

P -ISSN 2087 - 3611 E- ISSN 2580 - 8087 Terakreditasi Kemenristek Dikti http://jurnalth.pusair-pu.go.id

# ANALISIS KAPASITAS WADUK MUKAKUNING DAN DURIANGKANG DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN AIR BAKU KOTA BATAM

# ANALYSIS OF MUKAKUNING AND DURIANGKANG RESERVOIR'S CAPACITY TO FULFILL THE RAW WATER DEMAND FOR BATAM CITY

## Willy<sup>1)\*</sup> Robertus W. Triweko<sup>1)</sup> Bambang A.Riyanto<sup>1)</sup> Wanny K. Adidarma<sup>1)</sup> Doddi Yudianto<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan Jl. Ciumbuleuit No.94, Bandung, Indonesia \*Coresponden email: willyau.95@gmail.com

Diterima: 10 September 2020; Direvisi: 16 Oktober 2020; Disetujui: 28 Oktober 2020

#### **ABSTRACT**

Batam is the economic city center of Riau Province with city population is projected to reach approximately 1.8 million in 2025. In order to support the economic development, Batam City needs a reliable raw water supply. Mukakuning and Duriangkang reservoirs, which are cascade reservoirs, are the largest contributors for raw water supply in Batam City. This study aims to determine the maximum capacity of the two reservoirs to meet current and future raw water demand. Discharge in the watershed is calculated using daily HEC-HMS model calibrated using Duriangkang Reservoir water level data. The storage of Mukakuning and Duriangkang Reservoir are 6.3 and 106.1 million m³ respectively, equivalent to 39% and 77% of the runoff volume of each watershed, classifying the two reservoirs in the multi-year category. Using current operation, the two reservoirs can supply water up to 3.24 m³/s at 100% reliability, compared to existing capacity of 3.1 m³/s. The water loss is dominated by evaporation which reaches 32.6 million m³/year while spilled water is only 8.3 million m³/year. At 95% reliability, the reservoirs are almost at maximum capacity and able to supply 4.03 m³/s of raw water with the spilled water is only 0.4 million m³/year. Putting some efforts to optimising capacity by increasing normal water levels are not effective and lead to dam overtopping in Probable Maximum Flood condition. More effective way to increase water supply can be obtained by changing operational patterns. If the reservoir is in dry condition, determined by predicted SPI, the water supply is limited so that the discharge can be utilized for a longer period.

Keywords: Water Supply, Reservoir Simulation, Drought

#### **ABSTRAK**

Kota Batam merupakan pusat perekonomian Kepulauan Riau dengan jumlah penduduk diprediksi mencapai 1,8 juta jiwa pada tahun 2025. Untuk mendukung proses pembangunan Kota Batam, diperlukan pasokan air baku yang dapat diandalkan. Waduk Mukakuning dan Duriangkang yang terhubung secara kaskade merupakan penyumbang air baku terbesar di Kota Batam saat ini. Studi ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dari kedua waduk dalam memenuhi kebutuhan air baku saat ini dan kebutuhan di masa yang akan datang. Debit pada DAS dihitung menggunakan model HEC-HMS harian dengan kalibrasi terhadap elevasi muka air Waduk Duriangkang. Tampungan pada Waduk Mukakuning dan Duriangkang adalah 6,3 dan 106,1 juta m³. Tampungan tersebut setara dengan 39% dan 77% dari volume debit masing-masing DAS, mengklasifikasikan kedua waduk dalam kategori multi-year. Debit yang dapat dimanfaatkan dari kedua waduk adalah sebesar 3,24 m³/s dengan keandalan 100%, dibandingkan dengan kapasitas yang ada saat ini sebesar 3,1 m³/s. Luasnya area genangan mengakibatkan volume kehilangan air didominasi oleh evaporasi yang mencapai 32,6 juta m³/tahun sementara air yang limpas hanya 8,3 juta m³/tahun. Pada keandalan 95%, kedua waduk sudah mendekati kapasitas maksimum pada debit suplai 4,03 m³/s dengan debit air yang limpas hanya 0,4 juta m³/tahun. Upaya peningkatan kapasitas dengan menaikan muka air normal kurang efektif dan mengakibatkan bendungan overtopping dalam kondisi banjir maksimum boleh jadi. Peningkatan suplai air yang lebih efektif dapat diperoleh dengan perubahan pola operasi. Apabila waduk dalam kondisi kering, digambarkan dengan parameter SPI-12 di bawah nol, suplai air dibatasi agar debit dapat dimanfaatkan dalam jangka waktu lebih panjang.

Kata Kunci: Suplai Air, Simulasi Waduk, Kekeringan

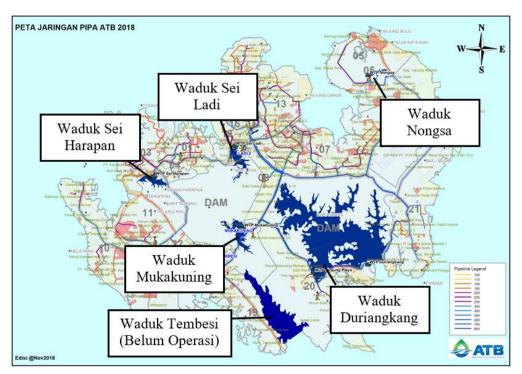
#### **PENDAHULUAN**

Air adalah salah satu sumber daya 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 kota terbesar di Provinsi Kepulauan Riau memiliki lokasi strategis yakni di jalur pelayaran internasional (Badan Pusat Statistik Kota Batam, 2018). Kota Batam memiliki jumlah penduduk 954 ribu jiwa pada tahun 2010 (Badan Pusat Statistik, 2015) dan diprediksi mencapai 1,8 juta jiwa pada tahun 2025 (Badan Pusat Statistik Provinsi Kepulauan Riau, 2017). Kebutuhan air baku Kota Batam diperkirakan sebesar 3.279 l/s pada tahun 2015 dan diprediksi meningkat sampai 6.630 l/s pada tahun 2025 (Wahyuni dan Juniato, 2017).

