

ANALISIS KETERSEDIAAN DAN PEMANFAATAN AIR KOLONG SIMPUR KECAMATAN PEMALI

Akbar Syah

Alumnus Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung

Email: Asyah40@gmail.com

Fadillah Sabri

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung

Email: sabrifadillah@yahoo.com

ABSTRAK

Kolong Simpur adalah salah satu kolong yang terletak di Kecamatan Pemali Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Air Kolong Simpur direncanakan untuk dimanfaatkan sebagai sumber air baku oleh PDAM Tirta Bangka. Untuk itu perlu dilakukan analisis ketersediaan dan pemanfaatan air pada Kolong Simpur agar air Kolong Simpur dapat dimanfaatkan secara optimum. Estimasi aliran masuk kedalam kolong didapat dengan melakukan analisis ketersediaan air dengan model NRECA berdasarkan data curah hujan dan evapotranspirasi selama 10 tahun (2004-2013). Untuk mengetahui ketersediaan air pada Kolong Simpur 15 tahun (2014-2028) kedepan dilakukan simulasi debit bangkitan dengan model Markov untuk musim ganda. Selanjutnya data debit bangkitan digunakan sebagai data aliran masuk pada simulasi Standard Operating Rule (SOR) dalam mengetahui keandalan kolong untuk 15 tahun kedepan. Dari simulasi SOR didapatkan nilai debit optimum air kolong yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali 15 tahun kedepan. Hasil penelitian menunjukan rerata debit yang masuk kekolong maksimum adalah 0,262 MCM dan debit minimum 0,042 MCM. Debit bangkitan rerata bulanan maksimum 0,250 MCM dan minimum 0,078 MCM. Keandalan kolong 99% terjadi pada target pelepasan 52% dengan debit pengambilan maksimum 26 liter/detik. Analisis terhadap kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali dengan proyeksi 15 tahun kedepan sebesar 38,13 liter/detik, maka dapat disimpulkan bahwa debit optimum tidak mampu memenuhi kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali pada tahun 2028 ($Q_{deb} > Q_{ked}$) atau debit optimum hanya bisa memenuhi 68% kebutuhan air domestik penduduk Pemali pada tahun 2028.

Kata Kunci: *Kolong, Model NRECA, Model Markov, Simulasi SOR, dan Kebutuhan Air Domestik.*

PENDAHULUAN

Kolong menurut Peraturan Daerah Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung Nomor 10 Tahun 2002 adalah cekungan dipermukaan tanah yang terbentuk dari kegiatan penambangan timah yang digenangi air. Kolong Simpur adalah

salah satu kolong yang airnya direncanakan untuk dimanfaatkan oleh PDAM Tirta Bangka sebagai sumber air baku bagi masyarakat.

Untuk itu perlu dilakukan analisis ketersediaan dan pemanfaatan air pada

Kolong Simpur agar air Kolong Simpur dapat dimanfaatkan secara optimum.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan besaran ketersediaan air Kolong Simpur dan nilai target *release* air Kolong Simpur yang dapat dimanfaatkan untuk air baku.

TINJAUAN PUSTAKA

Kajian Terdahulu

Lily Montarcih L (2009), melakukan penelitian ketersediaan air untuk pemenuhan kebutuhan air baku di Embung Tambak Pocok Bangkalan provinsi Jawa Timur dengan metode NRECA dan F.J MOCK. Untuk menduga ketersediaan air didapatkan dari analisa curah hujan, ketersediaan air didapatkan dari debit Model NRECA dan F.J Mock. Dari hasil simulasi keandalan embung dengan melakukan proses simulasi tiap data debit hasil bangkitan sepanjang 20 tahun dengan masa proyeksi selama 20 tahun, diketahui bahwa data debit untuk NRECA mengalami kegagalan pada data debit tahun 2004 dengan peluang keandalan 100% pada tahun 2007 dan 25% pada tahun 2026. Sedangkan untuk data debit F.J Mock peluang keandalan 100% pada tahun 2007 sampai tahun 2026 untuk semua simulasi data debit.

Teddy W Sudinda (2007), melakukan penelitian untuk menentukan parameter model NRECA untuk pulau Natuna. Dalam menganalisa ketersediaan air sangat bergantung pada kelengkapan data hidrologi dan klimatologi. Data yang

digunakan adalah data bulanan selama jangka waktu 10 (sepuluh) tahun, yaitu tahun 1984 sampai dengan tahun 1993. Untuk menambah kelengkapan data curah hujan, maka digunakan data curah hujan Singkawang Kalimantan Barat karena diperkirakan mempunyai kesamaan perilaku dengan hujan Pulau Natuna. Untuk menganalisis lebih jauh kemiripan hujan Singkawang dan Ranai, dilakukan uji homogenitas terhadap kedua data hujan. Pada tulisan ini, digunakan analisis frekuensi metoda Gumbel. Dengan analisis frekuensi ini, secara statistik didapat perkiraan besarnya curah hujan yang terjadi untuk suatu periode ulang tertentu.

Fadillah Sabri (2008), dalam penelitiannya untuk mengetahui nilai ekonomis air (NEA) kolong DAM-3 Pemali Kabupaten Bangka. Dalam penelitiannya untuk menganalisis ketersediaan air menggunakan metode NRECA dan metode Markov yang lebih cocok digunakan untuk menganalisis ketersediaan air pada kolong. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan selama 10 tahun yaitu dari tahun 1997-2006.

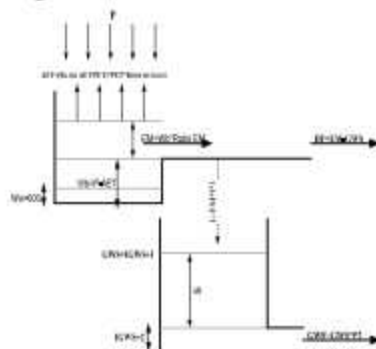
Agung Setiawan (2009), melakukan penelitian pada waduk Sempor yang merupakan sumber air permukaan untuk berbagai kegiatan masyarakat, baik untuk irigasi, domestik, industri, maupun untuk PLTA di Kabupaten Kebumen. Daya tampung dari waduk tersebut semakin menurun karena laju sedimentasi yang cukup tinggi. Sedangkan kebutuhan air bagi masyarakat setempat untuk berbagai kepentingan cenderung semakin meningkat. Untuk itu diperlukan suatu

studi mengenai optimasi pemanfaatan air dari Waduk Sempor untuk masa yang akan datang. Simulasi operasi waduk, dihitung berdasarkan perhitungan data ketersediaan air dari tahun 1988 – 1999, dengan tingkat pemenuhan air (*release*) Waduk Sempor 75 % dengan efisiensi Saluran Induk Sempor 70 %, masih terjadi kegagalan operasi waduk. Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan simulasi operasi waduk dan penerapan teknik optimasi pengalokasian air.

