

ANALISIS KETERSEDIAAN DAN KEBUTUHAN AIR BAKU KOTA BALIKPAPAN STUDI KASUS: WADUK MANGGAR, KOTA BALIKPAPAN

Riyan Benny Sukmara^{*}, Jarot Jaya Pratama¹, Ariyaningsih²

¹Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

²Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

email:bennysukmara@itk.ac.id*

Abstrak: Permasalahan ketersediaan air dikota Balikpapan menjadi isu yang belum terselesaikan. Dengan jumlah penduduk sebesar 736.807 jiwa (tahun 2015), waduk Manggar sebagai pemasok utama kebutuhan air penduduk hanya mampu mensuplai 73% dari total kebutuhan air di Balikpapan. Dengan tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 4.3% dalam rentang waktu 2014-2015, maka masalah penyediaan air baku menjadi kekhawatiran yang sangat krusial dimasa mendatang. Oleh karena itu, maka perlu adanya sebuah kajian untuk melihat kemampuan waduk ini dalam pemenuhan kebutuhan air dimasa mendatang. Metode yang digunakan adalah menggunakan proyeksi 20 tahun kedepan dengan perkiraan jumlah penduduk ditahun 2035 sebesar 3.585.168 jiwa dengan kebutuhan air sebesar 319.464.28 m³. Hasil analisa diketahui bahwa Waduk Manggar masih mampu memenuhi 60,7% dari total kebutuhan air Kota Balikpapan pada tahun 2035.

Kata Kunci: Kebutuhan Air Baku, Kota Balikpapan, Waduk Manggar

Abstract: The water supply issue in Balikpapan City becomes an unsolved problem. With a total population about 763.807 inhabitants (in year 2015), Manggar Reservoir as the main raw water supply of Balikpapan only adequate to supply 73% of total water need. With growth rate reach 4.3% in the range of 2014 to 2015, then the raw water supply becomes a crucial worry in the future. Due to that problem, we need an analysis to predict the ability of the reservoir in the future raw water supply. The analysis is used 20 years projection with the predicted population in 2035 is 3.585.168 inhabitants and raw water needs approximately 319.464.282 m³. The result shows that Manggar Reservoir only can supply 60,7% of total Balikpapan raw water needs in 2035.

Keywords: Raw Water need, Balikpapan City, Manggar Reservoir

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk, urbanisasi, pengembangan pertanian yang intensif dan pertumbuhan industry serta kebutuhan lingkungan akan meningkatkan kebutuhan air dan lahan [1]. Daerah perkotaan menjadi subjek utama dari dampak urbanisasi yang massif. Sehingga daerah perkotaan menjadi rentan terhadap penyediaan air, dimana kerentanan itu merepresentasikan kegagalan dari proses penyediaan air yang tidak mampu berjalan simultan untuk memenuhi kebutuhan pengguna, baik dari kebutuhan air penduduk, lingkungan ataupun sector pertanian [2]. Maka, tantangan terbesar dari sebuah kota adalah untuk menjamin dan menyediakan pelayanan untuk penduduk yang terus meningkat [3], termasuk penyediaan

air. Secara global, populasi penduduk perkotaan telah meningkat sebesar 30% dari tahun 1950 hingga melebihi 50% pada tahun 2010 [4], sehingga dengan bertambahnya penduduk dikota, maka upaya pemenuhan kebutuhan air perkotaan menjadi masalah utama yang semakin menantang [5]. Indonesia telah menjadi negara yang memiliki pengalaman terkait dengan permasalahan pemenuhan air karena keberagaman iklim, kondisi geografis dan musim kering. Berdasarkan data dari WHO/UNICEF *Joint Monitoring Programme* (JMP) mengestimasi hanya 59% dari penduduk Indonesia yang memiliki akses dari penyediaan air [6]. Kota Balikpapan adalah salah satu kota yang memiliki permasalahan terkait dengan pemenuhan kebutuhan air, dimana masalah ini

menjadi hal yang belum terselesaikan hingga saat ini.

