

Pengembangan Sumber Daya Air Permukaan Untuk Layanan Kebutuhan Air Baku Pulau Nunukan

Ahmad Hakim Bintang Kuncoro^{1,a}, Joko Sujono^{2,b} dan Rachmad Jayadi^{2,c}

¹Mahasiswa Program Pascasarjana, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

^aahb.kuncoro@gmail.com, ^bjsujono@ugm.ac.id, ^crjayadi@ugm.ac.id,

Abstrak

Pengembangan sumber daya air (PSDA) di pulau Nunukan menjadi salah satu prioritas utama dalam upaya memenuhi kebutuhan pokok penduduk pulau Nunukan. Kapasitas Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Nunukan pada tahun 2016 sebesar 160 l/s dan penampungan air hujan (PAH) penduduk sebesar 53,78 l/s, masih mengakibatkan terjadinya defisit air. Dalam Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Nunukan (RISPAM) (Peraturan Bupati Kab. Nunukan No. 33, 2014), direncanakan peningkatan kapasitas produksi PDAM menjadi 245 l/s hingga tahun 2017. Perlu adanya penelitian untuk mengetahui hasil dari peningkatan tersebut. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan kebutuhan air dan ketersediaan air pulau Nunukan pada tahun 2016 hingga tahun 2036.

Analisis diawali dengan menghitung kebutuhan air penduduk dan pelanggan PDAM Nunukan. Tahap selanjutnya menghitung ketersediaan air, simulasi *Standard Operating Rule* (SOR) pada embung, analisis PAH, serta analisis imbalanced air. Tahap terakhir adalah menentukan pengembangan sumber daya air dengan metode *Analysis Hierarchy Process* (AHP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi defisit terjadi pada tahun 2017 hingga tahun 2036. Analisis PSDA hingga tahun 2036 dengan AHP menghasilkan nilai 47,01% untuk membangun embung Mamolo, 35,59% untuk meningkatkan kapasitas Instalasi Pengolahan Air (IPA) Binusan dan 17,41% untuk peningkatan PAH.

Kata kunci: Pulau Nunukan, PSDA, AHP

Pendahuluan

Latar Belakang

Perkembangan pembangunan Kabupaten Nunukan telah memberikan konsekuensi tersendiri bagi perkembangan di daerah tersebut dan juga penyediaan sarana dan prasarana penunjangnya. Salah satunya adalah kebutuhan akan ketersediaan sumber air baku untuk melayani kebutuhan air bersih masyarakat, industri dan aktivitas sosial budaya. Pada saat ini daya dukung sumber daya air di pulau Nunukan mulai menurun, sehingga penyediaan air bersih merupakan prioritas utama di atas semua kebutuhan lainnya. Pengelolaan penyediaan air bersih di Pulau Nunukan dilakukan oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Nunukan. Total kapasitas sumber air baku PDAM pada tahun 2011 sebesar 107,5 l/s (Peraturan Bupati Kab. Nunukan No. 33, 2014). Hingga tahun 2016, PDAM Nunukan telah memiliki kapasitas produksi sebesar 160 l/s, namun masih terjadi defisit air dalam memenuhi kebutuhan penduduk. Pengembangan pendayagunaan sumber daya air di Pulau Nunukan perlu dikaji untuk mengantisipasi dan mengatasi masalah pemenuhan kebutuhan air baku di daerah tersebut. Kondisi ini disebabkan karena Pusat Pemerintahan Kabupaten Nunukan berada di pulau tersendiri dan ketersediaan airnya harus dapat terpenuhi oleh pulau itu sendiri.

Pulau Nunukan merupakan bagian dari Pusat Kegiatan Strategis Nasional dengan fungsi utama sebagai tempat lintas batas jalur laut antara Nunukan - Tawau (Malaysia). Permasalahan penyediaan air minum di pulau Nunukan adalah pengusahaan potensi sumber air baku yang masih terbatas, penyediaan sistem jaringan pipa membutuhkan biaya tinggi, pertumbuhan penduduk yang tinggi banyak dipengaruhi oleh migrasi yang sifatnya sebagai penduduk temporer, kemampuan pengembangan jaringan dan layanan PDAM tidak sebanding dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas sosial ekonomi masyarakat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui ketersediaan air

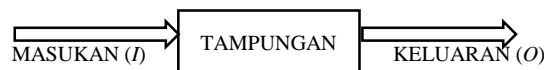
untuk layanan kebutuhan air di Pulau Nunukan serta mencari alternatif terbaik pengembangan sumber daya air yang sesuai dan tepat dengan kondisi dan perkembangan di Pulau Nunukan.