Kota Batam dengan luas daratan seluas 1038,84 km² yang terdiri atas beberapa pulau memiliki keterbatasan sumber daya air. Meskipun Kota Batam memiliki hujan tahunan cukup tinggi dengan hujan rata-rata 2300 mm/tahun, debit air di sungai-sungai di Pulau Batam tidak cukup besar. Air tanah juga bukan merupakan sumber yang dapat diandalkan karena kondisi geologi serta adanya indikasi intrusi air laut (Delinom dan Suriadarma, 2005).

Untuk memenuhi kebutuhan air baku, Pulau Batam saat ini memiliki lima waduk sebagai penampung air hujan yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air baku Kota Batam. Kelima waduk tersebut adalah Waduk Sei Harapan, Waduk Nongsa, Waduk Ladi, Waduk Mukakuning dan Waduk Duriangkang dengan lokasi seperti pada Gambar 1 (Adhya Tirta Batam, 2017b). Dua waduk yang berperan penting dalam penyediaan air bersih di Kota Batam adalah Waduk Mukakuning dan Duriangkang. Kedua waduk berada dalam satu Daerah Aliran Sungai, dimana Waduk Mukakuning berada di hulu Waduk Duriangkang dan membentuk sistem bendungan kaskade.

Waduk Duriangkang dibangun pada tahun 1992 dan selesai tahun 1995 serta memiliki volume tampungan efektif sebesar 106,1 juta m³, Waduk Duriangkang merupakan bendungan muara Indonesia. Waduk pertama di Mukakuning dibangun pada tahun 1990 dan memiliki volume tampungan efektif sebesar 6,3 juta m<sup>3</sup> (CDPP Consortium, 1991; Departemen Pekerjaan Umum. 1995). Kedua waduk tersebut berfungsi memenuhi kebutuhan air baku Kota Batam. Waduk Duriangkang dilengkapi oleh dua unit Instalasi Pengolahan Air (IPA) dengan kapasitas sebesar 2.200 l/s pada IPA Duriangkang dan 300 l/s pada IPA Tanjungpiayu. Waduk Mukakuning dilengkapi dengan IPA berkapasitas sebesar 600 l/s (Adhya Tirta Batam, 2017a).



Gambar 1 Waduk di Pulau Batam (Sumber: Adhya Tirta Batam, 2017a)

Dengan volume limpasan sebesar 130,7 juta m<sup>3</sup>/tahun, tampungan pada Waduk Duriangkang setara dengan 77% limpasan tahunan. Sementara pada Waduk Mukakuning, volume tampungan setara dengan 39% volume limpasan, vaitu sebesar 15,8 juta m<sup>3</sup>/tahun. Angka perbandingan antara tampungan dan limpasan yang lebih dari 30% membuat kedua waduk termasuk dalam kategori multi-year (Zhou, Shen, dan Li 1986). Hal tersebut berarti muka air pada waduk tidak berfluktuasi sampai ke kondisi normal setiap tahun. Pada sistem waduk multi-year, perlu dilakukan penelitian pada jangka waktu panjang untuk melihat dampak dari pergantian tahun kering dan basah Penelitian pada waktu pendek tidak akan menggambarkan variasi dalam operasi waduk pada berbagai kondisi (Wu dan Chen, 2012).

Pola operasi yang diberlakukan saat ini, berdasarkan pada data elevasi muka air, ditemukan air yang melimpas yang dapat dimanfaatkan. Meskipun terjadi kekeringan pada tahun 2015 dimana elevasi muka air turun sampai 3 m di bawah kondisi normal, operasi yang dijalankan saat ini masih dapat dioptimalkan agar air yang limpas ke laut dapat diminimalisir. Salah satu pola yang dapat diaplikasikan pada waduk *multi-year* adalah pengoperasian dengan mengurangi penyediaan air pada kondisi kering. Kekeringan pada suatu daerah dapat diperhitungkan menggunakan Standard Precipitation Index (SPI; Mckee dkk, 1993) atau Standard Runoff Index (SRI; Shukla dan Wood, 2008). Ketika indeks SPI/SRI rendah, pemenuhan kebutuhan air dikurangi (Bacalhau dkk, 2016).

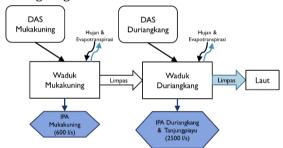
Studi ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dari Waduk Duriangkang dan Mukakuning dalam memenuhi kebutuhan air baku saat ini dan kebutuhan di masa yang akan datang. Dalam kajian ini akan dibahas beberapa upaya untuk memaksimalkan debit air baku dari kedua waduk yang berupa meningkatkan kapasitas tampungan, serta perubahan pola operasi pada kedua waduk.

