

ANALISIS KAPASITAS WADUK DURIANGKANG DAN MUKAKUNING UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN AIR MASYARAKAT KOTA BATAM

Alvin Timothy Siregar¹ dan Dr. Ir. Wati Asriningsih Pranoto, MT.²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
alvin.325160168@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
watip@ft.untar.ac.id

Masuk: 06-01-2022, revisi: 12-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

ABSTRACT

Batam is the largest city in the Riau Islands Province with a population predicted to reach 1.8 million people in 2025. This study aims to determine the capacity of the Duriangkang Reservoir and Mukakuning Reservoir to meet the current and future water needs. The data used are: rainfall data from Hang Nadim Meteorological Station from 2011 to 2020, topographical maps and geometric data of the two reservoirs. In this study the author uses the ripple method. Although previously have been analyzed using several methods, it is possible that there are still differences between the design and the reality on the ground. The results will determine the reliability and volume in the two reservoirs. There were no failures in 2019 and there were 2 failures occurred in 2020 in the Duriangkang Reservoir. Meanwhile, for Mukakuning Reservoir, there were 2 failures that occurred in 2019 and 4 failures in 2020. Based on the ability of the water treatment plant to serve the water needs, Duriangkang reservoir can serve raw water needs in 2020 & 2025, but in 2030 with the water demands hit 3914,6353 L/s Duriangkang Reservoir cannot be fulfilled. For Mukakuning Reservoir, water needs in present & future cannot be fulfilled.

Keywords: Reservoir Storage Capacity, Ripple Method, Reservoir reliability, water needs, rainfall data

ABSTRAK

Kota Batam merupakan kota terbesar di Provinsi Kepulauan Riau dengan jumlah populasi di prediksi mencapai 1,8 juta jiwa pada tahun 2025. Studi ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dari Waduk Duriangkang dan Waduk Mukakuning untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat saat ini dan yang akan datang. Data yang digunakan adalah: data curah hujan harian dari Stasiun Meteorologi Hang Nadim dari tahun 2011 hingga 2020, Peta Rupabumi Indonesia dan data geometri kedua waduk. Kapasitas tampungan waduk dapat dianalisis menggunakan beberapa metode. Tetapi pada penelitian ini penulis menggunakan metode ripple. Walaupun sebelumnya kedua waduk pernah dianalisis dengan beberapa metode, dimungkinkan masih ada perbedaan antara perancangan dengan kenyataan di lapangan. Hasil dari analisis akan diketahui keandalan dan volume yang tertampung dalam kedua waduk tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh tidak ada kegagalan yang terjadi pada tahun 2019 dan terjadi 2 kali kegagalan pada Waduk Duriangkang. Sedangkan untuk Waduk Mukakuning terjadi 2 kali kegagalan pada tahun 2019 dan 4 kali kegagalan pada tahun 2020. Berdasarkan kemampuan IPA untuk melayani kebutuhan air, Waduk Duriangkang dapat melayani kebutuhan air baku tahun 2020 & 2025, tetapi pada tahun 2030 kebutuhan air sebesar 3914,6353 L/s tidak dapat terpenuhi. Untuk Waduk Mukakuning kebutuhan air tahun 2020, 2025 & 2030 tidak dapat terpenuhi.

Kata kunci: Kapasitas waduk, Metode Ripple, keandalan waduk, kebutuhan air, curah hujan

1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya yang paling krusial dalam pembangunan sosial, ekonomi dan lingkungan suatu negara, tetapi juga memiliki ancaman yang disebabkan oleh ketidakseimbangan distribusi air di dunia (Hadjigeorgalis, 2009). Kota Batam sebagai salah satu kota besar di Provinsi Kepulauan Riau memiliki jumlah penduduk 1,196 juta jiwa pada tahun 2020 (Badan Pusat Statistik Kota Batam 2020) dan di prediksi mencapai 1,8 juta jiwa pada tahun 2025 (Badan Pusat Statistik Kep. Riau, 2017). Untuk Kota Batam, kebutuhan air diprediksi meningkat hingga 6.630 l/s pada tahun 2025 dari 3.279 l/s dari tahun 2015 (Wahyuni & Junianto, 2017). Untuk memenuhi kebutuhan air baku di Kota Batam, PT. Adyha Tirta Batam memiliki kendala pada saat kemarau panjang, masyarakat mendapat air bersih secara bergilir. Selain itu jumlah penduduk Batam yang semakin meningkat juga merupakan salah satu tantangan bagi ketersediaan air bersih di Kota Batam. Sejak tahun 2020 PT. Adyha Tirta Batam masuk kedalam Badan Pengusahaan Kota Batam / BP Batam.

Permasalahan pada jurnal ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana fluktuasi volume Waduk Duriangkang dan Waduk Mukakuning dari tahun 2019-2020?
2. Seberapa besar evaporasi yang terjadi pada kedua waduk?
3. Seberapa besar keandalan kedua waduk ?
4. Seberapa besar kebutuhan air masyarakat Kota Batam yang dialiri oleh kedua waduk saat ini, tahun 2025 dan 2030?

Tujuan penelitian dari jurnal ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Menganalisis volume kedua waduk dari tahun 2019-2020.
2. Mengetahui keandalan kedua waduk.
3. Mengetahui ketercukupan kebutuhan air masyarakat kota batam yang dialiri kedua waduk pada tahun 2020, 2025 dan 2030

Waduk

Waduk merupakan salah satu contoh perairan tawar buatan yang dibuat dengan cara membendung sungai tertentu dengan berbagai tujuan yaitu sebagai pencegah banjir, pembangkit tenaga listrik, pensuplai air bagi kebutuhan irigasi pertanian, untuk kegiatan perikanan baik perikanan tangkap maupun budidaya karamba, dan bahkan untuk kegiatan pariwisata

Sungai

Menurut Triatmojo (2008) sungai adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Air hujan yang jatuh kepermukaan tanah sebagiannya mengalir ke permukaan. Aliran air di permukaan ini akan berkumpul mengalir ke tempat-tempat yang lebih rendah dan akhirnya melimpas ke danau atau ke laut. Aliran air tersebut membentuk suatu alur yang panjang diatas permukaan bumi yang disebut alur sungai. Perpaduan antara alur sungai dan aliran air di dalamnya disebut sungai(Suyono, 1985).