Dengan kondisi eksisting saat ini, Kota Balikpapan masih bertumpu pada Waduk Manggar untuk memenuhi kebutuhan pasokan air sebesar 73 % dari total kebutuhan air. Sedangkan untuk memenuhi sisanya, Balikpapan memanfaatkan sumur dalam dan beberapa sumber air permukaan lainnya, diantaranya Sumur dalam Kampung Damai, sumur dalam Gunung Sari, sumur dalam Tritip, sumur dalam Manggar, sumur dalam Prapatan dan zona air minum prima (ZAMP) Korpri.

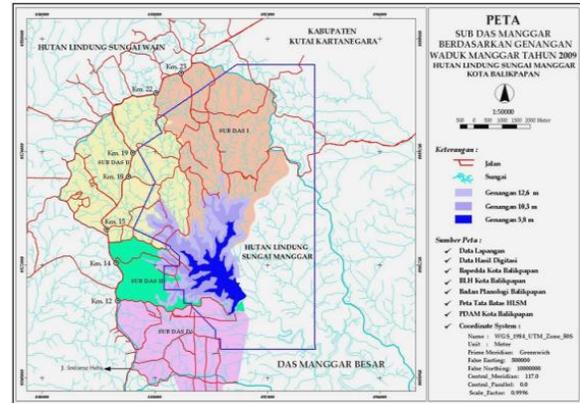
Berdasarkan data dari PDAM Kota Balikpapan, diketahui bahwa kapasitas efektif dari Waduk Manggar sendiri adalah 14.3 juta m³ (data tahun 2010) dengan luas genangan normal pada elevasi 10,3 m mencapai 403 Ha dan luas genangan pada saat air banjir mencapai 446,5 Ha pada elevasi 13,4 m.

Dengan jumlah penduduk sebesar 736.807 jiwa [7] dan tingkat pertumbuhan penduduk yang mencapai 4,3% dalam rentang waktu 2014-2015, maka kebutuhan air dimasa mendatang menjadi kekhawatiran yang sangat krusial.



Gambar 1. Jumlah penduduk Kota Balikpapan

Oleh karena itu, tujuan dari dilakukannya studi ini adalah untuk mengetahui kemampuan waduk manggar dalam memenuhi kebutuhan air Kota Balikpapan dimasa mendatang. Proyeksi masa mendatang digunakan proyeksi 20 tahun (tahun 2035).



Gambar 2. Lokasi Studi (Waduk Manggar Balikpapan)

2. METODE

Pada kajian ini, metode yang digunakan berupa analisis jumlah kebutuhan air untuk proyeksi 20 tahun kedepan (hingga tahun 2035). Proyeksi penduduk menggunakan metode Geometrik dan Regresi linier.

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

dimana:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n proyeksi

P₀ = Jumlah penduduk pada awal proyeksi

r = Rata-rata pertumbuhan penduduk pertahun

n = Selisih waktu (tahun)

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

Y = Nilai variable berdasarkan garis regresi

X = Variabel independen

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

Sedangkan untuk analisa ketersediaan air pada waduk manggar menggunakan analisa debit andalan dengan metode F.J. Mock. Metode

ini dikembangkan oleh F.J. Mock untuk memperkirakan debit pada suatu DAS berdasarkan konsep kesetimbangan air (*water balance*)

Adapun bentuk persamaan umum dari kesetimbangan air adalah sebagai berikut.

$$P = E_a + \Delta GS + TS \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

P = Presipitasi

E_a = Evapotranspirasi aktual

ΔGS = Perubahan ground water storage

TR = Total runoff

Untuk perhitungan besaran nilai evapotranspirasi aktual digunakan metode Penman Modifikasi FAO sebagai berikut [8]:

$$ET_0 = c(W.Rn + (1-W)f(u)(ea - ed)) \dots\dots(4)$$

dimana :

ET_0 = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

c = faktor pergantian cuaca akibat siang dan malam

W = Faktor pemberat yang mempengaruhi penyinaran matahari

Rn = Radiasi matahari netto (mm/hari)

$f(u)$ = faktor kecepatan angin

ea = tekanan uap air (mbar)

ed = tekanan uap air jenuh (mbar)

sedangkan untuk evapotranspirasi aktual (E_a) menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta E = ET_0 \frac{m}{20} (18 - n) \dots\dots\dots(5)$$

$$E_a = ET_0 - \Delta E \dots\dots\dots(6)$$

dimana ΔE adalah perubahan evapotranspirasi, m adalah proporsi permukaan lahan yang tidak

tertutup oleh vegetasi, dan n adalah jumlah hari hujan.