#### **METODOLOGI**

Data hujan yang diperoleh pada studi ini bersumber dari Stasiun Meteorologi Hang Nadim dan Stasiun Hujan Duriangkang. Karena pada kedua stasiun didapati cukup banyak data hujan yang kosong, maka digunakan pula data hujan satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) 3B42 (Schumacher dan Houze, 2003). TRMM adalah misi yang dilakukan bersama antara Amerika Serikat dan Jepang untuk memperoleh data secara detail untuk curah hujan pada daerah tropis, yaitu antara 40° Lintang Utara sampai 40° Lintang Selatan. (Huffman dkk, 2019). Data hujan terlebih dahulu

diperiksa sebelum digunakan sebagai input dalam analisis selanjutnya.

Analisis keseimbangan air pada DAS Duriangkang dengan menggunakan data hujan, data DAS dan data waduk. Hasil yang diperoleh kemudian dikalibrasi dengan data elevasi muka air pengamatan. Model yang digunakan dalam kajian ini adalah model HEC-HMS (US Army Corps of Engineers, 2018) dengan interval waktu harian. Kehilangan air disimulasikan dengan metode Deficit and Constant, transformasi disimulasikan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik Soil Conservation Service (SCS), dan aliran dasar disimulasikan dengan metode Recession. Parameter model berupa initial deficit, maximum deficit dan constant rate pada kehilangan air serta initial discharge, recession constant dan ratio to peak pada aliran dasar dikalibrasi terhadap elevasi muka air Waduk Duriangkang.



**Gambar 2** Skematisasi Tata Air Waduk Mukakuning dan Duriangkang

Skema model ketersediaan air dapat dilihat pada Gambar 2. Debit pada DAS Mukakuning beserta hujan pada area genangan menjadi inflow Waduk Mukakuning. Debit outflow Waduk Mukakuning adalah debit suplai, evaporasi dan air yang limpas masuk ke Waduk Duriangkang. Sementara pada Waduk Duriangkang, air yang limpas dari waduk terbuang ke laut. Dalam kalibrasi, parameter yang digunakan dalam menilai kedekatan antara hasil model dengan pengamatan adalah nilai koefisien Nash-Sutcliffe (NS), Root Mean Square Error (RMSE), koefisien korelasi, dan persen bias. Nilai RMSE berkisar antara 0 sampai ∞, dimana nilai 0 mengindikasikan data dan pengamatan sama persis. Persamaan digunakan dalam menghitung RMSE adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - P_i)^2}{n}}$$

Dimana:

Oi : nilai pengamatan Pi : nilai prediksi model N : jumlah data

Sementara NS memiliki nilai berkisar antara -∞ sampai 1, dimana nilai 1 mengindikasikan data

dan pengamatan sama persis. Parameter yang diutamakan dalam kalibrasi adalah NS, dengan nilai NS apabila di atas 0,8 berarti model dapat menggambarkan kondisi nyata dengan baik (Ritter dan Muñoz-Carpena, 2013). Persamaan yang digunakan dalam menghitung NS adalah:

$$NS = 1 - \left(\frac{RMSE}{SD}\right)^2$$

Dimana:

SD : deviasi standar

Hasil analisis keseimbangan air tersebut dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas suplai maksimum dari Waduk Mukakuning Duriangkang dalam memenuhi kebutuhan air baku Kota Batam ke depannya. Analisis juga dilakukan dengan menggunakan dua alternatif untuk meningkatkan kemampuan penyediaan air pada kedua waduk. Pertama, mengkaji peningkatan diperoleh penyediaan air yang meningkatkan volume air waduk. Peningkatan volume air waduk dapat dilaksanakan dengan menutup pelimpah dengan pintu sehingga muka air normal bendungan meningkat. Kedua, dilakukan kajian mengenai perubahan pola operasi.

Persamaan regresi yang digunakan dalam memprediksi nilai SPI adalah sebagai berikut:

$$y = ax_{n-1} + bx_{n-2} + \dots + px_n + q \dots (1)$$

Dimana:

 $\begin{array}{ll} y & : \mbox{variabel tidak bebas} \\ x_{n\text{-}1}, x_{n\text{-}2}, ... x_n & : \mbox{variabel bebas} \end{array}$ 

a,b,.....p : koefisien dari variabel bebas

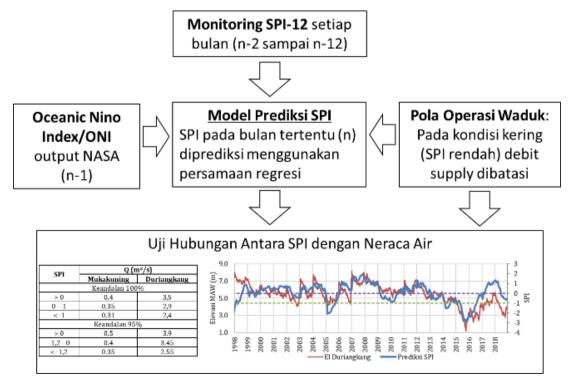
: konstanta

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

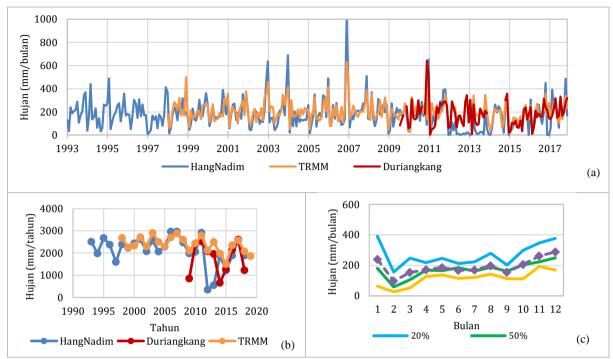
#### Pemilihan Data Hujan

Pada Gambar 4 dapat dilihat adanya data hujan yang tidak wajar pada kedua stasiun hujan. Garis biru pada Gambar 4c menunjukkan hujan bulanan pada 20 percentil, garis hijau menunjukkan hujan bulanan median (50 percentil), garis kuning menunjukkan hujan bulanan pada 80 percentil, dan garis ungu putus-putus menunjukkan hujan ratarata bulanan. Data tidak wajar adalah berupa data yang sangat kecil pada tahun 2012 dan 2013 Stasiun Hang Nadim serta adanya beberapa bulan dengan data hujan yang kosong pada tahun 2014 di Stasiun Duriangkang serta pada tahun 2014-2017 di Stasiun Hang Nadim.