Curah hujan

Menurut Suroso (2006). Curah hujan merupakan jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm) diatas permukaan horizontal. Hujan juga dapat diartikan sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir

Kebutuhan air

Pemakaian air oleh masyarakat akan bertambah besar seiringnya kemajuan masyarakat tersebut, sehingga pemakaian air seringkali dipakai sebagai salah satu tolak ukur tinggi rednahnya kemajuan suatu masyarakat (Yosananto & Heri, 2017). Kebutuhan air masyarakat dibagi menjadi 2 yaitu domestik dan non domestik. Kemudian kedua bagian tersebut dibagi menjadi 5 kategori yaitu :

1. Kota Kategori I (Metropolitan) : >1.000.000 jiwa
2. Kota Kategori II (Kota Besar) : 1.000.000 – 500.000 jiwa
3. Kota Kategori III(Kota Sedang) : 500.000 – 100.000 jiwa
4. Kota Kategori IV (Kota Kecil) : 100.000 - 20.000 jiwa
5. Kota Kategori V (Desa) : < 20.000 jiwa

Kriteria perencanaan air bersih domestik dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Kemudian untuk kriteria perencanaan air bersih non-domestik dapat dilihat pada tabel pada tabel 1:

Tabel 1 Kriteria perencanaan air bersih domestik (sumber : Kriteria Perencanaan Air Ditjen Cipta Karya Dinas PU)

		KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH JIWA				
		KOTA METRO	KOTA BESAR	KOTA SEDANG	KOTA KECIL	DESA
no	uraian	> 1.000.000	1.000.000 - 500.000	500.000 - 100.000	100.000 - 20.000	< 20.000
1	Konsumsi Unit Sambungan rumah (SR) L/O/H	190	170	150	130	30
2	Konsumsi Unit Hidran Umum (HU) L/O/H	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik L/O/H %	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
4	Kehilangan Air (%)	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20
5	Faktor Hari Maksimum	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Faktor Jam Puncak	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
7	Jumlah jiwa per SR	5	5	6	6	10
8	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100-200	200
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam Operasi	24	24	24	24	24
11	Volume reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50 : 50 s/d 80:20	51 : 50 s/d 80:20	52 : 50 s/d 80:20	53 : 50 s/d 80:20	54 : 50 s/d 80:20
13	Cakupan pelayanan	90	90	90	90	70

Kemudian untuk kebutuhan non-domestik dapat dilihat pada tabel 2,3& 4 :

Tabel 2 Kebutuhan air non-domestik kategori I-IV (Ditjen Cipta Karya, Dep. PU, 2000)

no	sektor	nilai	satuan
1	sekolah	10	liter/murid/hari
2	rumah sakit	200	liter/bed/hari
3	puskesmas	2000	liter/hari
4	masjid	3000	liter/hari
5	kantor	10	liter/pegawai/hari
6	pasar	12000	liter/hektar/hari
7	hotel	150	liter/bed/hari
8	rumah makan	100	liter/tempat duduk/hari
9	kompleks militer	50	liter/orang/hari
10	kawasan industri	0.2-0.8	liter/detik/hari
11	kawasan pariwisata	0.1-0.3	liter/detik/hari

Tabel 3 Kebutuhan air non-domestik kategori V (Ditjen Cipta Karya, Dep. PU, 2000)

no	sektor	nilai	satuan
1	sekolah	5	liter/murid/hari
2	rumah sakit	200	liter/bed/hari
3	puskesmas	1200	liter/hari
4	hotel/losmen	90	liter/hari
5	komersial/industri	10	liter/detik/hari

Tabel 4 Kebutuhan air non-domestik kategori lain (Ditjen Cipta Karya, Dep. PU, 2000)

no	sektor	nilai	satuan
1	Lapangan Terbang	10	liter/murid/hari
2	Pelabuhan	50	liter/bed/hari
3	Stasiun KA/ Terminal bus	1200	liter/hari
5	Kawasan Industri	0.75	liter/detik/hari

Proyeksi kebutuhan air

Proyeksi kebutuhan air bersih dapat ditentukan dengan memperhatikan pertumbuhan penduduk untuk diproyeksikan terhadap kebutuhan air bersih sampai dengan lima puluh tahun mendatang atau tergantung dari proyeksi yang dikehendaki (Soemarto, 1999)

Rumus angka pertumbuhan penduduk :

$$\text{Angka Pertumbuhan}(\%) = \frac{\sum \text{Penduduk}_n - \sum \text{Penduduk}_{n-1}}{\sum \text{Penduduk}_{n-1}} \dots \dots \dots (1)$$

Rumus proyeksi jumlah penduduk :

$$P_n = P_0 + (1 + r)^n \dots \dots \dots (2)$$

$$P_n = P_0 + n \cdot r \dots \dots \dots (3)$$

Dimana P_n adalah jumlah penduduk tahun ke- n , P_0 adalah jumlah penduduk awal tahun proyeksi, n adalah periode waktu tinjau, dan r adalah angka pertumbuhan penduduk.

Evaporasi

Evaporasi adalah keseluruhan jumlah air yang berasal dari permukaan tanah dan air yang diuapkan kembali ke atmosfer. Dalam jurnal ini perhitungan evaporasi menggunakan metode *Thornthwaite*.