Tinjauan Pustaka

Ketersediaan Air

Ketersediaan air adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi (bendung atau bangunan air lainnya) di sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu (Triatmodjo, 2008).

Konsep dasar yang digunakan dalam hidrologi sebenarnya ada dua buah, yaitu konsep Siklus Hidrologi (*hydrologic cycle*) dan konsep neraca air (*water balance*). Kedua hal tersebut terikat satu dengan yang lainnya dan merupakan inti keseluruhan ilmu hidrologi. Semua masalah dalam hidrologi selalu dapat dikembalikan kepada dua konsep dasar tadi (Sri Harto Br., 2000). Sri Harto Br. (2000) menjelaskan bahwa konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke, yang tersedia di dan yang keluar dari sistem (sub-sistem) tertentu, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Persamaan (1) berikut ini.



Gambar 1. Skema neraca air

$$I = O \pm \Delta S \quad (1)$$

dengan:

- I : inflow [m],
- O : outflow [m],
- ΔS : perubahan tampungan [m].

Persamaan yang diperhitungkan dalam analisis imbalan air adalah persamaan ketersediaan air dan persamaan kebutuhan air. Neraca keseimbangan air didefinisikan sebagai berikut (Suhaedi, 2007).

$Q_t > Q_b$: surplus, $Q_t = Q_b$: seimbang, $Q_t < Q_b$: defisit

dengan:

- Q_t : debit ketersediaan air [l/s],
- Q_b : debit kebutuhan air [l/s].

Ketersediaan air dapat dianalisa menggunakan model Mock dengan menggunakan data curah hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah aliran untuk menaksir ketersediaan air di sungai apabila ketersediaan data debit terbatas atau bahkan tidak ada (Nurochmad dkk., 1998). Tidak adanya data debit sebagai input perhitungan ketersediaan air pada masa mendatang, sehingga perlu memperkirakan data debit yang akan terjadi mendatang. Metode Thomas-Fierring dapat digunakan untuk meramalkan/memperkirakan data debit yang akan terjadi pada masa mendatang berdasarkan statistik data debit yang telah ada dan hasil perkiraan yang cukup baik (Prasetio, 2013).

Kebutuhan Air

Air baku adalah air yang digunakan untuk keperluan rumah tangga, industri, penggelontoran kota, pengendalian polusi serta penggunaan non irigasi lainnya. Dalam analisis kebutuhan air baku, kebutuhan air yang diperhitungkan meliputi, kebutuhan air rumah tangga (domestik), kebutuhan air industri dan kebutuhan air pelayanan umum (non domestik), serta kebutuhan air untuk pengganti air yang hilang (kehilangan air) (Rudi, 2000).

Pengembangan Sumber Daya Air

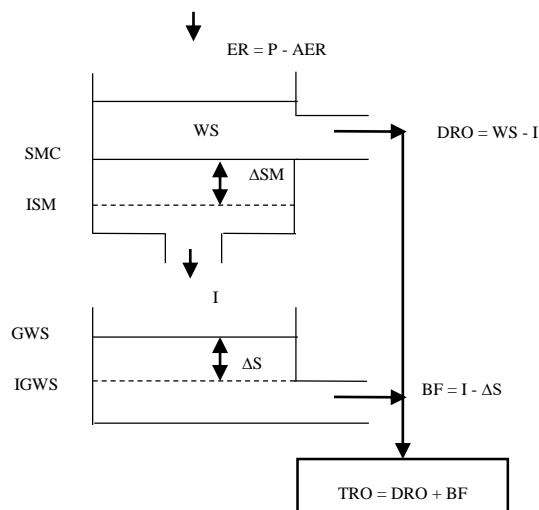
Menurut Sri Harto Br. (2000) pengembangan sumber daya air secara umum dapat diartikan sebagai upaya pemberian perilaku terhadap fenomena alam agar dapat dimanfaatkan secara optimal untuk keperluan manusia. Prinz (2001) menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sebagai sistem pendukung keputusan untuk pengembangan sumber daya air pada studi kasus di Ethiopia. Tujuannya