Berdasarkan kajian terdahulu, data hujan TRMM pada DAS Duriangkang dan Mukakuning memiliki kemiripan yang tinggi dengan data stasiun hujan. Dalam kajian debit kontinu, data TRMM dapat digunakan dengan hasil yang cukup baik meskipun tidak dikoreksi (Willy dkk, 2020). Seperti ditunjukkan pada Gambar 4c, hujan bulanan ratarata pada lokasi studi memiliki besaran yang merata sepanjang tahun sehingga pola operasi pada lokasi studi akan sulit dilakukan dengan data tahunan.



Gambar 3 Skematisasi model neraca air berdasarkan SPI



**Gambar 4** Ketersediaan Data Curah Hujan di Pulau Batam (a) bulanan, (b) tahunan (c) bulanan rata-rata (Sumber: BWS Sumatera IV, NASA)

#### Kalibrasi Model

Kalibrasi yang dilakukan pada model HEC-HMS menghasilkan nilai parameter kehilangan air initial deficit sebesar 40 mm, maximum deficit 140 mm dan constant rate 0,45 mm. Sementara parameter aliran dasar hasil kalibrasi adalah initial discharge 0,01 m³/s/km², recession constant 0,3 dan ratio to peak 0,3. Nilai tersebut menunjukkan infiltrasi dan aliran dasar pada DAS Mukakuning dan Duriangkang sangat kecil. Hal tersebut sejalan dengan hasil kajian Delinom dan Suriadarma (2005) yang menunjukkan bahwa tanah di Pulau Batam memiliki kemampuan tampungan air yang rendah.

Perbandingan hasil simulasi elevasi muka air model HEC-HMS yang telah dikalibrasi dan data pengamatan ditunjukkan pada Gambar 5. Kalibrasi dengan data tahun 2009-2018 menghasilkan nilai parameter NS sebesar 0,888 RMSE 0,3 m; koefisien korelasi 0,948 dan persen bias -1,49%. Nilai NS yang mendekati 0,9 menandakan model dapat merepresentasikan kondisi nyata dengan baik. Pada model HEC-HMS, diketahui bahwa debit rata-rata pada DAS Mukakuning dan DAS Duriangkang secara berturut-turut adalah 0,48 m³/s dan 3,98 m³/s. Volume air tahunan pada Waduk Mukakuning adalah 15,8 juta m³ dan pada Waduk Duriangkang sebesar 130,7 juta m³.

### Kondisi Penyediaan Waduk Mukakuning dan Duriangkang Saat Ini

Saat ini, kedua waduk menyediakan air baku melalui tiga IPA dengan kapasitas total 3.100 l/s (Tanjung Piayu 300 l/s, Duriangkang 2.200 l/s, dan Mukakuning 600 l/s). Dibandingkan dengan kebutuhan air dari studi Wahyuni dan Juniato (2017) Waduk Mukakuning dan Duriangkang dapat memenuhi 75% kebutuhan air baku Kota Batam dengan asumsi kehilangan air 20%.

Pola operasi yang dijalankan saat ini adalah dengan mengambil air secara konstan tanpa memperhatikan elevasi muka air waduk maupun kondisi lainnya. Dengan pola tersebut, masih ada air yang limpas dari Waduk Duriangkang sebesar 41,29 iuta m<sup>3</sup>/tahun. Volume air vang hilang dari evaporasi pada area genangan waduk adalah sebesar 36,91 juta m³/tahun sehingga total kehilangan air pada kedua waduk adalah 78,2 juta m³/tahun. Volume air yang terpakai adalah hanya sebesar 62,94 juta m³/tahun atau setara dengan hanya 45% dari volume air tahunan. Pada Gambar 5 juga dapat dilihat elevasi muka air khususnya pada tahun 2011-2014 dimana masih banyak muka air yang berada di atas elevasi pelimpah. Oleh karena itu pemanfaatan Waduk Duriangkang masih belum maksimal dan dapat ditingkatkan.

#### Penyediaan Waduk Mukakuning dan Duriangkang Maksimum

Gambar 6a menunjukkan hasil simulasi dengan debit suplai keandalan 95%. Dalam simulasi diketahui bahwa debit suplai dari kedua waduk adalah 4,03 m³/s. Volume air yang limpas dalam kondisi ini berkurang, yakni hanya 0,4 juta m³/tahun dan kejadian limpas hanya terjadi pada awal simulasi. Volume air yang hilang akibat evaporasi adalah 22,9 juta m³/tahun dengan volume suplai air 127,1 juta m³/tahun atau setara dengan persentase penggunaan air 85%. Dalam simulasi didapati bahwa kegagalan terkonsentrasi pada tahun 2014-2016. Sepanjang 3 tahun tersebut, kebutuhan air gagal dipenuhi sepanjang 309 hari atau 28% sepanjang waktu.

