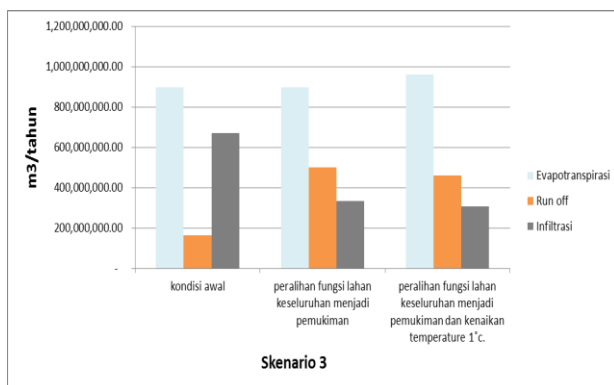
Skenario 2	Element neraca air (m^3/tahun)		
	Infiltrasi	Run Off	Evapotranspirasi
Kadaan Awal	669,470,198.81	162,549,894.42	898,122,676.07
Penurunan temperatur 1°C	724,752,029.03	175,972,531.72	829,418,208.54
Kenaikan temperatur 1°C	618,567,220.55	150,190,458.92	961,385,089.83
Kenaikan temperatur 2°C	576,738,038.46	140,034,175.42	1,013,370,555.41

Simulasi Skenario 3

Pada skenario ini dilakukan simulasi dengan asumsi tataguna lahan berubah dan temperatur rata-rata bulanan berubah. Perubahan tataguna lahan yang disimulasikan adalah peralihan fungsi lahan keseluruhan menjadi pemukiman ditambah dengan perubahan temperatur naik 1°C .



Gambar 13. Hasil simulasi skenario 3, model neraca air pada DAS Cijulang. (a) Kondisi Awal; (b) peralihan fungsi lahan keseluruhan menjadi pemukiman; (c) peralihan fungsi lahan keseluruhan menjadi pemukiman dan kenaikan temperatur 1°C.



Gambar 14. Grafik model simulasi skenario 3, pada DAS Cijulang.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa perubahan tataguna lahan dan temperatur sangat mempengaruhi nilai infiltrasi pada potensi cadangan airtanah. Dengan nilai infiltrasi pada kondisi awal sebanyak 36%, evapotranspirasi 55%, dan *run off* 9% dan setelah di simulasikan pada skenario 3 didapatkan :

a) apabila terjadi perubahan fungsi lahan secara keseluruhan menjadi pemukiman.

Menyebabkan penurunan nilai infiltrasi sebanyak 20%, naiknya nilai *runoff* sebanyak 20% dengan nilai evapotranspirasi tetap.

b) Apabila terjadi perubahan fungsi lahan secara keseluruhan menjadi pemukiman dan naiknya temperatur 1°C menyebabkan penurunan nilai infiltrasi sebanyak 22%, naiknya nilai *runoff* sebanyak 18% dan naiknya nilai evapotranspirasi sebanyak 4%.

skenario 3	Element neraca air (m³/tahun)		
	Evapotranspirasi	Run off	Infiltrasi
kondisi awal	898,122,676.07	162,549,894.42	669,470,198.81
peralihan fungsi lahan keseluruhan menjadi pemukiman	898,122,676.07	499,212,055.94	332,808,037.29
peralihan fungsi lahan keseluruhan menjadi pemukiman dan kenaikan temperature 1°C	961,385,089.83	461,254,607.68	307,503,071.79

Tabel 4.15 Tabel perhitungan simulasi skenario 3 pada DAS Cijulang.

5. KESIMPULAN

Potensi Cadangan Air tanah DAS Cijulang

Berdasarkan perhitungan dan analisis neraca air yang telah dilakukan pada DAS Cijulang dengan luas daerah 528,791,341.82 m², didapatkan infiltrasi cadangan airtanah sebesar 669,470,198.81 m³/tahun ; total penggunaan air di daerah penelitian sebesar 23,862,390.92 m³/tahun sehingga didapatkan potensi cadangan airtanah sebesar **645,607,807.89 m³/tahun**. Jika dibandingkan dengan total debit presipitasi pada daerah penelitian, persentase debit evapotranspirasi sebesar 52%, persentase debit *run off* sebesar 9%, debit penggunaan air sebesar 1%, dan persentase cadangan airtanah sebesar 38%.

Pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap potensi cadangan air tanah

Dari hasil simulasi perubahan tataguna lahan, dapat dilihat nilai pengaruh tiap tataguna lahan terhadap potensi cadangan airtanah pada DAS Cijulang sebagai

berikut : nilai pengaruh Perkebunan sebesar 12%; Sawah sebesar 4%; Ladang sebesar 1%; Hutan sebesar 2%; dan Semak belukar sebesar 2,23%. Nilai pengaruh tiap tataguna lahan pada DAS Cijulang tersebut dipengaruhi oleh luas tiap lahan, dan koefisien *run off* (Cro).