LANDASAN TEORI

Model NRECA

Untuk melakukan analisis ketersediaan air di kolong dilakukan pendekatan dengan metode NRECA karena diasumsikan karakteristik fisik kolong memiliki kesamaan dengan embung. Langkah perhitungan mencakup 18 tahapan, yaitu sebagai berikut :



Gambar 1. Skema struktur model NRECA

Keterangan :

1. Nama bulan Januari sampai Desember.

2. Nilai hujan rata-rata bulanan (R_b) yang dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$R_b = \frac{1}{n} \sum R_b$$

3. Nilai penguapan peluh potensial (PET)
4. Nilai tampungan kelengasan awal (W_0).
Nilai ini harus dicoba-coba dan percobaan pertama diambil 600 (mm/bulan) di bulan Januari dan di cek agar nilai pada bulan Januari mendekati nilai pada bulan Desember, jika selisih nilai melebihi 200 mm, harus di ulang lagi.
5. Tampungan kelengasan tanah (*soil moisture storage*- W_i) dihitung dengan rumus :

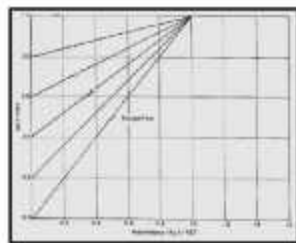
$$W_t = W_a / \text{NOMINAL}$$

dengan :

NOMINAL = $100 + 0,2 R_u$, dan R_u = hujan tahunan (mm)

6. Rasio Rb/PET.
7. Rasio AET/PET.

AET = Penguapan pelu aktual dapat diperoleh dengan grafik pada Gambar 2, nilainya tergantung dari rasio Rb/PET dan W_i .



Gambar 2. Grafik rasio AET/PET

8. $AET = (AET/PET) \times PET \times \text{koefisien reduksi}$
9. $\text{Neraca Air} = Rb - AET$
10. Rasio kelebihan kelengasan (*excess moisture*) yang dapat diperoleh sebagai berikut :
 - a. Bila neraca air (nomor 9) positif, maka rasio tersebut dapat diperoleh dari grafik pada Gambar 3 dengan memasukan nilai tampungan kelengasan tanah (W_i).
 - b. Bila neraca air negatif, rasio = 0
11. Kelebihan kelengasan
 - = rasio kelengasan x neraca air
 - = nomor 10 x nomor 9
12. Perubahan tampungan
 - = neraca air - kelebihan kelengasan
 - = nomor 9 - nomor 11
13. Tampungan air tanah = $P1 \times \text{kelebihan kelengasan}$.

$P1$ = parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan (kedalaman 0 - 2 m), nilainya berkisar antara 0,1 - 0,5 tergantung pada sifat lulus air lahan.

$P1 = 0,1$ bila bersifat kedap air
 $P1 = 0,5$ bila bersifat lulus air.
14. Tampungan air tanah awal yang harus dicoba-coba dengan nilai awal = 2.
15. Tampungan air tanah akhir
 - = tampungan air tanah + tampungan air tanah awal.
 - = nomor 13 x nomor 14
16. Aliran air tanah = $P2 \times \text{tampungan air tanah akhir}$.

$P2$ = parameter seperti $P1$ tetapi untuk lapisan tanah dalam (kedalaman 2 - 10 m).

$P2 = 0,9$ bila bersifat kedap air.
 $P2 = 0,5$ bila bersifat lulus air.
17. Larian langsung (direct runoff)
 - = kelebihan kelengasan - tampungan air tanah.
 - = nomor 11 x nomor 13
18. Aliran total = larian langsung + aliran air tanah.
 - = nomor 17 + nomor 16 (dalam mm/bulan).

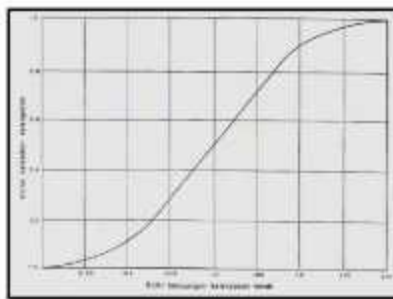
Dalam m^3/bulan = nomor 18 (dalam mm) x 10 x luas daerah tadah hujan (ha).

Selanjutnya untuk perhitungan bulan berikutnya, diperlukan nilai tampungan kelengasan untuk bulan berikutnya dan tampungan air tanah bulan berikutnya yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

 - a. Tampungan kelengasan = tampungan kelengasan bulan sebelumnya (4) + perubahan tampungan (12), semua dari bulan sebelumnya.
 - b. Tampungan air tanah = tampungan air tanah bulan sebelumnya (15) - aliran air tanah (16), semua dari bulan sebelumnya.

Sebagai patokan akhir perhitungan, nilai tampungan kelengasan awal (Januari) harus mendekati tampungan kelengasan bulan Desember. Jika perbedaan antara

keduanya cukup jauh (>200 mm) perhitungan perlu diulang lagi, dengan mengambil nilai tampungan kelengasan awal (Januari) = tampungan kelengasan bulan Desember.



Gambar 3. Rasio tampungan kelengasan

Debit Bangkitan

Data bangkitan adalah suatu urutan nilai (*sequence of values*) dari aliran sintetik suatu sungai hasil dari proses acak (*random process*) yang hasilnya berubah menurut waktu dengan cara memasukan faktor probabilitas (Moran, 1959 dalam CD.Semarto, 1986). Data-data masa lampau suatu aliran dan karakteristik lainnya dapat memberikan pertanda untuk aliran dimasa yang akan datang. Model untuk menggenerasi (*to generate*) haruslah menggunakan informasi tersebut, meskipun pada waktu yang bersamaan harus memasukkan komponen acak (*random component*) untuk menggambarkan ketidakmampuan kita dalam meramal urutan aliran (volume dan debit) dimasa datang secara eksak (CD. Soemarto, 1986). Persamaan model Markov untuk musim ganda (*multi season*) dengan mengikuti

distribusi normal dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2 :

$$q_{i,j} = \mu_j + (\rho(j) \cdot \sigma_j / \sigma_{j-1}) \cdot (q_{i,j-1} - \mu_{j-1}) + t_{i,j} \cdot \sigma_j \cdot \sqrt{(1 - \rho(j)^2)} \quad (1)$$

dengan:

$$\rho(j) = [E\{(x_{i,j} - \mu_j) \cdot (x_{i-1,j-1} - \mu_{j-1})\}] / (\sigma_j \cdot \sigma_{j-1}) \quad (2)$$

dimana:

$q_{i,j}$: debit ke- i pada musim - j ,

μ_j : nilai tengah/rata-rata nilai populasi musim - j ,

$\rho(j)$: koefisien korelasi pasangan aliran yang berdekatan antara musim $j-1$ dan musim - j ,

σ_j : standar deviasi pada musim - j ,

$t_{i,j}$: bilangan acak distribusi normal pada waktu ke- i dan musim - j

Untuk membantu mencari angka-angka bilangan acak program Microsoft Excel menyediakan fasilitas untuk mencari bilangan acak dengan cara memilih tool data, kemudian pilih data analysis kemudian akan muncul kotak dialog tool random number generation. Proses penentuan bilangan acak dengan menggunakan Excel perlu dilakukan berulang sehingga diperoleh hasil yang mendekati kecocokan dengan data pembandingan yang digunakan.

Operasi Pengaturan Pelepasan Air Kolong

Pengaturan pelepasan air waduk multi guna dapat dilakukan dengan pendekatan *standard operating rule* (Rachmad Jayadi, 2000), seperti terlihat pada Gambar 4. Pola operasi standar ini dapat diterapkan pada penelitian yang dilakukan pada kolong. Penerapan model simulasi pada kolong untuk mengetahui keandalan kolong

terhadap release (pelepasan/keluaran) dengan pendekatan pola pemanfaatan waduk/*reservoir* (kolong) (Fadillah Sabri, 2008).

Maksud dari grafik *Standard Operating Rule* prinsipnya simulasi, dilakukan dengan melakukan coba ulang nilai target *release* RT sedemikian sehingga kriteria optimal penggunaan air dicapai. Simulasi tumpungan kolong dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{t+1} = S_t + I_t - E_t - O_t \dots \dots \dots (3)$$

$$0 \leq S_t \leq K_w$$

dengan :

t = jumlah diskret waktu (24 periode 15 harian)

S_{t+1} = tumpungan (*storage*) kolong saat awal ke- t (m^3)

S_t = tumpungan (*storage*) kolong saat akhir ke- t (m^3)

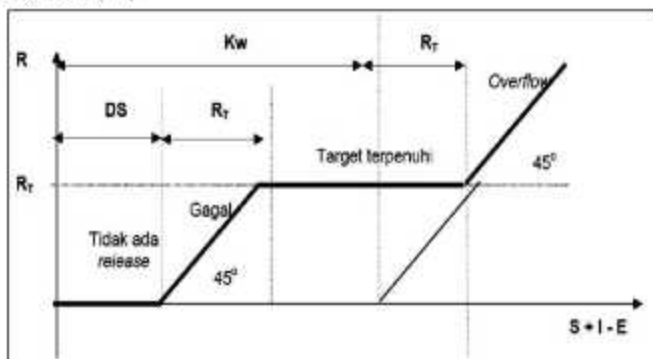
I_t = masukan (*inflow*) air kedalam kolong saat ke- t (m^3)

E_t = kehilangan air akibat evaporasi di kolong saat ke- t (m^3)

O_t = pelepasan (*outflow*) air dari kolong saat ke- t (m^3)

K_w = kapasitas waduk (m^3)

Ruang untuk penampungan sedimen juga perlu dipersiapkan pada kolam/kolong sebagai tempat sedimentasi material yang terangkut ke dalam kolam/ kolong. Besar ruang sedimen dalam perencanaan embung/waduk ditetapkan sebesar 5 % dari volume tumpungan maksimum (Puslitbang Air. P.U., 1994).



Gambar 4. Grafik *Standard Operating Rule*

Analisis Kebutuhan Air Domestik

Analisis kebutuhan air didasari atas kondisi sekarang dan pemanfaatan air untuk masa yang akan datang. Analisis kebutuhan air domestik penduduk dianalisis berdasarkan data kebutuhan air

perkapita dan data jumlah penduduk dari tahun sebelumnya sebagai dasar dalam menentukan persentase pertumbuhan penduduk untuk tahun rencana. Kriteria penentuan kebutuhan air domestik menggunakan parameter jumlah penduduk sebagai penentuan jumlah air yang

dibutuhkan perkapita perhari dapat dilihat pada Tabel 1.

Persamaan yang digunakan dalam memproyeksikan jumlah penduduk pada tahun ke- n dapat dilihat dalam persamaan 4.

$$P_n = P_0 (1+i)^n \quad (4)$$

dengan :

P_n = Jumlah penduduk tahun rencana (jiwa)

P_0 = Jumlah penduduk tahun sekarang (jiwa)

i = Persentase pertumbuhan penduduk (%)

n = Tahun rencana

Untuk menghitung persentase jumlah penduduk (i) digunakan persamaan :

$$i = (\sqrt[n]{P_n/P_0}) - 1 \quad (5)$$

Tabel 1. Kriteria penentuan kebutuhan air domestik

Jumlah Penduduk	Domestik (l/kapita/hr)	Non-Domestik (l/kapita/hr)	Kehilangan Air
>1.000.000	150	60	50
500.000-1.000.000	135	40	45
100.000-500.000	120	30	40
20.000-100.000	105	20	30
<20.000	82,5	10	24

Sumber : Puslitbang Pengairan PU

Untuk mengetahui total kebutuhan air domestik penduduk pada tahun rencana, maka harus diketahui nilai kepadatan penduduk sebagai dasar untuk menentukan persentase rencana cakupan pelayanan air bersih perpipaan seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Selanjutnya, untuk menghitung total kebutuhan air domestik penduduk pada tahun rencana ke- n , maka hal yang harus diperhitungkan adalah kriteria kebutuhan atau konsumsi air bersih sesuai dengan jumlah penduduk pada tahun rencana. Pada Tabel 3 disajikan kriteria kebutuhan atau konsumsi air bersih.

Setelah didapatkan proyeksi jumlah penduduk pada tahun rencana ke- n , maka dapat ditentukan nilai-nilai dari Tabel 1, 2, dan 3 sebagai faktor pengali dalam menentukan total kebutuhan air domestik pada tahun rencana.