Penetapan debit andalan

Debit andalan merupakan debit yang minimum yang dapat terpenuhi ditetapkan sebesar 80%, sehingga kemungkinan debit lebih rendah dari debit andalan adalah 20%. Debit andalan ditentukan berdasarkan pada proses pengurutan dari yang paling besar ke paling kecil sebanyak tahun pengamatan. Kemudian dihitung tingkat keandalan debit berdasarkan probabilitas kejadian dengan menggunakan perumusan Weidbull [9] :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

P = Probabilitas terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%)

m = Nomor urut kejadian dengan urutan dari besar ke kecil

n = jumlah data

Dengan demikian pengertian dari debit andalan 80% adalah debit yang mendekati atau sama dengan nilai probabilitas 80%.

Perhitungan debit andalan pada suatu DAS metode F.J. Mock, maka perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

penyimpanan kelembapan tanah (SMS) dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$SMS = ISM + R - E_a \dots\dots\dots(8)$$

dimana SMS adalah penyimpanan kelembapan tanah, ISM adalah kelembapan tanah awal dalam millimeter, R merupakan curah hujan dan E_a adalah evapotranspirasi aktual.

Selanjutnya, perhitungan kelebihan air (WS) dikalkulasikan dengan persamaan berikut:

$$WS = ISM + R - E - SMC \dots\dots\dots(9)$$

dimana SMC adalah kapasitas kelembaba tanah (dalam mm).

Infiltrasi diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$INFIL = WS \times IF \dots\dots\dots(10)$$

dimana IF adalah faktor infiltrasi. Sedangkan penyimpanan air tanah pada akhir bulan (G_{StorR_t}) dikalkulasikan dengan persamaan berikut:

$$G_{StorR_t} = G_{StorR_{(t-1)}} \times RC + \left(\frac{1+RC}{2} \right) \times INFIL \dots\dots\dots(11)$$

dimana $G_{StorR_{(t-1)}}$ adalah penyimpanan air tanah pada awal bulan (dalam mm) dan RC adalah konstanta resesi limpasan.

..... Untuk perhitungan limpasan, baik itu limpasan dasar (Q_{Base}), limpasan permukaan (Q_{Direct}), limpasan hujan (Q_{Storm}) dan limpasan total (Q_{Total}), dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Q_{Base} = INFIL - G_{StorR_t} + G_{StorR_{(t-1)}} \dots\dots\dots(12)$$

$$Q_{Direct} = WS \times (1 - IF) \dots\dots\dots(13)$$

$$Q_{Storm} = R \times PF \dots\dots\dots(14)$$

$$Q_{Total} = Q_{Base} + Q_{Direct} + Q_{Storm} \dots\dots\dots(15)$$

dimana PF adalah faktor persentase.

Untuk analisa hidrologi, penelitian ini menggunakan data hujan yang bersumber dari