Bukti bahwa kedua waduk termasuk dalam kategori *multi-year* adalah berupa sulitnya elevasi muka air waduk kembali ke elevasi normal. Elevasi muka air Waduk Duriangkang tidak kembali ke elevasi 7 m sejak tahun 2008 pada simulasi 95%. Pada simulasi dengan keandalan 100% seperti ditunjukkan Gambar 6b, Waduk Duriangkang belum dapat kembali ke elevasi 7 m sejak tahun 2014. Meskipun tahun 2017 merupakan tahun basah, waduk tidak dapat terisi kembali sampai ke elevasi muka air normal.

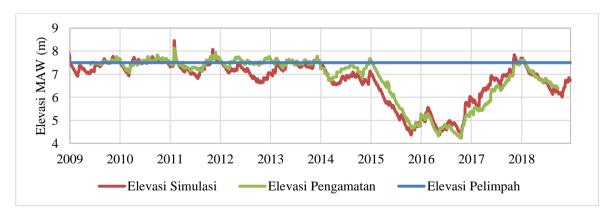
Apabila digunakan keandalan 100%, debit rata-rata yang dapat dimanfaatkan dari kedua waduk adalah 3,24 m³/s. Pada kondisi tersebut, total kehilangan air dari kedua bendungan adalah 40,9 juta m³/tahun yang terdiri atas 32,6 juta

m³/tahun air melalui evaporasi pada area genangan dan 8,3 juta m³/tahun air limpas ke laut.

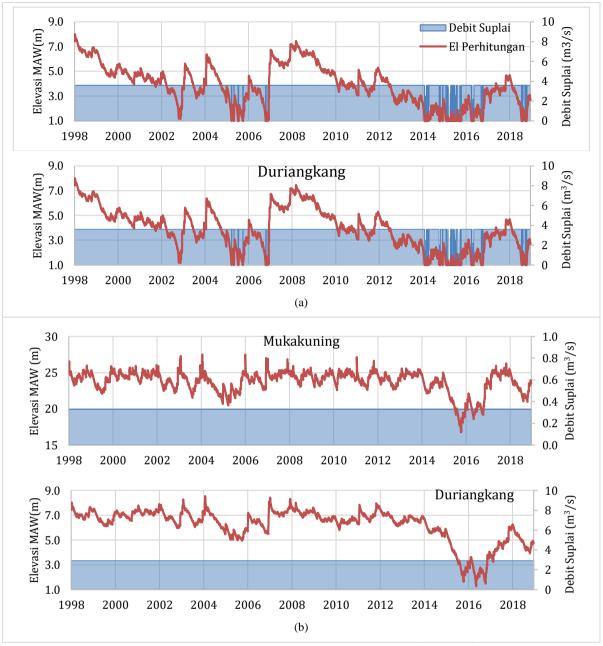
#### Upaya Peningkatan Kapasitas Tampungan Waduk

Dalam upaya untuk menambah volume tampungan pada kedua waduk, dilakukan simulasi dengan peningkatan Muka Air Normal (MAN). Pada operasi yang dilaksanaan saat ini, MAN Waduk Duriangkang adalah pada elevasi +7,5 m dan MAN Waduk Mukakuning pada elevasi +20 m. Dalam kajian ini peningkatan dicoba dalam tiga alternatif, yakni peningkatan MAN Waduk Duriangkang 1 m, peningkatan MAN Waduk Mukakuning 1 m, dan peningkatan MAN kedua waduk 1 m. Besaran 1 m ditentukan karena kedua waduk memiliki tinggi jagaan dari pelimpah sampai puncak sebesar 2,5 m untuk Waduk Duriangkang dan 3,75 m untuk Waduk Mukakuning.

Upaya meningkatkan muka air normal Waduk Duriangkang dari elevasi 7,5 m menjadi 8,5 m dapat menambah volume tampungan sebesar 26,5 juta m<sup>3</sup>. Hasilnya, diperoleh peningkatan debit suplai sebesar 110 l/s pada keandalan 100% dan hanya 20 l/s pada keandalan 95%. Peningkatan semakin kecil pada keandalan semakin kecil seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Hal tersebut terjadi karena pada keandalan 95%, debit air yang limpas pada kondisi eksisting sudah mendekati nol. Peningkatan muka air normal ini berdampak pada amannya bendungan. Bendungan Duriangkang terancam oleh *overtopping* setinggi 7 cm.



Gambar 5 Perbandingan Elevasi Muka Air Dari Hasil Simulasi dan Pengamatan



Gambar 6 Hasil Simulasi Elevasi Muka Air Waduk Dengan Tingkat Keandalan (a) 95% (b) 100%

Upaya meningkatkan kapasitas dengan muka air normal Bendungan Mukakuning dari elevasi 25 m menjadi 26 m dapat menambah tampungan sebesar 1 juta m³. Hasilnya, diperoleh peningkatan debit suplai sebesar 30 l/s pada keandalan 100% dan hanya 10 l/s pada keandalan 95%. Dengan peningkatan elevasi muka air normal tersebut, Bendungan Mukakuning masih aman dengan tinggi jagaan kondisi *Probable Maximum Flood* (PMF) masih 1,46 m. Akan tetapi peningkatan debit penyediaan air dari kedua waduk kecil karena peningkatan suplai air di Waduk Mukakuning mengakibatkan pengurangan inflow ke Waduk Duriangkang.