Rumus evaporasi *Thornthwaite* sebagai berikut :

$$ET = 1.62 \left[\frac{10 \cdot TM}{I} \right]^\alpha \dots \dots \dots (4)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left[\frac{TM}{5} \right]^{1.514} \dots \dots \dots (5)$$

$$ET = f \times Et \dots \dots \dots (6)$$

Kapasitas Waduk

Dalam perhitungan kapasitas waduk menggunakan metode ripple dalam penelitian ini menggunakan persamaan berikut:

$$Z = (Q_{in} - Q_{out}) + \text{Volume tertampung bulan } 1,2,3,4 \dots \dots \dots (7)$$

Dimana Q_{in} merupakan total Air hujan yang masuk ke waduk dan debit inflow. Q_{out} merupakan total volume yang terevaporasi dan debit pemakaian air masyarakat.

Kehandalan Waduk

Prosedur perhitungan keandalan waduk dengan metode simulasi sebagai berikut :

$$Pe = \frac{\sum P}{N} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana P merupakan Jumlah waduk kosong tertentu, N adalah panjang data yang dianalisis, dan Pe adalah presentase data kegagalan.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data

Penelitian ini memerlukan beberapa data seperti berikut :

1. Data besarnya debit *inflow* dan *outflow* yang diperoleh dari BP BATAM.
2. Data geometri Waduk Duriangkang dan Waduk Mukakuning yang diperoleh dari BP Batam.
3. Data Elevasi Muka Air Waduk Duriangkang dan Waduk Mukakuning yang diperoleh dari BP Batam.
4. Data Curah Hujan stasiun Metereologi Hang Nadim selama 10 tahun terakhir yang diperoleh dari situs Pusat Database Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
5. Data jumlah penduduk yang memperoleh air dari kedua waduk diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Batam.
6. Data rumah sakit, sekolah, industri dan puskesmas yang memperoleh air dari kedua waduk diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Batam.
7. Data temperatur harian yang diperoleh dari Pusat Database Badan Meteorologi. Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

Pengolahan data

Berikut tahapan pengolahan data :

1. Menghitung curah hujan bulanan untuk tahun 2019-2020
2. Menghitung jumlah air yang masuk kedalam das kedua waduk
3. Menghitung nilai evapotranspirasi menggunakan metode *Thorntwaite*.
4. Menghitung besarnya kebutuhan air masyarakat 5 dan 10 tahun kedepan.
5. Menghitung *Q in* dan *Q out* total kedua waduk.
6. Menentukan tampungan efektif kedua waduk.
7. Menganalisa kapasitas tampungan Waduk Duriangkang dan Waduk Mukakuning (Metode *Ripple*).
8. Menganalisa kehandalan kedua waduk.
9. Menganalisa kemampuan IPA kedua waduk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan dari stasisun terdekat yaitu diperoleh dari situs resmi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah pada tahun 2019 sampai 2020 yang didapat dari Stasiun Meteorologi Hang Nadim. Hasil perhitungan curah hujan total bulanan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Curah Hujan Total Bulanan (mm)

Bulan	Tahun	
	2019	2020
Jan	194	85
Feb	21,2	43,4
Mar	13,9	40,4

Tabel 5 Curah Hujan Total Bulanan (mm) lanjutan

Apr	74,1	129,2
Mei	152,7	185,7
Jun	242,3	238,4
Jul	47	265,7
Ags	83	237,8
Sep	40,8	125,5
Okt	197,4	276,6
Nov	134,5	5,1
Des	359,8	330,2

Neraca Air

Perhitungan neraca air dilakukan untuk memeriksa apakah air yang tersedia cukup memadai kebutuhan air dilokasi yang bersangkutan.

Q_{in} merupakan jumlah total bulanan air yang masuk dari air hujan yang masuk kedalam waduk dan debit inflow tang masuk kedalam waduk.

Jumlah air hujan kedua waduk berdasarkan air hujan yang jatuh pada luasan DAS yang dihitung dan genangan basah waduk selama satu bulan. Jumlah air hujan yang masuk kedalam kedua waduk dapat dilihat pada tabel 6,7, 8 & 9.

Tabel 6 Hasil perhitungan jumlah air hujan Waduk Duriangkang tahun 2019

Bulan	Curah (mm)	Luas <i>tangkapan air hujan</i> (m ²)	Jumlah Air Hujan (m ³)
Jan	194	69527053	13488248,28
Feb	21,2	69527053	1473973,52
Mar	13,9	69527053	966426,04
Apr	74,1	69527053	5151954,63
Mei	152,7	69527053	10616780,99
Jun	242,3	69527053	16846404,94
Jul	47	69527053	3267771,49
Ags	83	69527053	5770745,40
Sep	40,8	69527053	2836703,76
Okt	197,4	69527053	13724640,26
Nov	134,5	69527053	9351388,63
Des	359,8	69527053	25015833,67

Tabel 7 Hasil perhitungan jumlah air hujan Waduk Duriangkang tahun 2020

Bulan	Curah (mm)	Luas <i>Catchment Area</i> (m ²)	Jumlah Air Hujan (m ³)
Jan	85	69527053	5909799,51
Feb	43,4	69527053	3017474,10
Mar	40,4	69527053	2808892,94

Tabel 7 Hasil perhitungan jumlah air hujan Waduk Duriangkang tahun 2020 lanjutan

Apr	129,2	69527053	8982895,25
Mei	185,7	69527053	12911173,74
Jun	238,4	69527053	16575249,44
Jul	265,7	69527053	18473337,98
Ags	237,8	69527053	16533533,20
Sep	125,5	69527053	8725645,15
Okt	276,6	69527053	19231182,86
Nov	561	69527053	39004676,73
Des	330,2	69527053	22957832,90