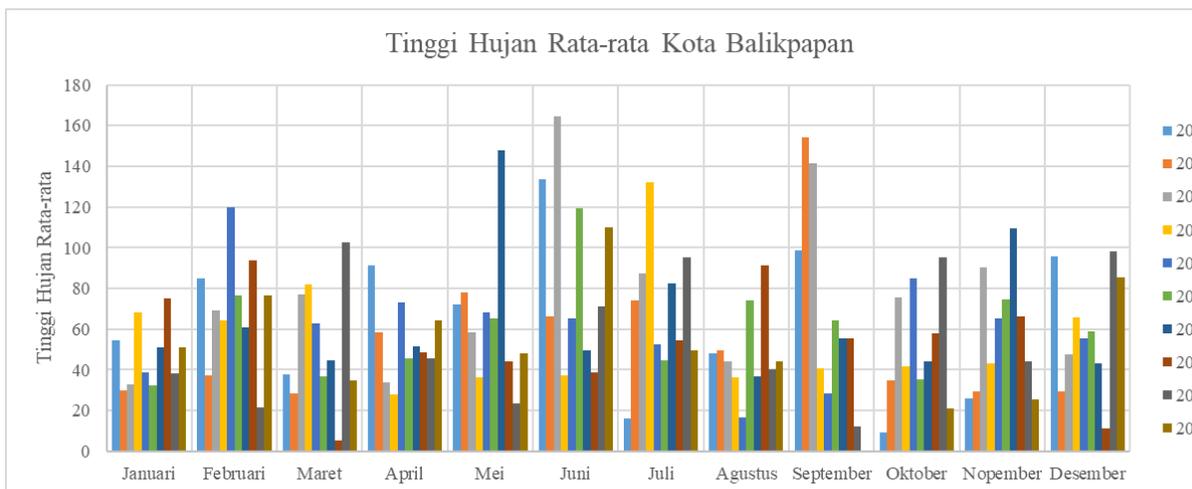
stasiun hujan BMKG Kota Balikpapan (lihat **Gambar 3**).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan jumlah penduduk proyeksi, maka dilakukan analisa terhadap metode mana yang akan dipilih diantara metode geometric atau metode regresi linier. Dengan menggunakan analisa standar deviasi diperoleh nilai standar deviasi metode geometrik lebih kecil dari nilai standar deviasi dari metode linier, yaitu 75024,43 dan 80183,59. Maka, dengan nilai standar deviasi tersebut disimpulkan bahwa proyeksi penduduk menggunakan metode geometrik diperoleh jumlah penduduk pada tahun 2035 sebesar 3.585.168 jiwa.



Gambar 4. Proyeksi Jumlah Penduduk



Gambar 3. Curah Hujan Rata-rata Kota Balikpapan

Berdasarkan pada jumlah penduduk hasil proyeksi, maka analisa dilanjutkan dengan perhitungan kebutuhan air hingga tahun 2035. Dasar perhitungan kebutuhan air per jiwa menggunakan standar yang disarankan oleh Direktorat Jendra Cipta Karya Tahun 1996 [10]. Perhitungan kebutuhan air didasarkan pada kebutuhan air per orang per hari sebesar 170 lt/org/hari sehingga total kebutuhan air pada tahun 2035 adalah sebesar 10157,97 lt/dt (10, 1580 m³/dt).



Gambar 5. Kebutuhan Air Kota Balikpapan

Analisis ketersediaan air pada waduk dilakukan dengan metode F.J. Mock. Dalam metode ini juga dilakukan untuk mengetahui debit andalan yang ada di Waduk Manggar. Proses perhitungan debit andalan dimulai dengan peng-urutan data hujan dari yang terbesar ke yang terkecil. Data hujan tersaji dari

tahun 2007 hingga 2015. Dari data tersebut diketahui bahwa data yang masuk kategori 80% adalah data tahun 2009 dengan total curah hujan dalam setahun adalah 2212.8 mm dan jumlah hari hujan dalam setahun sebesar 208 hari.

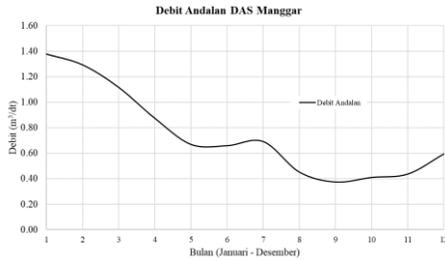
Perhitungan perhitungan dimulai dengan analisa besaran evapotranspirasi (ET_0) dengan menggunakan perumusan empiris Penmann. Evapotrasnpirasi merupakan proses berubahnya air menjadi uap yang bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air keudara. Besarnya nilai evapotrasnpirasi sangat bergantung pada kondisi suatu DAS, baik itu vegetasi, kelembaban udara, intensitas penyinaran matahari, temperature dan kecepatan angina. Hasil dari perhitungan evapotranspirasi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Setelah proses perhitungan evapotranspirasi, dilanjutkan dengan proses perhitungan debit andalan. Parameter-parameter F. J. Mock sebagai representasi DAS Manggar adalah sebagai berikut:

- Proporsi permukaan lahan, $m = 0.25$
- Kapasitas kelembaban tanah, $SMC = 150$ mm
- Faktor infiltrasi, $IF = 0.4$
- Konstanta resesi limpasan, $RC = 0.80$

Tabel 1. Evapotranspirasi

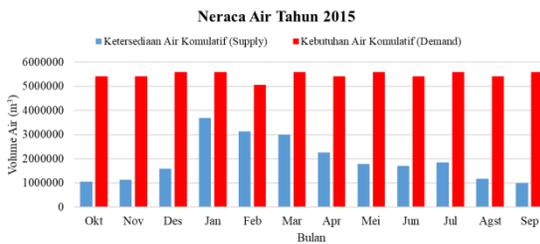
No	Uraian	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nov	Des
1	Temperatur (t)	C	27.4	27.2	27.1	27.6	27.5	26.9	26.6	26.8	27.4	27.6	27.2	27.1
2	Kecepatan Angin (u)	m/dt	2,57	2,57	2,57	2,57	2,056	2,57	2,57	3,084	2,57	2,57	2,57	2,57
3	Kelembaban Relatif (Rh)	%	84,0	86,0	84,0	84,0	87,0	88,0	88,0	86,0	84,0	86,0	87,0	87,0
4	Kecerahan Matahari (n/N)	%	36,00	24,00	49,00	34,00	54,00	30,00	32,80	43,00	56,90	52,90	37,20	29,90
5	Radiasi Matahari (Ra)	mm/hari	15,15	15,60	15,70	15,20	14,25	13,70	13,90	14,65	15,25	15,45	15,20	14,95
6	Tekanan Uap Jenuh (ea)	mbar	36,5	36,1	35,9	37,0	36,8	35,5	34,9	35,3	36,5	37,0	36,1	35,9
7	Tekanan Uap Nyata (ed = ea*Rh)		30,7	31,1	30,2	31,0	32,0	31,2	30,7	30,3	30,7	31,8	31,4	31,2
8	Faktor Pemberat untuk Radiasi (w)		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
9	Faktor Pemberat untuk kelembaban dan kecepatan angin (1-W)		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
10	Fungsi Suhu F(t)		16,2	16,1	16,1	16,2	16,2	16,1	16,0	16,1	16,2	16,2	16,1	16,1
11	Radiasi Gelombang Pendek (Rs)	mm/hari	6,7	5,9	8,1	6,6	7,7	5,6	5,9	7,1	8,5	8,3	6,9	6,2
12	Perbedaan Tekanan Uap jenuh dengan Tekanan Uap (ea-ed)	mbar	5,8	5,1	5,7	5,9	4,8	4,3	4,2	4,9	5,8	5,2	4,7	4,7
13	f (ed)	mbar	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
14	f (n/N)		0,4	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4
15	f(u)	m/dt	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
16	Radiasi Bersih Gelombang Panjang (Rn1) $Rn1 = f(t)*f(ed)*f(n/N)$	mm/hari	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9	0,6	0,6	0,8	1,0	0,9	0,7	0,6
17	$Eto^* = w*(0.75Ra-Rn1)+(1-w)*f(u)*(ea-ed)$	mm/hari	9,4	9,6	9,5	9,5	8,4	8,3	8,3	8,9	9,4	9,3	9,2	9,1
18	Angka koreksi (C)		1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
19	$Eto = Eto^* \times C$	mm/hari	10,3	10,6	9,5	9,5	7,9	7,9	8,3	8,9	10,3	10,2	10,5	10,4



Gambar 4. Debit Andalan DAS Manggar

Berdasarkan hasil analisa (**Gambar 4**) diketahui bahwa debit andalan sangat fluktuatif dalam satu tahun dan relative rendah pada bulan Agustus hingga November. Debit terendah terjadi pada bulan September yaitu $0.37 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan tertinggi berada pada bulan Januari, yaitu $1.38 \text{ m}^3/\text{dt}$.