Tabel 2. Rencana cakupan pelayanan air bersih perpipaan

Kepadatan Penduduk (jiwa/ha)	Tingkat Pelayanan
≥ 300	90%
200 - 299	80%
100 - 199	70%
< 100	60%

Sumber : Puslitbang Pengairan PU

Tabel 3. kriteria kebutuhan atau konsumsi air bersih

Kategori Jumlah Penduduk	SR (l/ji/h)	HU (l/ji/h)	Industri (l/ji/h)	Kehilangan (l/ji/h)
> 1.000.000	190	30	60	50
500.000-1.000.000	170	30	40	45
100.000-500.000	150	30	30	40
20.000-100.000	130	30	20	30
> 20.000	100	30	10	24

Sumber : Puslitbang Pengairan PU

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilakukan pada kawasan Kolong Simpung Kecamatan Pemali Kabupaten Bangka Provinsi

Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 5:

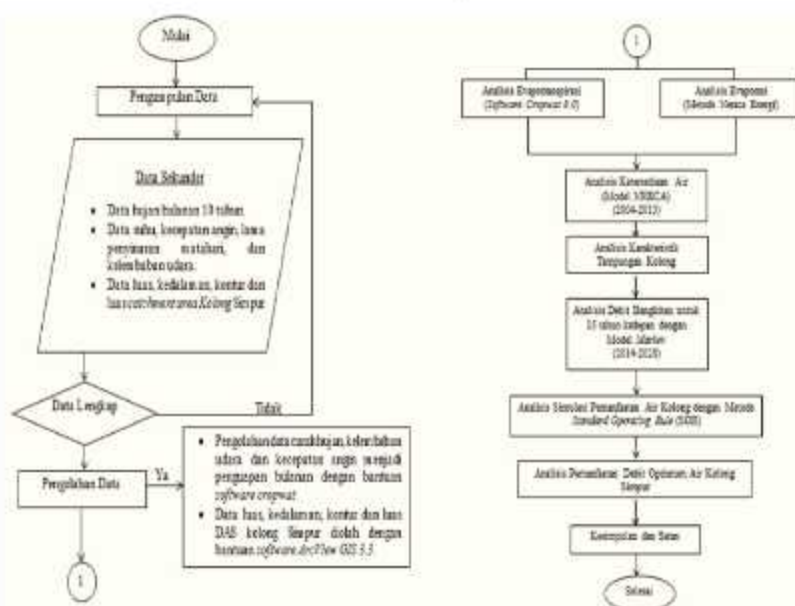
Tahapan Penelitian

Diagram alir penelitian di buat untuk menjelaskan tahapan-tahapan dalam penelitian dari mulainya proses penelitian yaitu pengumpulan dan pengolahan data sekunder, berikutnya adalah tahapan untuk menganalisis ketersediaan air, analisis

evapotranspirasi dan evaporasi, analisis debit bangkitan dengan model Markov hingga pemanfaatan air kolong dengan simulasi *Standard Operating Rule*. Tahapan akhir dalam penelitian ini adalah pengambilan kesimpulan dan saran dari hasil analisis tentang keandalan Kolong Simpur. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini



Gambar 5. Lokasi penelitian



Gambar 6. Diagram alir penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder diperoleh dengan cara mencari dan menelaah buku, tugas akhir, tesis,

jurnal, laporan penelitian, internet, serta data dari instansi yang terkait dengan penelitian. Adapun kebutuhan data sekunder dan sumber dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data dan sumber data yang dibutuhkan untuk penelitian

Nama Data	Sumber Data
Curah hujan bulanan minimal 10 tahun (2004-2013), data suhu, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, dan kelembaban udara	BMKG Pangkalpinang
Data luas dan kedalaman Kolong Simpur	Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Bangka
Jumlah penduduk Kecamatan Pemali tahun 2008-2013	Kantor Camat Pemali
Data kontur dan topografi Kolong Simpur Kecamatan Pemali	Dinas Pertambangan Kabupaten Bangka
Tinjauan pustaka yang berkaitan dengan metode NRECA	Buku literatur, tugas akhir, tesis, jurnal, dan internet

Pengolahan Data

Untuk mengetahui ketersediaan air pada Kolong Simpur Kecamatan Pemali dilakukan perhitungan berdasarkan data

sekunder. Hasil rekapitulasi perhitungan disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Rekapitulasi curah hujan bulanan tahun 2004-2013 (mm)

Tahun	BULAN												Jumlah
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	
2004	185,4	196,9	236,4	156,8	175,1	66,7	154,1	2,4	4,1	129,2	151,0	400,2	1918,3
2005	228,1	71,2	211,3	223,0	219,6	155,8	118,6	155,9	177,8	190,5	398,3	410,2	2561,3
2006	163,1	300,0	195,4	394,7	232,9	113,6	56,3	18,5	36,6	20,6	35,4	357,9	1925,0
2007	476,3	168,7	191,5	277,7	279,7	211,9	257,6	88,3	84,8	208,9	202,1	329,0	2786,5
2008	372,7	130,9	206,6	275,5	102,8	118,7	82,1	119,8	120,3	95,5	256,3	244,0	2125,2
2009	249,4	49,6	370,3	95,2	240,8	129,7	155,6	76,0	11,8	94,8	184,6	205,4	1865,2
2010	281,0	288,5	471,8	312,6	137,4	183,9	140,7	430,7	201,8	286,9	364,9	342,1	3444,3
2011	253,1	309,9	228,5	356,2	343,9	271,6	91,1	43,6	78,6	301,9	351,9	268,5	2888,8
2012	185,6	466,2	298,3	126,9	144,1	165	192,7	4	13,5	46,1	215,6	199,5	2017,5
2013	263,0	256,0	378,0	586,0	553,0	304,0	275,0	313,0	258,0	577,0	936,0		5034,0
Rerata	265,77	223,89	274,81	280,46	242,93	175,19	155,28	118,62	104,43	163,24	277,71	375,28	
												Ra (mm)	2657,6

Tabel 6. Rekapitulasi Evaporasi pada Kolong Simpur tahun 2004-2013

Tahun	Bulan												Rata-rata		
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Juli	Agust	Sep	Ok.	Nov	Des	Januari	Februari	Maret
2004	6,24	6,20	6,28	7,68	6,57	6,98	6,26	8,54	8,47	7,73	7,96	5,85	6,92	0,06918	25,2434
2005	7,88	7,23	7,27	6,41	6,57	6,29	7,31	7,60	7,44	6,37	5,54	5,17	6,76	0,06751	24,6681
2006	5,17	6,97	6,56	5,42	5,22	5,50	7,26	7,60	5,79	8,30	7,44	6,82	6,49	0,06487	23,6751
2007	6,28	7,75	7,72	7,19	5,83	6,28	6,73	8,70	8,83	8,17	6,13	5,97	7,13	0,07132	26,0329
2008	6,36	6,97	6,73	7,47	8,13	7,88	7,84	8,87	7,92	7,88	6,61	5,04	7,31	0,0731	26,6865
2009	6,28	7,67	8,05	8,05	7,60	7,27	8,85	9,88	10,04	8,35	6,98	5,83	7,84	0,07835	28,5986
2010	6,56	7,63	7,31	7,80	6,65	6,53	6,88	6,98	7,28	6,95	7,15	5,30	6,91	0,06911	25,2253
2011	6,07	7,79	6,57	7,10	8,01	7,76	8,66	10,31	10,18	8,33	7,14	5,37	7,77	0,07775	28,5786
2012	7,06	6,57	7,10	10,86	8,22	9,08	8,01	9,82	9,86	8,55	6,65	5,54	8,04	0,08041	29,3506
2013	5,95	7,14	8,13	7,23	6,86	8,09	7,18	8,70	8,79	8,54	6,98	5,30	7,42	0,07424	27,099
														Rata-rata	26,4957