Berdasarkan kajian oleh Wicaksono dkk (2018), terdapat dua solusi untuk mengamankan Bendungan Duriangkang dari banjir. Solusi pertama adalah dengan menurunkan muka air normal waduk. Pengendalian muka air dapat dilaksanakan dengan mengoperasikan pintu bottom outlet yang awalnya berfungsi untuk menurunkan tingkat salinitas air. Dengan penurunan muka air normal maka volume tampungan banjir akan meningkat. Akan tetapi, penurunan muka air normal ini berdampak pada penurunan kapasitas debit penyediaan air.

Solusi kedua dalam meningkatkan keamanan bendungan dari banjir tanpa dampak pengurangan

kapasitas debit suplai adalah dengan membangun parapet sepanjang puncak bendungan utama serta bendungan pelana. Bendungan terancam oleh overtopping setinggi 7 cm. Untuk mengatasi ini, diperlukan pembangunan parapet setinggi 85 cm sepanjang puncak bendungan, dibandingkan pada kondisi eksisting yang hanya memerlukan parapet 35 cm (Wicaksono dkk, 2018).

#### Pola Operasi Waduk Berdasarkan Elevasi Muka Air Waduk

Pola operasi yang umum digunakan adalah dengan membatasi debit penyediaan air ketika elevasi muka air pada bendungan rendah. Tujuannya adalah agar air yang ada dapat memenuhi kebutuhuan sepanjang musim kering sehingga tidak terjadi kelangkaan air. Elevasi dan besaran debit yang dikeluarkan merupakan hasil *trial and error* sehingga diperoleh debit penyediaan air maksimal yang dalam kajian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan pola tersebut, debit rata-rata yang dapat dimanfaatkan pada keandalan 100% adalah 3,48 m³/s; meningkat 240 l/s dibandingkan dengan pola operasi eksisting.

**Tabel 1** Pola Operasi Berdasarkan Elevasi Muka Air Waduk

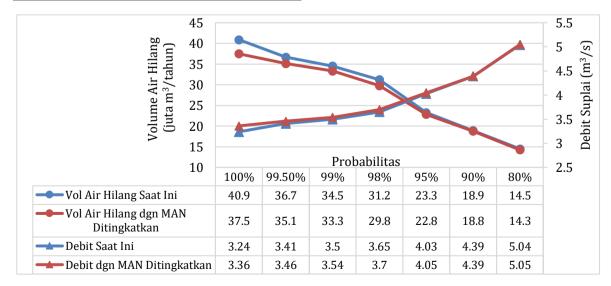
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				
Mukakuning		Duriangkang		
Q (m <sup>3</sup> /s)	Elev (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Elev (m)	
Keandalan 100%				
0,45	> 24 m	3,7	> 6.5 m	
0,35	20 m - 24 m	3,1	5 m - 6.5 m	
0,25	< 20 m	2,5	< 5 m	
Keandalan 95%				
0,50	> 22 m	4	> 5 m	
0,48	20 m - 22 m	3,8	4 m - 5 m	
0,42	< 20 m	3,5	< 4 m	

Simulasi dengan tingkat keandalan 95% menghasilkan rata-rata debit yang dapat dimanfaatkan sepanjang 1998-2019 sebesar 4,09 m³/s. Debit rata-rata tersebut meningkat 60 l/s dibandingkan pada pola eksisting. Peningkatan tersebut tidak signifikan mengingat bahwa pada simulasi dengan pola eksisting debit air yang limpas sudah mendekati nol. Kegagalan pada tahun kering 2014-2016 juga masih cukup signifikan dimana kegagalan terjadi 288 hari.

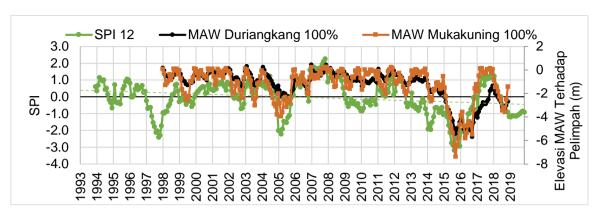
#### Pola Operasi Waduk Berdasarkan SPI-12

Nilai SPI-12 memiliki nilai korelasi yang tinggi jika dibandingkan dengan elevasi muka air Waduk Mukakuning dan Duriangkang seperti ditunjukkan **Gambar 8**. Nilai korelasi antara SPI-12 dan elevasi muka air adalah 0,68 untuk Waduk Mukakuning dan 0,62 untuk Waduk Duriangkang. Oleh karena itu, dapat dikatakan apabila nilai SPI-12 mengalami penurunan, elevasi muka air kedua waduk juga mengalami penurunan. SPI dapat dijadikan dasar dalam operasi waduk apabila nilai SPI dapat diprediksi dengan baik.

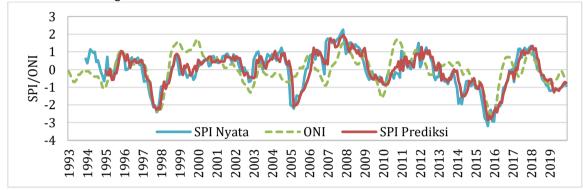
Kajian mengenai kekeringan menggunakan SPI-12 menunjukkan kekeringan paling parah sepanjang data hujan adalah pada tahun 2015 dengan nilai minimum -3,19. Diketahui juga adanya trend dimana sekarang kekeringan terjadi lebih sering dan dengan intensitas lebih parah seperti ditunjukkan pada**Gambar 8**. Kekeringan tahun 1997 dan 2005 terpisah sepanjang 7 tahun sementara 3 peristiwa kekeringan terakhir terpisah masing-masing sepanjang 3 tahun.