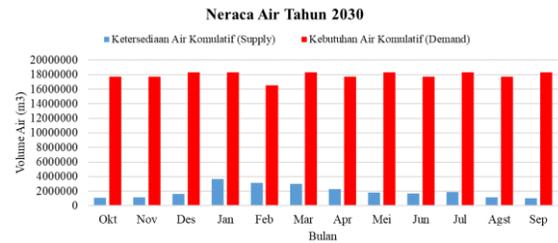
Setelah proses perhitungan debit andalan, dilanjutkan dengan perhitungan neraca air (*water balance*) untuk melihat perbandingan ketersediaan air dan kebutuhan air di Balikpapan dalam satuan meter kubik.



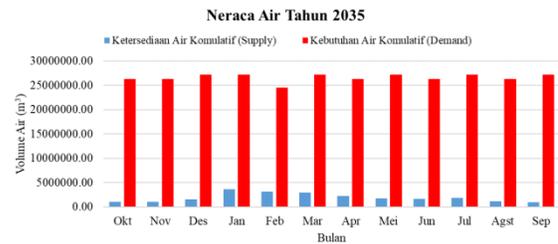
Gambar 5. Neraca Air Tahun 2015 (ketersediaan air dari debit andalan)



Gambar 6. Neraca Air Tahun 2020 (ketersediaan air dari debit andalan)



Gambar 7. Neraca Air Tahun 2030 (ketersediaan air dari debit andalan)

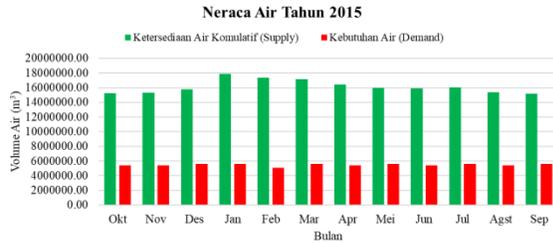


Gambar 8. Neraca Air Tahun 2035 (ketersediaan air dari debit andalan)

Hasil diatas merupakan gambaran yang menunjukkan kapasitas debit andalan yang dikonversi kedalam satuan meter kubik dalam satu bulan terhadap pemenuhan kebutuhan air di Balikpapan dalam durasi waktu per satu bulan. Terlihat bahwa volume air dari debit andalan sangat tidak mampu untuk memenuhi kebutuhan air dengan selisih (*gap*) debit yang cukup besar, terlebih pada tahun proyeksi.

Gambar 8 menunjukkan bahwa kekurangan debit air mencapai $26208063,01 \text{ m}^3$ ditahun 2035 dan ini hanya setara dengan 3,7% dari total kebutuhan air.

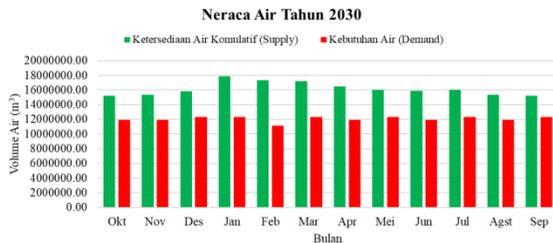
Kondisi diatas merupakan kondisi tanpa adanya waduk Manggar. Sedangkan kondisi dengan adanya tambahan tampungan dari waduk Manggar adalah sebagai berikut:



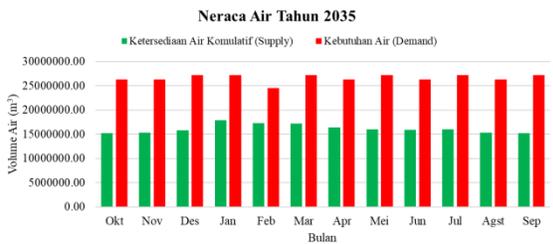
Gambar 9. Neraca Air Tahun 2015 (ketersediaan air dari debit andalan dan volume tampungan waduk Manggar)



Gambar 9. Neraca Air Tahun 2020 (ketersediaan air dari debit andalan dan volume tampungan waduk Manggar)



Gambar 9. Neraca Air Tahun 2030 (ketersediaan air dari debit andalan dan volume tampungan waduk Manggar)



Gambar 9. Neraca Air Tahun 2035 (ketersediaan air dari debit andalan dan volume tampungan waduk Manggar)

Berdasarkan hasil diatas, diketahui bahwa pada tahun 2030, ketersediaan air pada waduk Manggar yang memiliki kapasitas tampungan sebesar 14,2 juta m³ mulai mendekati total kebutuhan air Kota Balikpapan, dan pada tahun akhir proyeksi kebutuhan air melampaui ketersediaan air di waduk Manggar dengan persentasi keterpenuhan rata-rata sebesar 60,7%. Sedangkan keterpenuhan terkecil sebesar 58% pada bulan Oktober dan terbesar sebesar 70,5% pada bulan Februari.