Tabel 7. Rekapitulasi Evapotranspirasi pada Kolong Simpur tahun 2004-2013

Tahun	Bulan dan Jumlah Hari												Rata-rata
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Juli	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
2004	100,2	93,7	104,2	121,5	108,2	116,0	104,4	161,2	153,5	136,8	112,3	83,8	116,47
2005	124,6	111,3	123,4	104,9	113,0	106,0	128,7	133,9	131,2	130,3	88,6	86,2	113,76
2006	88,2	102,4	108,9	86,4	91,2	94,0	127,9	146,7	126,7	166,4	128,9	115,4	115,42
2007	103,8	112,5	124,1	111,6	101,2	105,7	114,1	152,9	148,0	138,1	98,6	97,8	117,34
2008	105,2	107,5	108,7	116,4	140,6	126,7	138,8	151,4	133,4	142,9	106,9	87,1	122,20
2009	106,7	106,1	128,0	126,8	125,0	126,4	141,2	178,6	188,6	156,3	118,0	104,1	134,84
2010	111,1	111,2	119,3	130,8	116,0	109,7	106,2	129,0	124,1	123,3	115,9	92,7	113,98
2011	102,61	112,56	109,12	111	128,65	125,7	147,87	176,39	172,5	135,78	109,8	87,73	126,64
2012	114,39	95,76	114,08	150	134,23	144,6	135,16	172,05	170,1	142,6	105	90,83	130,73
2013	100,75	103,32	130,82	114,3	111,91	127,8	117,8	153,76	147,3	144,46	113,7	94,55	121,71

Tabel 8. Jumlah penduduk Kecamatan Pemali tahun 2008-2013

No.	Tahun	Jumlah Penduduk
1	2008	21.552
2	2009	22.829
3	2010	24.280
4	2011	26.821
5	2012	28.017
6	2013	32.655

Sumber : Kantor Camat Kecamatan Pemali

Tabel 9. Prediksi Jumlah penduduk Kecamatan Pemali untuk 15 tahun kedepan

Thn	Po (jiwa)	i (%)	n (tahun)	Pn (jiwa)
2028	32.655	1,73	15	42.236

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran dengan Simulasi Model NRECA

Aliran masuk (*inflow*) Kolong Simpur diperoleh melalui analisis hidrologi

menggunakan model NRECA untuk mendapatkan total aliran masuk Kolong Simpur selama 10 tahun, hasil perhitungan rekapitulasi ketersediaan air Kolong Simpur disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi ketersediaan air Kolong Simpur dengan Model NRECA

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2004	0,675	0,187	0,169	0,062	0,091	0,013	0,070	0,061	0,061	0,024	0,051	0,334
2005	0,115	0,014	0,098	0,125	0,116	0,065	0,022	0,044	0,066	0,093	0,299	0,321
2006	0,090	0,210	0,105	0,317	0,158	0,078	0,011	0,063	0,067	0,004	0,006	0,180
2007	0,294	0,069	0,080	0,163	0,175	0,118	0,152	0,012	0,016	0,081	0,134	0,212
2008	0,254	0,045	0,109	0,168	0,020	0,022	0,015	0,022	0,022	0,017	0,135	0,143
2009	0,140	0,010	0,218	0,019	0,139	0,021	0,038	0,014	0,002	0,017	0,060	0,081
2010	0,130	0,145	0,287	0,185	0,045	0,065	0,055	0,292	0,098	0,175	0,257	0,258
2011	0,166	0,214	0,138	0,262	0,238	0,189	0,018	0,008	0,014	0,150	0,213	0,170
2012	0,084	0,345	0,157	0,024	0,034	0,045	0,078	0,061	0,103	0,008	0,084	0,085
2013	0,127	0,129	0,213	0,409	0,423	0,223	0,202	0,147	0,189	0,139	0,476	0,853
Jumlah	2,076	1,366	1,574	1,731	1,418	0,884	0,601	0,545	0,418	0,709	1,715	2,817
Rata-rata	0,208	0,137	0,157	0,173	0,142	0,088	0,060	0,054	0,042	0,071	0,171	0,282
Aliran rata	0,262	terjadi pada bulan Desember										
Aliran rata	0,042	terjadi pada bulan September										

Hasil estimasi menggunakan fasilitas solver pada perangkat lunak microsoft excel dengan model NRECA diperoleh nilai tampungan kelengasan tanah awal (IMS) 1260 mm dan tampungan air tanah awal (IGWS) 760 mm. Sedangkan karakteristik tanah permukaan (P1) sebesar 0,1 menunjukan bahwa sifat tanah kedap air dan karakteristik tanah dalam (P2) sebesar 0,9 berarti sifat tanah bagian dalam memiliki kemampuan menahan air dan meluluskan air, jenis tanah lempung berpasir kasar.

Nilai koefisien limpasan permukaan/*runoff Coefficient* (C) daerah tangkapan air lokasi Kolong Simpur Pemali berdasarkan hasil estimasi sebesar 0,36 untuk kala ulang 10 tahun. Nilai ini sama dengan nilai koefisien aliran permukaan yang digunakan dalam metode rasional untuk daerah rata-rata/*average gradien* 2-7% dengan karakteristik permukaan tanah berhutan/*woodlands* yakni sebesar 0,36, yang disajikan pada Tabel 11. Hal ini menunjukan bahwa estimasi yang dilakukan dengan model NRECA dan optimasi penentuan nilai beberapa parameter tanah daerah tangkapan air pada

lokasi penelitian dengan bantuan fasilitas solver pada microsoft excel untuk menganalisis potensi ketersediaan air secara kaidah ilmiah dapat dipertanggung jawabkan.