Tabel 8 Hasil perhitungan jumlah air hujan Waduk Mukakuning tahun 2019

Bulan	Curah (mm)	Luas <i>Catchment Area</i> (m ²)	Jumlah Air Hujan (m ³)
Jan	194	9071644	1759898,94
Feb	21,2	9071644	192318,85
Mar	13,9	9071644	126095,85
Apr	74,1	9071644	672208,82
Mei	152,7	9071644	1385240,04
Jun	242,3	9071644	2198059,34
Jul	47	9071644	426367,27
Ags	83	9071644	752946,45
Sep	40,8	9071644	370123,08
Okt	197,4	9071644	1790742,53
Nov	134,5	9071644	1220136,12
Des	359,8	9071644	3263977,51

Tabel 9 Hasil perhitungan jumlah air hujan Waduk Mukakuning tahun 2019

Bulan	Curah (mm)	Luas <i>Catchment Area</i> (m ²)	Jumlah Air Hujan (m ³)
Jan	85	9071644	771089,74
Feb	43,4	9071644	393709,35
Mar	40,4	9071644	366494,42
Apr	129,2	9071644	1172056,40
Mei	185,7	9071644	1684604,29
Jun	238,4	9071644	2162679,93
Jul	265,7	9071644	2410335,81
Ags	237,8	9071644	2157236,94
Sep	125,5	9071644	1138491,32
Okt	276,6	9071644	2509216,73

Tabel 9 Hasil perhitungan jumlah air hujan Waduk Mukakuning tahun 2019 lanjutan

Nov	561	9071644	5089192,28
Des	330,2	9071644	2995456,85

Berikut adalah besarnya total Q_{in} dari kedua waduk dapat dilihat dari tabel 10 :

Tabel 10 Q_{in} Waduk Duriangkang & Mukakuning ($1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$)

Tahun	Bulan	Debit Inflow	Air Hujan	Total	Debit Inflow	Air Hujan	Total
2019	Mar	2,946	0,9664	3,912	0,912	0,1261	1,048
	Apr	8,603	5,1520	13,755	1,397	0,6722	2,122
	Mei	4,829	10,6168	15,446	0,955	1,3852	2,449
	Jun	2,392	16,8464	19,238	1,337	2,1981	3,707
	Jul	6,512	3,2678	9,78	1,792	0,4264	2,252
	Ags	4,891	5,7707	10,662	1,437	0,7529	2,249
	Sep	4,325	2,8367	7,162	1,816	0,3701	2,215
	Okt	3,412	13,7246	17,137	1,301	3,264	4,821
	Nov	4,381	9,3514	13,732	0,341	1,7907	2,272
	Des	2,687	25,0158	27,703	1,301	3,264	4,821
	Jan	3,794	5,9098	9,704	1,481	0,7711	2,312
	Feb	4,012	3,0175	7,029	1,768	0,3937	2,193
2020	Mar	3,998	2,8089	6,807	1,894	0,3665	2,289
	Apr	3,621	8,9829	12,604	0,841	1,1721	2,105
	Mei	2,953	12,9112	15,864	0,428	1,6846	2,244
	Jun	3,291	16,5752	19,866	0,328	2,1627	2,66
	Jul	3,681	18,4733	22,154	0,371	2,4103	2,97
	Ags	16,901	16,5335	33,435	0,398	2,1572	2,724
	Sep	3,478	8,7256	12,204	0,498	1,1385	1,726
	Okt	6,921	19,2312	26,152	0,211	2,5092	2,517
	Nov	4,381	39,0047	43,386	0,502	5,0892	5,99
	Des	4,121	22,9578	27,079	0,601	2,9955	3,831

Untuk analisis evaporasi potensial (E_{To}) kedua waduk menggunakan Metode *Thornthwaite* memanfaatkan suhu udara sebagai indeks ketersediaan energi sesuai dengan rumus 4,5 dan 6. Hasil perhitungan untuk bulan maret pada tahun 2019 menggunakan Metode *Thornthwaite* dapat dilihat pada tabel 11 :

Tabel 11 Hasil perhitungan Metode *Thornthwaite* bulan maret 2019

Tanggal	T _m (°C)	I	α	ET (mm/hari)	f	ET koreksi (mm/hari)
01-03-2019	28,6	14,01837	0,729637	14,62506	1,0398	15,2065
02-03-2019	28,4	13,87022	0,727245	14,5581	1,0398	15,1369
03-03-2019	27,1	12,92037	0,71186	14,13761	1,0398	14,6996
04-03-2019	27,6	13,28299	0,717744	14,29632	1,0398	14,8647
05-03-2019	27,9	13,50219	0,721295	14,39335	1,0398	14,9656
04-03-2019	27,6	13,28299	0,717744	14,29632	1,0398	14,8647
05-03-2019	27,9	13,50219	0,721295	14,39335	1,0398	14,9656
06-03-2019	28,6	14,01837	0,729637	14,62506	1,0398	15,2065
07-03-2019	28,8	14,16706	0,732035	14,69264	1,0398	15,2767
08-03-2019	29,3	14,54109	0,738059	14,86426	1,0398	15,4552
09-03-2019	28,3	13,79635	0,726052	14,52484	1,0398	15,1023
10-03-2019	28,2	13,72261	0,72486	14,49174	1,0398	15,0679
11-03-2019	28,4	13,87022	0,727245	14,5581	1,0398	15,1369
12-03-2019	28	13,57553	0,722482	14,42599	1,0398	14,9995
13-03-2019	28,8	14,16706	0,732035	14,69264	1,0398	15,2767
14-03-2019	28,5	13,94423	0,72844	14,5915	1,0398	15,1716
15-03-2019	28,1	13,649	0,72367	14,45879	1,0398	15,0336
16-03-2019	27,6	13,28299	0,717744	14,29632	1,0398	14,8647
17-03-2019	28,7	14,09265	0,730835	14,65877	1,0398	15,2415
18-03-2019	28,4	13,87022	0,727245	14,5581	1,0398	15,1369
19-03-2019	29	14,31627	0,73444	14,76082	1,0398	15,3476
20-03-2019	29,2	14,46602	0,736851	14,82962	1,0398	15,4192
21-03-2019	29,3	14,54109	0,738059	14,86426	1,0398	15,4552
22-03-2019	28,4	13,87022	0,727245	14,5581	1,0398	15,1369
23-03-2019	28,3	13,79635	0,726052	14,52484	1,0398	15,1023
24-03-2019	28,8	14,16706	0,732035	14,69264	1,0398	15,2767
25-03-2019	29	14,31627	0,73444	14,76082	1,0398	15,3476
26-03-2019	29,8	14,91842	0,744122	15,03974	1,0398	15,6376
27-03-2019	29,6	14,76709	0,741692	14,96908	1,0398	15,5642
28-03-2019	29,4	14,61629	0,739268	14,89904	1,0398	15,4914
29-03-2019	29,5	14,69163	0,740479	14,93398	1,0398	15,5277
30-03-2019	25,2	11,5739	0,689891	13,5686	1,0398	14,1080
31-03-2019	28,3	13,79635	0,726052	14,52484	1,0398	15,1023