adalah peningkatan produksi pertanian para petani, penilaian dan pengembangan penyediaan sumber daya air untuk air baku dan irigasi. Pada studi tersebut dengan formulasi 4 kriteria dan 24 sub-kriteria, serta 2 alternatif keputusan sumber ketersediaan air untuk irigasi skala kecil. Bendung dan waduk kecil adalah 2 alternatif yang dievaluasi dan dianalisis pada penelitian yang dilakukan oleh Prinz (2001). Embung adalah bangunan air yang mempunyai tujuan dan fungsi yang sama dengan waduk, yakni sebagai tampungan air. Analisis ketersediaan air dan simulasi operasi pada embung dapat menggunakan metode yang sama dengan analisis ketersediaan air dan simulasi operasi pada waduk, yaitu menggunakan *Standard Operating Rule (SOR)* (Suhaedi, 2007). Usaha-usaha pemanenan air hujan diprioritaskan untuk daerah-daerah yang mengalami hujan dengan intensitas cukup tinggi. Pemanenan air hujan dapat dilakukan dengan mengumpulkan air hujan di atas atap (*roof catchment*) atau dengan pengumpulan limpasan permukaan (*surface runoff*) diatas permukaan tanah (*ground catchment*)(Asdak, 1995).

Landasan Teori

Analisis debit

Ketersediaan air dapat dianalisa menggunakan model Mock, skema pada Gambar 2 berikut ini (Nurochmad dkk., 1998).



Gambar 2. Skema model Mock

Analisis bangkitan data debit

Pembangkitan data debit dilakukan untuk mendapatkan data debit bangkitan yang mempunyai sifat statistik yang sama dengan data debit historis. Metode Thomas-Fiering dapat dilihat pada Persamaan (2) dan Persamaan (3) (Prasetio, 2013).

$$Q_{i+1} = \bar{Q}_{j+1} + b_j \cdot (Q_i - \bar{Q}_j) + z_i \cdot S_{j+1} \cdot \sqrt{(1 - r_j)^2} \quad (2)$$

$$b_j = r_j \cdot S_{j+1} / S_j \quad (3)$$

dengan:

Q_{i+1} : debit bangkitan pada bulan ke-(i+1) [MCM],

Q_i : debit bangkitan pada bulan ke-i [MCM],

\bar{Q}_{j+1} : debit historis rata-rata bulan ke-(j+1) [MCM],

\bar{Q}_j : debit historis rata-rata bulan ke-j [MCM],

S_j : standar deviasi pada bulan j,

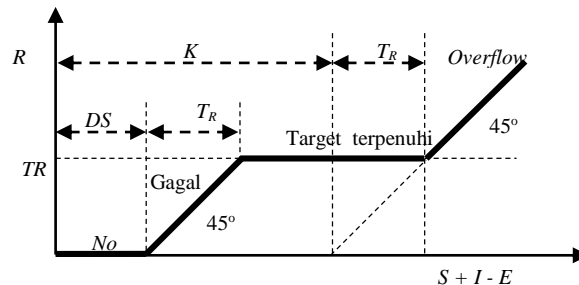
z_i : bilang acak distribusi normal rata-rata 0 dan varian 1,

r_j : koefisien korelasi debit historis antara bulan j dan j+1,

b_j : perbandingan standar deviasi bulan ke-(j+1).

Simulasi operasi embung

Simulasi operasi dengan *standard operating rule* seperti terlihat pada Gambar 3 merupakan indikator untuk melihat reliabilitas pemenuhan kebutuhan air. Terdapat nilai *target release (TR)* dan hubungan antara *release (R)* dan jumlah potensi ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan dengan memperhitungkan kapasitas embung (*K*), tampungan minimum (*DS*), tampungan awal (*S*), *inflow (I)* dan kehilangan akibat evaporasi (*Et*) (Jayadi, 2000).