Dengan hasil prediksi diatas, maka Kota Balikpapan akan mulai mengalami krisis air pada tahun 2020, dengan catatan tidak adanya penambahan sumber air baru di wilayah tersebut.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa dan perhitungan terkait dengan ketersediaan air pada waduk manggar, diperoleh hasil yaitu tingkat ketersediaan air pada waduk hanya mampu memenuhi kebutuhan air hingga tahun 2030. Sedangkan untuk akhir tahun proyeksi yaitu tahun 2035, diketahui bahwa kapasitas waduk sudah tidak mampu untuk memenuhi seluruh kebutuhan total kota Balikpapan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan air hanya mampu dipenuhi sebesar 60,7% rata-rata perbulan. Ini menunjukkan bahwa waduk Manggar sudah tidak mampu untuk mencukupi kebutuhan air baku warga, sehingga perlu dilakukan strategi penambahan sumber air baku baru untuk mengantisipasi kekurangan air dimasa mendatang. Alternatif yang bisa dilakukan bisa dengan menambah kapasitas waduk atau membangun waduk baru atau mencoba untuk mengoptimalkan penggunaan air potensi air tanah yang ada dikota Balikpapan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih kepada semua belah pihak yang telah membantu dalam penelitian ini terutama dalam pengambilan data sekunder dan primer seperti Bappeda Kota

Balikpapan, BPS Kota Balikpapan, dan Dinas-dinas lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Fulazzaky, 2014. "Challenges of Integrated Water Resources Management in Indonesia," *Water*, vol. 6, no. 7, pp. 2000–2020.
- [2] J. C. Padowski and S. M. Gorelick, 2014. "Global Analysis of Urban Surface Water Supply Vulnerability," *Environ. Res. Lett.*, vol. 9, no. 10.
- [3] A. Closas, M. Schuring, and D. Rodrigues, 2012. *Integrated Urban Water Management - Lessons and Recommendations from Regional Experiences in Latin America, Central Asia, and Africa*, WPP Case P., no. November. Washington DC, USA: The World Bank Water Partnership Program.
- [4] J. C. Padowski and J. W. Jawitz, 2012. "Water availability and vulnerability of 225 large cities in the United States," *Water Resour. Res.*, vol. 48, no. 12, pp. 1–16.
- [5] B. S. Muntalif, A. Nastiti, D. Roosmini, A. Sudradjat, S. V. Meijerink, and A. J. M. Smits, 2017. "Household Water Supply Strategies in Urban Bandung , Indonesia : Findings and Implications for Future Water Access Reporting," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 49, no. 6, pp. 811–832.
- [6] WSP, 2015. "Water Supply and Sanitation in Indonesia - Turning Finance into Service for the Future," Water and Sanitary Program, Jakarta, Indonesia.
- [7] BPS Kota Balikpapan, 2015. *Kota Balikpapan Dalam Angka 2015*. Balikpapan, Indonesia: Badan Pusat Statistic (BPS) Kota Balikpapan.
- [8] S. S. Sachro, Sugiyanto, and H. Budienny, 2013. "Perkiraan Koefisien-koefisien Karakteristik Daerah Aliran Sungai Krengseng untuk Membangun Kurva-Durasi Debit," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 1, pp. 19–26.
- [9] C. D. Soemarto, 1986. *Hidrologi Teknik*, Second Edi. Surabaya, Indonesia: Penerbit Usaha Nasional.
- [10] Y. K. Tumanan, A. Binilang, and I. R. Mangangka, 2017. "Pengembangan Sistem Penyediaan Air Bersih di Desa Uuwan Kecamatan Dumoga Barat Kabupaten Bolaang Mongondow," *J. Sipil Statik*, vol. 5, no. 4, pp. 225–235.