Q_{out} merupakan total air yang keluar dari waduk. Nilai Q_{out} merupakan perhitungan dari jumlah volume air yang ter evaporasi dan pemakaian air masyarakat yang terdiri dari sekolah, rumah sakit, puskesmas, kawasan industri, dan pemakaian masyarakat. Nilai Q_{out} dapat dilihat pada tabel 12 :

Tabel 12 Q out Waduk Duriangkang & Mukakuning($1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$)

Tahun	Bulan	Waduk Duriangkang			Waduk Mukakuning		
		Air Baku	Evaporasi	Total	Air Baku	Evaporasi	Total
2019	Mar	5,535	11,29352	16,25352	1,463	0,827	2,289
	Apr	5,535	10,54947	16,10747	1,463	0,772	2,235
	Mei	5,535	11,19617	16,56017	1,463	0,819	2,282
	Jun	5,535	10,40567	16,98267	1,463	0,762	2,224
	Jul	5,535	11,25203	15,74403	1,463	0,823	2,286
	Ags	5,535	11,33849	16,95049	1,463	0,830	2,292
	Sep	5,535	10,60811	16,22711	1,463	0,776	2,239
	Okt	5,535	10,99058	16,45158	1,463	0,804	2,267
	Nov	5,535	10,45351	16,17651	1,463	0,765	2,228
	Des	5,535	10,90347	16,37547	1,463	0,798	2,260
	Jan	5,839	11,07598	16,59898	1,535	0,811	2,346
	Feb	5,839	9,417148	15,17915	1,535	0,689	2,224
2020	Mar	5,839	11,32602	16,70002	1,535	0,829	2,364
	Apr	5,839	10,66894	16,29394	1,535	0,781	2,316
	Mei	5,839	11,31525	16,83425	1,535	0,828	2,363
	Jun	5,839	10,40171	16,06371	1,535	0,761	2,296
	Jul	5,839	11,02069	17,54869	1,535	0,807	2,342
	Ags	5,839	11,06704	16,53704	1,535	0,810	2,345
	Sep	5,839	10,2056	15,6596	1,535	0,747	2,282
	Okt	5,839	11,0891	16,3731	1,535	0,812	2,347
	Nov	5,839	10,29347	15,67847	1,535	0,753	2,289
	Des	5,839	10,96699	16,33199	1,535	0,803	2,338

Dalam metode *ripple* volume efektif digunakan sebagai volume maksimal yang tertampung dalam waduk, Jika Waduk kosong maka dianggap gagal. Dari hasil perhitungan menggunakan Metode Ripple dengan persamaan (7) diketahui kapasitas waduk per bulan dan kegagalan waduk dalam memenuhi kebutuhannya seperti pada tabel 13 & 14:

Tabel 13. Analisis Metode *Ripple* Waduk Duriangkang (1×10^6)

No	Tahun	Bulan ke-	Q inp (m3)	Qout (m3)	Perubahan Tampung (m3)	Volume awal Pengamatan (m3)	Volume Tertampung (m3)	Volume Kumulatif (m3)	Kapasitas Efektif Waduk (m3)	Keterangan	Volume Limpasan
1		Jan	-	-	-		-	-	-	-	-
2		Feb	-	-	-		-	-	-	-	-
3		Mar	3,9124	16,8287	-12,9163	73,201988	0,0000	73,201988	73,2020		-
4		Apr	13,7550	16,0846	-2,3297		-2,3297	70,8723	73,2020		-
5	2019	Mei	15,4458	16,7313	-1,2855		-3,6152	69,5868	73,2020		-
6		Jun	19,2384	15,9408	3,2976		-0,3176	72,8844	73,2020		-
7		Jul	9,7798	16,7872	-7,0074		-7,3251	65,8769	73,2020		-
8		Ags	10,6617	16,8736	-6,2119		-13,5370	59,6650	73,2020		-
9		Sep	7,1617	16,1433	-8,9816		-22,5185	50,6835	73,2020		-

Tabel 13. Analisis Metode *Ripple* Waduk Duriangkang (1×10^6) lanjutan

10	Okt	17,1366	16,5257	0,6109	-21,9076	51,2944	73,2020	-	
11	Nov	13,7324	15,9887	-2,2563	-24,1639	49,0381	73,2020	-	
12	Des	27,7028	16,4386	11,2642	-12,8997	60,3023	73,2020	-	
13	Jan	9,7038	16,9152	-7,2114	-20,1110	53,0910	75,5583	-	
14	Feb	7,0295	15,2563	-8,2268	-28,3379	44,8641	75,5583	-	
15	Mar	6,8069	17,1652	-10,3583	-38,6962	34,5058	75,5583	-	
16	Apr	12,6039	16,5081	-3,9042	-42,6004	30,6016	75,5583	-	
17	Mei	15,8642	17,1544	-1,2902	-43,8906	29,3113	75,5583	-	
18	Jun	19,8662	16,2409	3,6254	-40,2653	32,9367	75,5583	-	
19	Jul	22,1543	16,8599	5,2945	-34,9708	38,2312	75,5583	-	
20	Ags	33,4345	16,9062	16,5283	-18,4425	54,7595	75,5583	-	
21	Sep	12,2036	16,0448	-3,8411	-22,2836	50,9184	75,5583	-	
22	Okt	26,1522	16,9283	9,2239	-13,0597	60,1423	75,5583	-	
23	Nov	43,3857	16,1326	27,2530	14,1933	75,5583	75,5583	LIMPAS	11,8370
24	Des	27,0788	16,8062	10,2727	24,4660	75,5583	75,5583	LIMPAS	10,2727