Pengaruh Perubahan temperatur terhadap potensi cadangan air tanah

Dari hasil perhitungan pada simulasi skenario 2 didapatkan : apabila terjadi penurunan temperatur 1°C menyebabkan kenaikan nilai infiltrasi sebanyak 3%, kenaikan *runoff* sebanyak 1%, dan penurunan evapotranspirasi sebanyak 4%; apabila terjadi kenaikan temperatur 1°C menyebabkan nilai infiltrasi berkurang sebanyak 3%, nilai *runoff* tetap, dan nilai evapotranspirasi naik 3%; dan apabila kenaikan temperatur terjadi 2°C dapat menyebabkan berkurangnya infiltrasi sebanyak 6%, turunnya nilai *runoff* sebanyak 1%, dan naiknya evapotranspirasi sebanyak 7%. Kenaikan temperatur menyebabkan nilai evapotranspirasi meningkat secara eksponensial. laju evapotranspirasi akan cenderung konstan apabila terjadi kejenuhan uap air di udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Nugroho Rahadyan, 2011. *Estimasi Neraca Air dengan Menggunakan Metode Thornthwaite Mtaher*, BPTKPDAS.
- Akira Hatakeyama., Akira Somatani., Hideo Ishii., Kiyotaka Mori.1993. *Hidrologi Untuk Pengairan* (terjemahan Kensaku Takeda., Suyono Sosrodarsono). *Manual of Hydrogeology*. PT. Pranadaya Paramita.
- Aris Rinaldi. 2016. *Modul Perhitungan Neraca Air "Studi Kasus Kota Cirebon"*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Arsyad, A., & Rauf, A. 2014. *Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Koefisien Limpasan (Run off) Kota Makassar Berbasis SIG*. Tugas Akhir. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional .2010. *Standar Nasional Indonesia Klasifikasi Penutup Lahan SNI 7645 : 2010*. Jakarta : BSN.
- CD. Soemarto. 1987. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional – Surabaya Indonesia.
- Dadang Subarna. 2016. *Simulasi Perubahan Tata Guna Lahan Berbasis SIG ada Hidrograf Aliran Sungai Cisangkuy Kabupaten Bandung*. Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS, ISBN: 978-602-361-044-0.
- Departemen Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Pengairan. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi (KP-01)*. CV Galang Persada. Jakarta.
- Djawa DR. 2011. *Analisis Kehilangan Energi Air pada Pipa Penyaluran Saran Air Bersih Menggunakan Pompa Hidraulik di BTN Kolhua Kota Kupang*. Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Fetter, C. W. 2001. *Applied Hydrogeology*. London-Australia-Singapore Canada-Japan-Malaysia-New Jersey. Pearson Education
- Max A.Kohler., Joseph L.H. Paulus., Ray K. Linsley. 1982. *Hydrology For Engineers, Third Edition*. McGraw-Hill,Inc.
- Noerbambang SM, Soufyan M. 1991. *Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plumbing*. PT Paradya Paramita. Jakarta.
- Nurhasanah Sutjahjo,dkk. 2011. *KONSUMSI DAN PELANGGAN AIR MINUM DI KOTA BESAR DAN METROPOLITAN*.Pusat Litbang Permukiman.Bandung
- Priyonugroho A. 2014. *Analisis Kebutuhan Air Irigasi (Studi Kasus pada*

- Daerah Irigasi Sungai Air Keban Daerah Kabupaten Empat Lawang). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Volume 2, No 3, September 2014, ISSN 2355-374X.
- S.Supriatna, dkk. 1992. *Peta Geologi Lembar Karangnunggal, Jawa*, Skala 1:100.000. Direktorat Geologi: Bandung
- Syahdan Shah. 2016. *ANALISIS NERACA AIR DAN RANCANGAN KONSERVASI SUMBERDAYA AIR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) PRUMPUNG, KABUPATEN TUBAN*. Institut Pertanian Bogor Bogor.
- T.O.Simanjuntak, dkk. 1992. *Peta Geologi Lembar Pangandaran, Jawa*, Skala 1:100.000. Direktorat Geologi: Bandung
- Thornwaite CW, Mather JR. 1957. *Instruction and Table for Computing Potensial Evapotranspiration and Water Balance*. New Jersey : Centerton.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. IA. Netherland: The Hague Martinus Nijhoff.
- Howard, A.D. 1967. Borntraeger, Berlin, Stuttgart 1982., 535h.
- Supriatna,S., Sudrajat,A., dan Abidin, Z. 2009. *Peta Geologi Lembar Muaratewe skala 1: 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.