Analisis Debit Bangkitan

Untuk menganalisis debit bangkitan jangka waktu 15 tahun kedepan mulai tahun 2014-2028 digunakan model Markov untuk musim ganda. Data debit bangkitan diperlukan sebagai data masukan (*inflow*) untuk melakukan simulasi *standard operating rule*.

Tabel 11. Koefisien limpasan dengan metode rasional

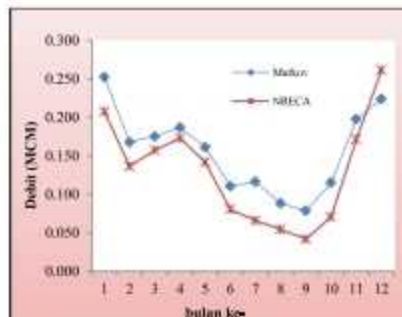
character of surface	Return Period (years)						
	2	5	10	25	50	100	500
Developed							
Asphaltic	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95	1
Concrete/roof	0,75	0,8	0,83	0,88	0,92	0,97	1
<i>Grass areas (lawns, parks, etc.)</i>							
Poor condition (grass cover than 50% of the area)							
Flat, 0-2%	0,32	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,58
Average, 3-7%	0,37	0,4	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Steep, over 7%	0,4	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Fair condition (grass cover on 50% to 75% of the area)							
Flat, 0-2%	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41	0,53
Average, 3-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Steep, over 7%	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53	0,6
Good condition (grass cover largest than 75% of the area)							
Flat, 0-2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Average, 3-7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Steep, over 7%	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	0,58
Undeveloped							
Cultivated land							
Flat, 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47	0,57
Average, 3-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,6
Steep, over 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pasture/Range							
Flat, 0-2%	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41	0,53
Average, 3-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Steep, over 7%	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53	0,6
Forest/Woodlands							
Flat, 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Average, 3-7%	0,31	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47	0,56
Steep, over 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Berdasarkan hasil perhitungan debit bangkitan dengan model Markov dapat dilihat bahwa debit maksimum terjadi pada bulan Januari yaitu sebesar 0,250 MCM dan debit minimum terjadi pada bulan September sebesar 0,078 MCM. Bila dilihat kembali dengan data debit 10 tahun sebelumnya dengan model NRECA pada Tabel 10. Terdapat kemiripan kejadian debit minimum yaitu pada bulan

September, dan kejadian pada debit maksimum pada hasil perhitungan pada model NRECA terjadi pada bulan Desember sedangkan kejadian maksimum pada hasil debit bangkitan Markov terjadi pada bulan Januari.

Perbedaan kejadian maksimum yang terjadi tidak terlalu signifikan karena terjadi dengan perbedaan satu bulan, selain itu debit maksimum hasil bangkitan pada

bulan Januari justru pada bulan yang sama pada debit hasil analisis dengan model NRECA dari data sebelumnya merupakan debit terbesar kedua setelah debit maksimum yang terjadi pada bulan Desember, untuk lebih jelasnya lihat Gambar 7.



Gambar 7. Grafik perbandingan antara debit NRECA terhadap debit bangkitan model Markov

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada bulan Juli terdapat perbedaan kecenderungan antara debit dengan model NRECA dan debit bangkitan dengan model Markov. Debit dengan model NRECA cenderung turun, sedangkan debit bangkitan dengan mode Markov cenderung naik. Dalam hal penggunaan debit sintetik hal tersebut merupakan hal yang biasa, bahwa kemungkinan adanya ketidakacakan sampel (sampel bias) selalu ada dan probabilitasnya makin kecil bila sampel historisnya makin panjang (Benson dan Matalas, 1967 dalam C.D. Soemarto, 1986).

Analisis Karakteristik Tampungan Kolong

Analisis karakteristik tampungan kolong bertujuan untuk mengetahui

kemampuan air kolong dalam memenuhi kebutuhan untuk 15 tahun kedepan, maka analisis dilakukan dengan simulasi *Standard Operating Rule* (SOR). Berdasarkan grafik hubungan antara elevasi terhadap volume tampungan, volume tampungan terhadap elevasi, dan volume tampungan terhadap luas genangan tersebut kemudian dibuat analisis regresi dengan bantuan trendline pada microsoft excel. Hasil analisis regresi yang dimaksud dapat dilihat pada persamaan 6, 7, dan 8.

Persamaan hubungan antara volume kolong terhadap elevasi kolong adalah

$$y = 1,48 \cdot \ln(x) + 5,06 \dots \dots \dots (6)$$

$$R^2 = 0,9415$$

dengan :

y = kedalaman kolong (m)

x = volume kolong (m^3)

Persamaan hubungan antara elevasi kolong terhadap volume kolong adalah

$$y = 6346,3 \cdot (x)^2 - 65399 \cdot x + 105809 \dots \dots \dots (7)$$

$$R^2 = 0,9789$$

dengan :

y = volume kolong (m^3)

x = kedalaman kolong (m)

Persamaan hubungan antara volume kolong terhadap luas genangan kolong adalah

$$y = -2E-07 \cdot (x)^2 + 0,4211 \cdot (x) + 4390,1 \dots \dots \dots (8)$$

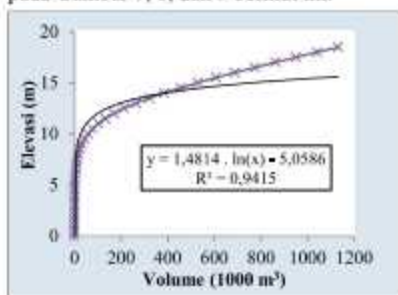
$$R^2 = 0,9914$$

dengan :

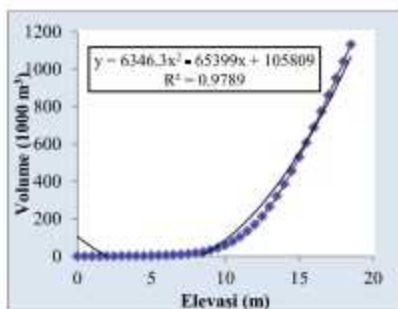
y = luas genangan kolong (m^2)

x = volume kolong (m^3)

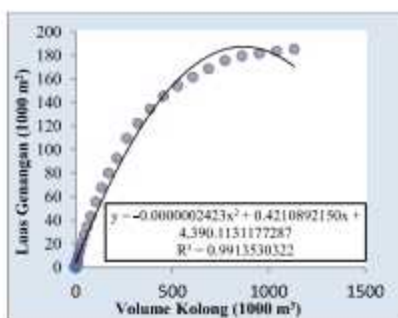
Bentuk kurva hubungan variabel kolong dari ketiga persamaan hasil estimasi trendline dan analisis regresi ditunjukkan pada Gambar 7, 8, dan 9 berikut ini.