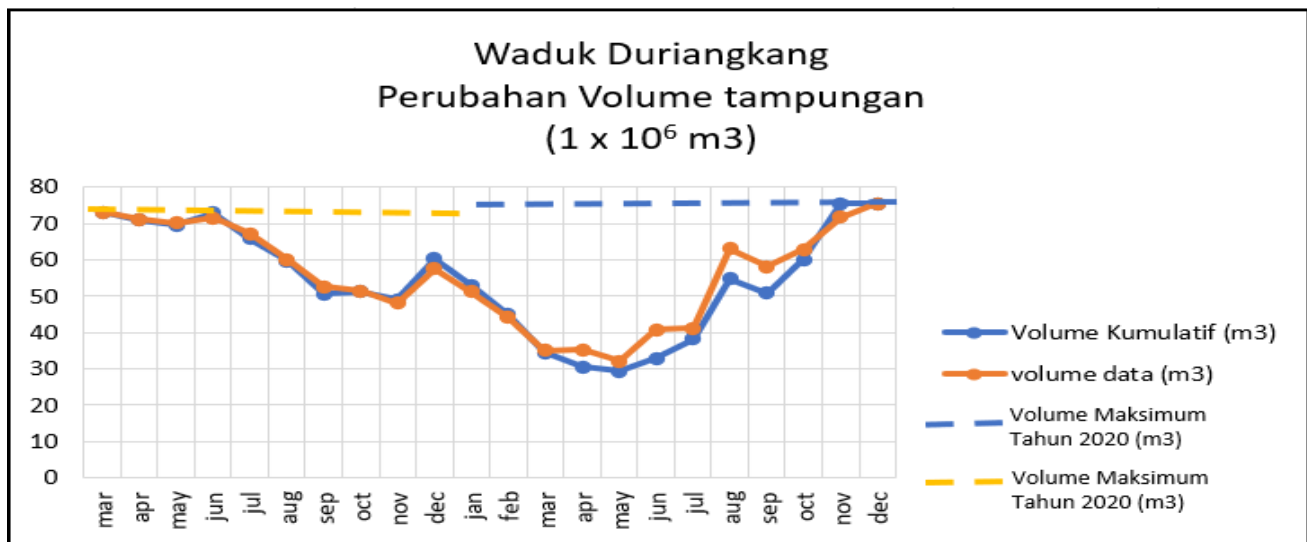
Tabel 14 Analisis Metode *Ripple* Waduk Mukakuning (1×10^6)

No	Tahun	Bulan ke-	Q inp (m3)	Qout (m3)	Perubahan Tampung (m3)	Volume awal Pengamatan (m3)	Volume Tertampung (m3)	Volume Kumulatif (m3)	Kapasitas Efektif Waduk (m3)	Keterangan	Volume Limpasan
1		Jan	-	-	-		-	-	-	-	-
2		Feb	-	-	-		-	-	-	-	-
3		Mar	1,048	2,2890	-1,2411	8,495723	0,0000	8,495723	8,5624	-	-
4		Apr	2,122	2,2346	-0,1127		-0,1127	8,3830	8,5624	-	-
5		Mei	2,449	2,2819	0,1668		0,0540	8,5498	8,5624	-	-
6	2019	Jun	3,707	2,2241	1,4831		1,5371	8,5624	8,5624	LIMPAS	1,4704
7		Jul	2,252	2,2860	-0,0343		1,5029	8,5281	8,5624	-	-
8		Ags	2,249	2,2923	-0,0434		1,4594	8,4847	8,5624	-	-
9		Sep	2,215	2,2389	-0,0238		1,4357	8,4609	8,5624	-	-
10		Okt	2,272	2,2669	0,0051		1,4407	8,4660	8,5624	-	-
11		Nov	2,228	2,2276	0,0001		1,4408	8,4661	8,5624	-	-
12		Des	4,821	2,2605	2,5600		4,0009	8,5624	8,5624	LIMPAS	2,4638
13		Jan	2,312	2,3458	-0,0333		3,9675	8,5291	8,5298	-	-
14		Feb	2,193	2,2244	-0,0319		3,9357	8,4972	8,5298	-	-
15	2020	Mar	2,289	2,3641	-0,0749		3,8608	8,4223	8,5298	-	-
16		Apr	2,105	2,3160	-0,2112		3,6496	8,2111	8,5298	-	-
17		Mei	2,244	2,3633	-0,1188		3,5307	8,0923	8,5298	-	-
18		Jun	2,660	2,2965	0,3635		3,8943	8,4558	8,5298	-	-