Gambar 7 Peningkatan Debit Penyediaan Air Dengan MAN kedua waduk dinaikkan 1



Gambar 8 Perbandingan Elevasi Muka Air Simulasi 100% dan SPI-12



Gambar 9 SPI Pengamatan, nilai ONI dan Prediksi Nilai SPI-12

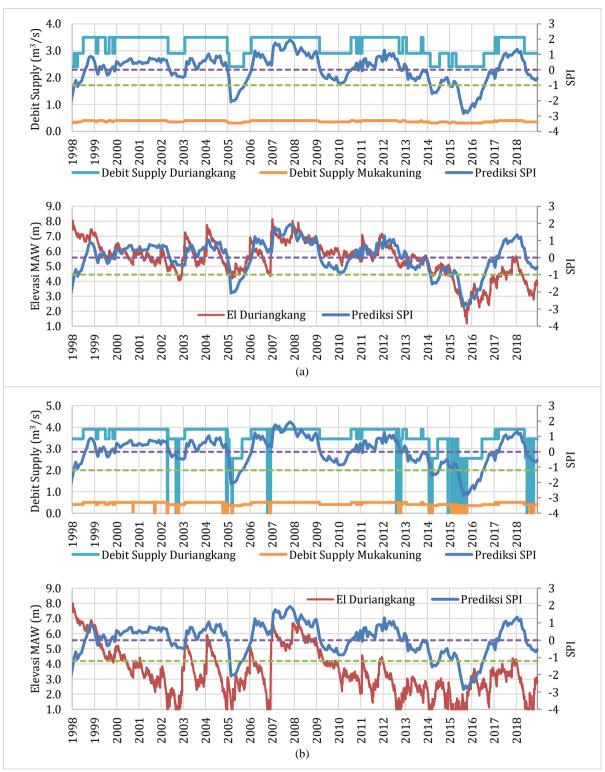
Tabel 2 Pola Operasi Berdasarkan SPI

SPI	Q (m <sup>3</sup> /s)			
3P1	Mukakuning	Duriangkang		
Keandalan 100%				
> 0	0,4	3,5		
0 - 1	0,35	2,9		
< -1	0,31	2,4		
Keandalan 95%				
> 0	0.5	3.9		
-1,2 - 0	0.4	3.45		
< -1,2	0.35	2.55		

Gambar 9 menunjukkan hasil prediksi SPI-12 dengan persamaan regresi dimana nilai SPI-12 dapat diprediksi dengan cukup baik secara grafis. RMSE antara nilai SPI-12 nyata dan prediksi secara keseluruhan adalah sebesar 0,439 dan nilai korelasi adalah 0,905. Jika dibandingkan secara bulanan, maka nilai SPI bulan Januari dan Februari memiliki prediksi paling jelek sementara bulan Agustus dan September memiliki nilai prediksi paling baik. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Lestari dkk (2018) dimana pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dan September-

Oktober-November (SON) nilai hujan memiliki korelasi yang tinggi dengan indeks iklim IOD dan ENSO.

Dengan nilai SPI-12 prediksi tersebut, diberlakukan sistem debit suplaiyang didasarkan pada batasan nilai SPI. Debit suplai pada berbagai kondisi SPI-12 yang ditunjukkan pada Tabel 2 merupakan hasil trial and error. Apabila nilai SPI-12 di atas nol, maka suplai maksimum sementara apabila nilai SPI di bawah nol, debit suplai dibatasi.Hasil simulasi dengan pola operasi bedasarkan tabel tersebut dapat dilihat pada Gambar 10. Debit suplai rata-rata kedua bendungan meningkat sebesar 310 l/s menjadi 3.550 l/s pada keandalan 100%. Pada keandalan 95%, diperoleh peningkatan debit sebesar 60 l/s menjadi 4.090 l/s serta debit. Dibandingkan dengan alternatif lain, pola operasi berdasarkan SPI-12 ini dapat meningkatkan debit paling besar. Di samping itu, kegagalan pada simulasi keandalan 95% tidak terkonsentrasi pada tahun 2014-2016. Penggunaan pola berdasarkan SPI yang dapat mengurangi kegagalan pada 3 tahun dengan keandalan 82% dari waktu atau kegagalan sebanyak 196 hari.



Gambar 10 Hasil Simulasi Waduk dengan Pola Berdasarkan SPI (a) Keandalan 100% (b) Keandalan 95%

#### KESIMPULAN

Studi ini mengkaji kapasitas dari Waduk Mukakuning dan Duriangkang dalam memenuhi kebutuhan air baku Kota Batam. Pada kondisi saat ini, debit maksimum yang dapat dimanfaatkan dengan adanya tampungan pada kedua waduk adalah 3240 l/s (100%) atau 4030 l/s (95%)

dibandingkan kapasitas yang ada saat ini sebesar 3100 l/s. Dalam simulasi, kehilangan air didominasi oleh evapotranspirasi, dan pada keandalan 95% volume air yang limpas ke laut sudah mendekati nol. Karena itu, upaya meningkatkan debit suplai pada keandalan 95% tidak memberikan dampak positif. Kegagalan

dalam suplai terkonsentrasi pada peristiwa kekeringan ekstrim sepanjang tahun 2014-2016.

Peningkatan kapasitas tampungan pada kedua waduk memberikan peningkatan debit suplai yang tidak signifikan serta mengakibatkan Bendungan Duriangkang terancam *overtopping* pada kondisi PMF. Dalam kajian diketahui bahwa nilai SPI memiliki korelasi yang tinggi dengan elevasi muka air waduk, sehingga SPI dapat dijadikan salah satu dasar dalam penentuan pola operasi waduk. Dalam pola operasi yang disarankan, apabila bendungan dalam kondisi kering, debit suplai dibatasi. Dengan pola tersebut, diperoleh peningkatan kapasitas debit rata-rata sebesar 310 l/s (100%) atau 60 l/s (95%). Pada simulasi keandalan 95%, pola berdasarkan SPI dapat mengurangi kegagalan pada tahun kering 2014-2016.