Gambar 3. *Standard Operating Rule*

Analisis penampungan air hujan

Analisis volume tampungan hujan oleh penduduk dilakukan berdasarkan curah hujan bulanan dan luas atap rata-rata. Perhitungan volume tampungan hujan oleh penduduk menggunakan Persamaan (4) (Asdak, 1995).

$$V_t = L_a \times Ch \times 0,8 \quad (4)$$

dengan:

- V_t : volume air hujan yang dapat ditampung penduduk [m^3],
- L_a : rerata luas atap [m^2],
- Ch : curah hujan bulanan [mm],
- 0,8 : konstanta.

Analisis kebutuhan air domestik

Menurut standar FAO dan Dirjen Cipta Karya (Agung, 2000), kebutuhan air domestik tergantung dari jumlah penduduk, ukuran kota dan kehilangan air. Hubungan jumlah penduduk dan kebutuhan air dapat dilihat pada Tabel 1 (Departemen PU, 1998).

Tabel 1. Kisaran pemakaian air domestik berdasarkan kategori wilayah

URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH PENDUDUK				
	>1.000.000	500.00 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	<20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
Kategori	I	II	III	IV	V
1. Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) [liter/orang/hari]	>150	150 - 120	90 - 120	80 - 120	60 - 80
2. Konsumsi Unit Hidran (HU) [liter/orang/hari]	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40
3. Konsumsi Unit Non Domestik					
a. Niaga Kecil [liter/unit/hari]	600 - 900	600 - 900		600	
b. Niaga Besar [liter/unit/hari]	1000 - 5000	1000 - 5000		1500	
c. Industri Besar [liter/unit/hari]	0,2 - 0,8	0,2 - 0,8		0,2 - 0,8	
d. Pariwisata [liter/detik/hari]	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3		0,1 - 0,3	
4. Kehilangan Air [%]	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
5. Faktor Hari Maksimum	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25	1,15 - 1,25
	* harian	* harian	* harian	* harian	* harian
6. Faktor Jam Puncak	1,75 - 2,0	1,75 - 2,0	1,75 - 2,0	1,75 - 2,0	1,75 - 2,0
	* hari maks	* hari maks	* hari maks	* hari maks	* hari maks
7. Jumlah Jiwa Per SR [jiwa]	5	5	5	5	5
8. Jumlah Jiwa Per HU [jiwa]	100	100	100	100 - 200	200
9. Sisa Tekan Dipenyedia Distribusi [m]	10	10	10	10	10
10. Jam Operasi [jam]	24	24	24	24	24
11. Volume Reservoir (% Max Day Demand)	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25
12. SR : HU	50 : 50 s/d 80 : 20	50 : 50 s/d 80 : 20	80 : 20	70 : 30	70 : 30
13. Cakupan Pelayanan [%]	90	90	90	90	90

Proyeksi kebutuhan air bersih didasarkan pada jumlah penduduk yang akan dilayani dan rerata kebutuhan air bagi semua jenis pemakaian air. Proyeksi jumlah penduduk dapat dihitung dengan metode geometrik (Agung, 2000).

$$P_n = P_0(1 + r)^n \quad (5)$$

dengan:

P_n : jumlah penduduk pada tahun ke-n [jiwa],

P_0 : jumlah penduduk pada tahun awal [jiwa],

r : laju pertumbuhan penduduk [%],

n : jumlah tahun yang diproyeksikan.

Analisis kebutuhan air non domestik

Yang dimaksud sebagai kebutuhan air untuk keperluan non domestik ialah pemakaian air di luar pemakaian untuk rumah tangga. Kebutuhan air non domestik dihitung seperti pada Tabel 2 (Departemen PU, 1998).