Gambar 7. Kurva hubungan volume terhadap elevasi kolong



Gambar 8. Kurva hubungan antara elevasi terhadap volume kolong



Gambar 9. Kurva hubungan antara volume terhadap luas genangan

Simulasi *Standard Operating Rule* Kolong Simpur

Simulasi *standard operating rule* bertujuan untuk menganalisis keandalan Kolong Simpur Pemali dalam pemenuhan kebutuhan air rencana selama 15 tahun kedepan. Debit masukan (*inflow*) yang digunakan dalam simulasi ini adalah debit bangkitan model Markov selama 15 tahun (2014-2028) dan besar penguapan (E_o) di badan air kolong dilakukan dengan mengalikan luas genangan kolong dengan nilai evaporasi rerata bulanan hasil analisis dengan metode neraca energi.

Perubahan luas tampungan kolong sangat mempengaruhi besarnya penguapan pada badan air kolong. Untuk memulai simulasi SOR perlu ditentukan variabel simulasi yang terdiri dari elevasi awal permukaan air (E_{11}) pada ketinggian 18,5 meter dan tampungan awal (S_{t1}) sebesar 1.132.239,006 m³. Tampungan minimum (*dead storage*) kolong pada kedalaman air 0,95 meter dari dasar kolong atau 5% dari kedalaman kolong dan puncak pelimpah (*spillway crest*) pada elevasi 19 meter dari dasar kolong. Persamaan karakteristik kolong menggunakan persamaan (6), (7) dan (8).

Simulasi dilakukan pada beberapa kondisi target *release*, mulai dari target *release* 100% hingga tercapainya reliabilitas kolong 100%. Simulasi dengan target *release* 100% menghasilkan reliabilitas sebesar 24%, dan reliabilitas 100% tercapai pada target *release* 50%. Selengkapnya hasil simulasi SOR Kolong Simpur Kecamatan Pemali untuk 15 tahun kedepan disajikan pada Tabel 12.

Berdasarkan Tabel 12 dapat dijelaskan bahwa keandalan/reliabilitas Kolong Simpur untuk target pelepasan (*release*) 100% dapat diasumsikan hampir tidak mungkin untuk dilakukan, dikarenakan jumlah kegagalan mencapai angka 91 kali kegagalan dengan keandalan 24% yang berarti selama perencanaan 15 tahun kedepan kolong tersebut selalu mengalami kegagalan lebih dari 3 bulan berurutan dalam setiap periodenya.

Tabel 12. Keandalan tumpungan Kolong Simpur Pemali

No	Target Release	Reliabilitas	Dia Kebutuhan	% Kegagalan	Kegagalan 3 kali berturut
	70%	75%	PDAM (DAM)		
1	100	24	50	41 kali	Ada
2	85	33	47,5	41 kali	Ada
3	80	40	45	71 kali	Ada
4	80	58	40	51 kali	Ada
5	75	66	37,5	41 kali	Ada
6	60	92	30	30 kali	Ada
7	55	98	27,7	3 kali	Tidak Ada
8	52	99	26	1 kali	Tidak Ada
9	50	100	25	0 kali	Tidak Ada

Sumber : Hasil perhitungan

Hal tersebut berdampak pada kerugian yang akan dialami oleh pelanggan PDAM dan akan membuktikan kekhawatiran yang masyarakat sekitar Kolong Simpur takutkan selama ini bahwa kolong tersebut akan mengalami kekeringan seperti kolong-kolong lain yang airnya dimanfaatkan sebagai sumber air baku oleh PDAM.

Jika dipilih keandalan kolong 100% dengan target *release* 50%, maka kolong tersebut tidak pernah mengalami kegagalan selama perencanaan untuk 15 tahun kedepan yang berarti air kolong tersebut hanya mampu mencukupi setengah dari distribusi kebutuhan yaitu 25 liter/detik. Sedangkan alternatif ketiga yang dipilih

adalah keandalan/reliabilitas kolong 99% dengan target pelepasan 52% dengan jumlah 1 kali kegagalan selama 180 bulan (15 tahun) dan memiliki kemampuan untuk mendistribusikan kebutuhan air sebesar 26 liter/detik.

Alternatif kedua dan ketiga tidak memiliki perbedaan yang signifikan hanya pada alternatif ketiga mengalami 1 kali kegagalan. Jika ditetapkan bahwa kolong tersebut tidak boleh mengalami 2 kali kegagalan secara berurutan maka alternatif kedua dan ketiga memenuhi kriteria tersebut. Namun demikian, perlu dipertimbangkan faktor perubahan alam yang tidak menentu, karena dalam setiap perencanaan tetap memperhatikan faktor kegagalan walaupun memiliki nominal yang kecil. Dengan demikian diasumsikan alternatif ketiga dengan target pelepasan 52% dan keandalan/reliabilitas kolong 99% menjadi pilihan dalam pemanfaatan kolong Simpur Pemali untuk 15 tahun kedepan, dengan syarat Kolong Simpur Pemali dimanfaatkan dengan target *release* 52% sebagai sumber air baku. Apabila dengan nilai target pelepasan tersebut Kolong Simpur dianggap belum dapat memenuhi kebutuhan air masyarakat, maka dianggap air kolong tersebut dapat dimanfaatkan sebagai tambahan persediaan (cadangan) air baku. Bila sumber utama air baku lainnya seperti air baku pada Kolong PDAM Merawang dan kolong DAM-3 Pemali mengalami kekurangan air, maka Kolong Simpur dapat dimanfaatkan untuk membantu pemenuhan kebutuhan air sebesar 26 liter/detik.

Analisis Pemanfaatan Debit Optimum Air Kolong Simpur

1) Analisis Kebutuhan Air Domestik

Berdasarkan hasil proyeksi penduduk Kecamatan Pemali pada Tabel 10 untuk 15 tahun kedepan adalah sebesar 42.236 jiwa. Selanjutnya ditentukan nilai sambungan langsung rencana (SR) yang digunakan sebesar 130 liter/orang/hari. Hidran umum (HU) adalah bak penampung (dapat berupa bak plastik, bak fiber, atau cor beton) yang dilengkapi dengan kran yang digunakan untuk pengambilan air yang diletakkan di area pelayanan yang dianggap padat

penduduknya, berdasarkan Tabel 4, maka dapat ditentukan nilai hidran umum (HU) yaitu sebesar 30 liter/orang/hari dengan nilai kehilangan sebesar 30 liter/orang/hari dan tingkat pelayanan berdasarkan kepadatan penduduk sebesar 60% dari jumlah penduduk.