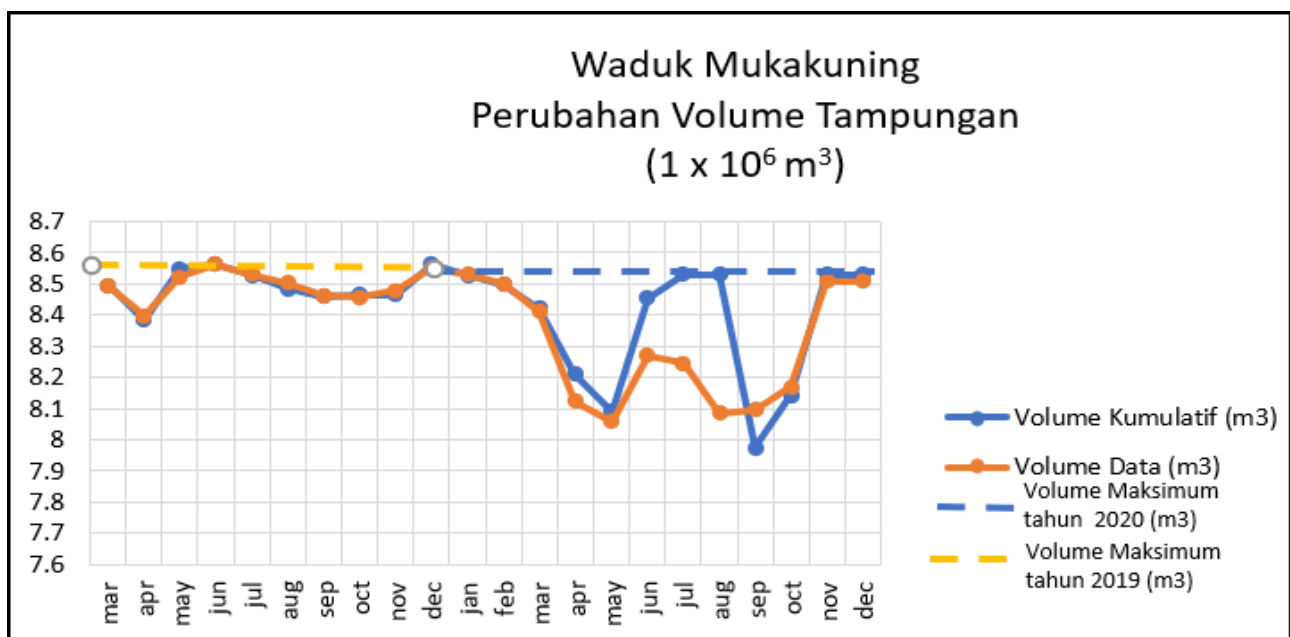
Tabel 14 Analisis Metode *Ripple* Waduk Mukakuning (1×10^6) lanjutan

19	Jul	2,970	2,3418	0,6283	4,5226	8,5298	8,5298	LIMPAS	0,5543
20	Ags	2,724	2,3451	0,3790	4,9016	8,5298	8,5298	LIMPAS	0,3790
21	Sep	1,726	2,2821	-0,5565	4,3451	7,9734	8,5298	-	-
22	Okt	2,517	2,3468	0,1699	4,5150	8,1433	8,5298	-	-
23	Nov	5,990	2,2885	3,7011	8,2161	8,5298	8,5298	LIMPAS	3,3145
24	Des	3,831	2,3378	1,4932	9,7093	8,5298	8,5298	LIMPAS	1,4932

Kemudian dapat dilihat pada gambar 1 & 2 perubahan volume Waduk Duriangkang dan Waduk Mukakuning selama rentang data.



Gambar 1 Perubahan Volume Tampungan Waduk Duriangkang



Gambar 2 Perubahan Volume Tampungan Waduk Mukakuning

Keandalan Waduk

Setelah dilakukan analisis dengan metode *ripple*, maka akan diketahui jumlah kegagalan kedua waduk untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat tersebut kemudian setelah itu dilakukan analisis dengan persamaan (8), Nilai Keandalan kedua waduk dapat dilihat pada tabel 15 :

Tabel 15 Keandalan Waduk Duriangkang & Mukakuning

Tahun	Waduk Duriangkang			Waduk Mukakuning		
	Kegagalan (%)	Kehandalan (%)	Vol, Efektif (1 x 10 ⁶ m ³)	Kegagalan (%)	Kehandalan (%)	Vol, Efektif (1 x 10 ⁶ m ³)
2019	0	100	73,2020	0	100	8,5624
2020	0	100	75,5932	0	100	8,529846

Dapat dilihat dari hasil kedua tabel tersebut bahwa tidak terjadi kegagalan kedua waduk untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat yang dialirinya,

Kemampuan IPA

Untuk mengetahui kemampuan kedua waduk untuk melayani di masa yang akan datang dapat lihat dari kemampuan IPA (Instalasi pengelolaan air) untuk melayani jumlah kebutuhan air saat ini dan yang akan datang, Pemakaian air berdasarkan dari pemakaian air masyarakat, sekolah, industri, rumah sakit dan puskesmas, Perhitungan kapasitas IPA dapat dilihat pada tabel 16, 17, 18, 19, 20 dan 21.

Besar proyeksi jumlah penduduk pada tahun 2025 dan 2030 menggunakan rumus 2

Tabel 16 Jumlah Kebutuhan Air Masyarakat Yang Dialiri Oleh Waduk Duriangkang

Tahun	Jumlah penduduk	Jumlah Kebutuhan Air(L/hari)	Debit kebutuhan air (L/s)
2020	664189	190	1460,60081
2025	975912	190	2146,101779
2030	1433934	190	3153,3276

Tabel 17 Debit Total Kebutuhan Air Waduk Duriangkang

Tahun	Debit kebutuhan air Masyarakat(L/s)	Debit Kebutuhan Rumah sakit (L/s)	Debit Kebutuhan Puskesmas (L/s)	Debit Kebutuhan Sekolah (L/s)	Debit Kebutuhan Industri (L/s)	Debit Total (L/s)
2020	1460,6008	3,4722	0,1852	11,2353	746,4150	2221,9085
2025	2146,1018	3,4722	0,1852	11,2353	746,4150	2907,4095
2030	3153,3276	3,4722	0,1852	11,2353	746,4150	3914,6353