#### **UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Balai Wilayah Sungai Sumatera IV dan PT. Adhya Tirta Batam yang telah menyediakan data yang menunjang penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adhya Tirta Batam (2017a) *Instalasi Pengolahan Air*. Tersedia pada:
  - http://www.atbbatam.com/?md=view&id=1-17070500054.
- Adhya Tirta Batam (2017b) *Waduk Pulau Batam*. Tersedia pada:
  - http://www.atbbatam.com/?md=view&id=1-17070500055.
- Adidarma, W. K. (2015) Model Pendukung Penanggulangan Kekeringan Berbasis Disaster Risk Management. Dunia Pustaka Jaya.
- Adidarma, W. K. et al. (2019) "Drought Mitigation in Limboto Bulango Bone River Basin in Gorontalo Province," Dipresentasikan pada HATHI 6th International Seminar on Advancement of Water Resources Management in a Global Challenge, Kupang.
- Bacalhau, J. R., Neto, A. R. dan Montenegro, S. M. G. L. (2016) "Water supply reservoir operation in relation to climate variability: Pirapama river basin (pernambuco-Brazil)," Journal of Urban and Environmental Engineering, 10(2), 279– 287.
  - doi: 10.4090/juee.2016.v10n2.279287.
- Badan Pusat Statistik (2015) "Proyeksi Penduduk Kabupaten/Kota Provinsi Kepulauan Riau 2010-2020". Jakarta: Badan Pusat Statistik.

- Badan Pusat Statistik Kota Batam (2018) *Kota Batam Dalam Angka 2018*. Batam: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Kepulauan Riau (2017) "Proyeksi Penduduk Kabupaten/Kota Provinsi Kepulauan Riau 2015-2025". Tanjungpinang: Badan Pusat Statistik Kepulauan Riau.
- CDPP Consortium (1991) Duriangkang Water Supply Scheme Final Report.
- Delinom, R. M. dan Suriadarma, A. (2005) *Potensi dan Kualitas Air Tanah di Pulau Batam*. Jakarta: LIPI Press.
- Departemen Pekerjaan Umum (1995) *Bendungan Besar di Indonesia*. Jakarta: Yayasan Badan
  Penerbit Pekerjaan Umum.
- Hadjigeorgalis, E. (2009) "A Place for Water Markets:

  Performance and Challenges," Review of
  Agricultural Economics, 31, 50–67.
  doi: 10.2307/30224846.
- Huffman, G. J., Pendergrass, A. dan National Center for Atmospheric Research Staff (Eds) (2019) 
  The Climate Data Guide: TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission. Tersedia pada: 
  https://climatedataguide.ucar.edu/climatedata/trmm-tropical-rainfall-measuringmission.
- Lestari, D. O., Sutriyono, E. dan Iskandar, I. (2018)

  "Respective Influences of Indian Ocean Dipole
  and El Niño- Southern Oscillation on
  Indonesian Precipitation Datasets and
  Methods," Journal of Mathematical and
  Fundamental Sciences, 50(3), hal. 257–272.
  doi: 10.5614/j.math.fund.sci.2018.50.3.3.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J. dan Kleist, J. (1993) "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales," *Eighth Conference* on Applied Climatology, 179–184.
- Ritter, A. dan Muñoz-Carpena, R. (2013) "Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments," *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 480, 33–45. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.12.004.
- Schumacher, C. dan Houze, R. A. (2003) "Stratiform rain in the tropics as seen by the TRMM precipitation radar," *Journal of Climate*, 16(11), 1739–1756. doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<1739:SRITTA>2.0.CO;2.
- Shukla, S. dan Wood, A. W. (2008) "Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought," *Geophysical Research Letters*, 35(2), 1–7. doi: 10.1029/2007GL032487.

- US Army Corps of Engineers (2018) "Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual. Version 4.3. Hydrologic Engineering Centre.," Hydrologic Engineering Centre, (Version 4.3), 640. Tersedia pada:
  - https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS Users Manual 4.3.pdf.
- Wahyuni, A. dan Juniato (2017) "Analisa Kebutuhan Air Bersih Kota Batam Pada Tahun 2025," *Tapak*, 6(2), 116–126.
- Wicaksono, A., Willy dan Riyanto, B. A. (2018)
  "Evaluation of Capacity of Duriangkang
  Estuary Dam to Control Flood Flow."
  Dipresentasikan pada EAS Workshop on
  Estuary Harnessing, Protection and
  Management, Guangzhou.

- Willy et al. (2020) "Application of TRMM Data to the Analysis of Water Availability and Flood Discharge in Duriangkang Dam," Journal of the Civil Engineering Forum, 6(1), hal. 79. doi: 10.22146/jcef.51521.
- Wu, Y. dan Chen, J. (2012) "An operation-based scheme for a multiyear and multipurpose reservoir to enhance macroscale hydrologic models," *Journal of Hydrometeorology*, 13(1), hal. 270–283. doi: 10.1175/JHM-D-10-05028.1.
- Zhou, Z. C., Shen, X. S. dan Li, T. (1986) "Planning of Water Conservancy and Water Energy (in Chinese)," China Water Resources and Electricity Press, hal. 175.