Setelah menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menganalisis total kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali, maka dilakukan perhitungan dan didapatkan total kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan pemali pada tahun 2028 seperti yang disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Total kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali pada tahun 2028

Jumlah Penduduk th.2028	Tingkat Pelayanan 60% (jiwa)	Sambungan Langsung (l/h) 70% Tk.Pelayanan	Hidran Umum (l/h) 30% Tk.Pelayanan	Kebutuhan air domestik tahun 2028 (l/det)	Kebutuhan Pengganti Kehilangan (l/det) 30% keb.air domestik	Total Kebutuhan Air (l/det)
42236	25342	2.306.099	228.076	29,33	8,8	38,13

(Sumber : Hasil perhitungan).

Berdasarkan Tabel 13 dengan tingkat pelayanan sebesar 60%, maka dapat diketahui total kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali pada tahun 2028 sebesar 38,13 liter/detik.

2) Analisis Pemanfaatan Debit Optimum untuk Kebutuhan Air Domestik

Dalam analisis pemanfaatan debit optimum untuk kebutuhan air domestik diperlukan nilai debit optimum yang didapat berdasarkan simulasi SOR untuk perencanaan 15 tahun kedepan yaitu 26 liter/detik dan proyeksi jumlah penduduk 15 tahun kedepan untuk mendapatkan

jumlah kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali yaitu sebesar 38,13 liter/detik.

Berdasarkan hasil perhitungan antara debit optimum sebesar 26 liter/detik dan debit kebutuhan air domestik sebesar 38,13 liter/detik, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ketersediaan air pada Kolong Simpur Pemali untuk 15 tahun kedepan hanya dapat memenuhi 68% kebutuhan air domestik ($Q_{op} < Q_{keb}$) penduduk Kecamatan Pemali.

Dengan diketahui keterbatasan ketersediaan air Kolong Simpur Pemali dalam memenuhi kebutuhan air domestik

penduduk Kecamatan Pemali, maka dapat diambil kebijakan yang tepat dalam hal pemanfaatan air Kolong Simpur sebagai sumber air baku, yaitu air Kolong Simpur tetap bisa dimanfaatkan airnya sebagai sumber air baku untuk memenuhi kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali sebesar 68% dari total kebutuhan air domestik, dengan syarat tidak melebihi debit optimum rencana sebesar 26 liter/detik atau dengan alternatif kedua yaitu air Kolong Simpur dimanfaatkan sebagai cadangan (*supplies*) sumber air baku disaat sumber air baku lainnya seperti Kolong PDAM Merawang dan Kolong DAM-3 Pemali mengalami kekurangan air.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Ketersediaan air pada Kolong Simpur didapat berdasarkan hasil analisis dengan model NRECA menggunakan data klimatologi selama 10 tahun (2004-2013) dengan total debit rerata sebesar 1,563 MCM dan debit maksimum terjadi pada bulan Desember sebesar 0,262 MCM dan debit minimum terjadi pada bulan September sebesar 0,042 MCM. Ketersediaan air Kolong Simpur untuk periode 15 tahun kedepan disimulasikan dengan model Markov dan didapatkan total debit rerata sebesar 1,875 MCM dengan debit maksimum terjadi pada bulan Januari sebesar 0,250 MCM dan debit minimum terjadi pada bulan September sebesar 0,078 MCM.

2. Hasil simulasi debit bangkitan dengan model Markov untuk jangka waktu 15 tahun kedepan digunakan sebagai data aliran masuk (*inflow*) pada simulasi *Standard Operating Rule*. Setelah melakukan simulasi pada beberapa kondisi target pelepasan/*release* maka diketahui nilai target *release* optimal Kolong Simpur yang dapat dimanfaatkan adalah 52% dan keandalan/reliabilitas kolong sebesar 99% (1 kali kegagalan) dengan debit optimal 26 liter/detik. Dengan debit optimal sebesar 26 liter/detik dan dilakukan analisis terhadap kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali dengan proyeksi 15 tahun kedepan sebesar 38,13 liter/detik, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa debit optimal hanya mampu memenuhi 68% kebutuhan air domestik penduduk Kecamatan Pemali pada tahun 2028.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian serupa pada kolong yang lain yang ada di Provinsi Bangka Belitung yang dianggap memiliki ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan, baik untuk sumber air baku, perikanan, dan pertanian agar kolong dapat memberikan nilai tambah bagi masyarakat ataupun pemerintah.
2. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi masukan positif bagi pemerintah dan pihak terkait dalam mengambil kebijakan untuk memanfaatkan air Kolong Simpur sebagai sumber air baku utama atau hanya sebagai cadangan air baku

dengan memperhatikan keandalan kolong.

3. Diperlukan kajian lebih lanjut dalam penelitian ini dengan menggunakan data historis yang lebih panjang agar dalam menganalisis debit sintetik nilai sampel bias probabilitasnya semakin kecil, sehingga didapat kemiripan aliran tahun yang lampau dengan aliran tahun yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. *Modul Pelatihan NRECA dan Sacramento*. Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Anonim. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi KP-01*. Direktorat Jendral Pengairan. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Asdak, Chay. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Chow, Ven Te., Maidment, David R. & Mays, Larry W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company.
- Hermantoro. 2011. Peningkatan Efektivitas Tampung Embung Melalui Perbaikan Bentuk Dimensi. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 21, 35-41.
- Indra, Zulfikar., Binilang, A., Mamoto, J. D., Jasin, M, I. 2012. Analisis Debit Sungai Munte dengan Metode Mock dan Metode NRECA Untuk Kebutuhan Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Jurnal Teknik Sipil*, 1, 34-38.
- Linsley, dkk. 1989. *Hidrologi untuk Insinyur*. Erlangga, Jakarta.
- Noviyarto, Hendri. *Pemanfaatan Kolong Bekas Tambang Timah*. <http://www.hendrinoviyarto.blogspot.com>. Diakses tanggal 12 Febuari 2014.
- Ridha, Syahrir, Wildan. 2012. Perencanaan Tubuh Embung Umbaran Gunung Rancak Sampang. *Laporan Tugas Akhir*. Jurusan Diploma 3 Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November.
- S. C.Bloch. 2007. *Excel untuk Insinyur dan Ilmuan (terjemahan)*. Erlangga, Jakarta.
- Setiawan, Agung. 2010. Kajian Keandalan Waduk Sempor. *Laporan Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram.
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional, Surabaya.