Tabel 18 Kemampuan IPA Waduk Duriangkang

Tahun	Debit Total (L/s)	KAPASITAS IPA (L/s)	Dapat Terlayani
2020	2221,9085	3000	Tercukupi

2025	2907,4095	3000	Tercukupi
2030	3914,6353	3000	Tidak Tercukupi

Tabel 19 Kebutuhan Air Masyarakat Yang Dialiri Oleh Waduk Mukakuning

Tahun	Jumlah penduduk	Jumlah Kebutuhan Air(L/hari)	Debit kebutuhan air (L/s)
2020	86855	190	191
2025	127618	190	281
2030	187513	190	412

Tabel 20 Debit Total Waduk Mukakuning

Tahun	Debit kebutuhan air Masyarakat(L/s)	Debit Kebutuhan Rumah sakit (L/s)	Debit Kebutuhan Puskesmas (L/s)	Debit Kebutuhan Sekolah (L/s)	Debit Kebutuhan Industri (L/s)	Debit Total (L/s)
2020	191,0006	0	0,0232	0	393,15	584,1737
2025	280,643	0	0,0232	0	393,15	673,8157
2030	412,356	0	0,0232	0	393,15	805,5291

Tabel 21` Kemampuan IPA Waduk Mukakuning

Tahun	Debit Total (L/s)	KAPASITAS IPA (L/s)	Dapat Terlayani
2020	584,1737	310	Tidak Tercukupi
2025	673,8157	310	Tidak Tercukupi
2030	805,5291	310	Tidak Tercukupi

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, penulis dapat menarik kesimpulan berupa :

1. Dari hasil perhitungan dengan Metode *Ripple* dapat dilihat adanya fluktuasi volume tampungan kedua waduk, Untuk Waduk Duriangkang volume terendahnya sebesar 29,311,344,86 pada bulan may tahun 2020 m³ dan tertinggi pada bulan desember pada tahun 2020 sebesar 75,587,184,3 m³, Untuk Waduk Mukakuning volume terendahnya sebesar 7,973,369,45 m³ pada bulan may tahun 2020 dan tertinggi pada bulan desember tahun 2019 sebesar 8,562,401 m³,
2. Nilai keandalan Waduk Duriangkang berdasarkan hasil perhitungan, pada tahun 2019 adalah 100%, sedangkan pada tahun 2020 adalah 100%, Nilai keandalan Waduk Mukakuning berdasarkan hasil perhitungan, pada tahun 2019 adalah 100%, sedangkan pada tahun 2020 adalah 100%, Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa waduk tidak terjadi kegagalan dalam memenuhi kebutuhan air masyarakat yang dialirinya,
3. Dari hasil perhitungan jumlah kebutuhan air, Untuk Waduk Duriangkang pada tahun 2020 & 2025 masih dapat tercukupi oleh kemampuan IPA waduknya, tetapi pada tahun 2030 dengan jumlah kebutuhan air sebesar 3914,6353 L/s melebihi kemampuan IPA sebesar 3000 L/s sehingga pada tahun 2030 kebutuhan air tidak dapat

terpenuhi, Untuk Waduk Mukakuning kebutuhan air pada tahun 2020, 2025 & 2030 dengan kebutuhannya sebesar 584,1737 L/s, 673,8157 L/s & 805,5291 L/s melebihi kemampuan IPA Waduk Mukakuning sebesar 310 L/s sehingga pada tahun-tahun tersebut kebutuhan airnya tidak dapat terpenuhi,

4. Dari hasil perhitungan jumlah evaporasi kedua waduk berbeda tiap bulannya, Besar volume yang hilang terbesar pada Waduk Duriangkang adalah pada bulan agustus tahun 2019 sebesar 11,338,485,532 m³, untuk Waduk Mukakuning volume hilang terbesar adalah pada bulan agustus tahun 2019 sebesar 829806,533 m³, Untuk Waduk Duriangkang besarnya volume yang hilang akibat evaporasi cukup signifikan dikarenakan nilai evaporasi yang lebih besar dari pada pemakaian air baku waduk tersebut,

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penulis dapat memberikan beberapa saran yaitu :

1. Penelitian akan lebih akurat apabila rentang data yang tersedia semakin panjang dan ketersediaan data seperti komponen elevasi waduk tidak terjadi kekosongan data untuk penelitian-penelitian selanjutnya,
2. Melakukan survey sedimentasi pada kedua waduk agar penelitian-penelitian selanjutnya lebih akurat,
3. Mengsosialisasikan RWH (*Rain Water Harvesting*) ke masyarakat Kota Batam agar masyarakat mendapatkan alternatif lain jika terjadi mati air,
4. Memperbesar kapasitas IPA (Instalasi Pengelolaan Air) kedua waduk agar dapat memenuhi kebutuhan air masyarakat kedepan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2015). *Proyeksi Penduduk Kabupaten/Kota Provinsi Kepulauan Riau*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Kota Batam. (2018). *Kota Batam Dalam Angka 2018*. Batam: Badan Pusat Statistik.
- Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Buku Panduan Pengembangan Air Minum*. Jakarta: Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum.
- Hadjigeorgalis, E. (2009). A Place for Water Markets: Performance and Challenges. *Review of Agricultural Economics*, 50-67.
- Soemarto, C. D. (1999). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Suroso. (2006). Analisis Curah Hujan untuk Membuat Kurva Intensity Duration Frequency (IDF) di Kawasan Rawan Banjir Kabupaten Banyumas. *Jurnal Teknik Sipil Vol. 3*.
- Triatmojo. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wahyuni, A., & Junianto. (2017). Analisa kebutuhan air bersih kota batam pada tahun 2025. *Tapak*, 6(2), 116-126.
- Yosananto, Y., & Heri, S. (2017). Analisis Keandalan Tampungan Waduk Molintogupo untuk Kebutuhan Air Baku di Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. *Jurusan Teknik Sipil Itenas | No. 4 | Vol. 3*.