Tabel 2. Kebutuhan air non domestik untuk kota kategori I, II, III dan IV

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	10	[liter/murid/hari]
Rumah Sakit	200	[liter/bed/hari]
Puskesmas	2000	[liter/unit/hari]
Masjid	3000	[liter/unit/hari]
Kantor	10	[liter/pegawai/hari]
Pasar	12000	[liter/hektar/hari]
Hotel	150	[liter/bed/hari]
Rumah Makan	100	[liter/tempat duduk/hari]
Kompleks Militer	60	[liter/orang/hari]
Kawasan Industri	0,2 – 0,8	[liter/detik/hektar]
Kawasan Pariwisata	0,1 – 0,3	[liter/detik/hektar]

Analisis kehilangan air

Kehilangan air disebabkan oleh faktor teknis seperti kebocoran pipa dan kerusakan meter airtor. Untuk non teknis disebabkan oleh kesalahan pembacaan meteran/pencatatan dan kesalahan penjumlahan/pengurangan. Kehilangan air diasumsikan sebesar 20% dari kebutuhan rata-rata air bersih penduduk (Peraturan Bupati Kab. Nunukan No. 33, 2014).

Alternatif Pengembangan Sumber daya Air

Potensi air permukaan berupa aliran sungai yang dapat dimanfaatkan dengan membangun bangunan berupa embung atau bendung yang mendukung pengambilan air oleh unit Instalasi Pengolahan Air (IPA). Potensi selanjutnya adalah potensi air hujan yang dapat dimanfaatkan sebagai Penampungan Air Hujan (PAH) oleh warga sebagai alternatif pemenuhan kebutuhan air sehari-hari.

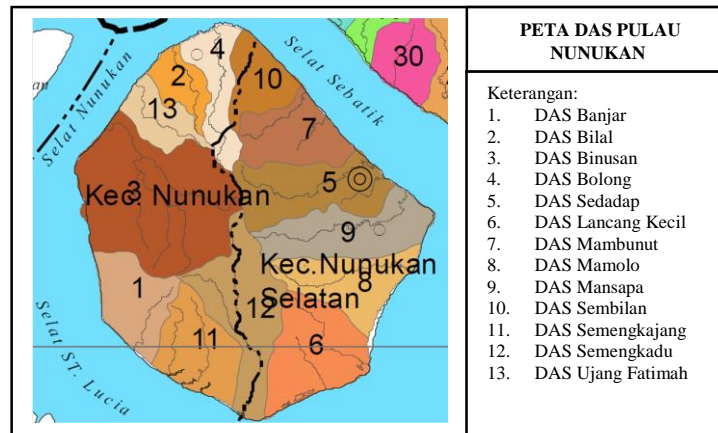
Analytical Hierarchy Process

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan salah satu metode pengambilan keputusan dengan bantuan hierarki. Menurut Saaty (1993), salah satu keuntungan AHP adalah memungkinkan orang memperhalus definisi pada suatu persoalan dan memperbaiki pertimbangan dan pengertian melalui perulangan. Terdapat beberapa prinsip dalam menyelesaikan AHP, yaitu *decomposition*, *comparative judgement*, *synthesis of priority* dan *logical consistency*.

Metodologi Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di pulau Nunukan yang memiliki luas $\pm 220 \text{ km}^2$. Secara geografis pulau Nunukan berada pada $4^\circ 3' 34'' \text{ LU}$ dan $117^\circ 40' 1'' \text{ BT}$. Beberapa DAS yang berada pada pulau Nunukan dapat dilihat pada Gambar 4 (Bappeda Kab. Nunukan, 2013).



Gambar 4. DAS pada Pulau Nunukan

Ketersediaan Data dan Analisis

Data yang tersedia dan analisis dalam penelitian ini adalah:

1. data kependudukan dari tahun 2011-2016 (BPS Kab. Nunukan, 2016) diprediksi hingga tahun 2036 dengan menggunakan Persamaan (5) (Agung, 2000), kemudian analisis kebutuhan air berdasarkan kriteria pada Tabel 1 dan Tabel 2 (Departemen PU, 1998),
2. data hujan harian dan klimatologi dari tahun 2007-2016 berasal dari satu stasiun hujan milik BMKG Kab. Nunukan yang berada di DAS Sembilan, data tersebut digunakan untuk analisis ketersediaan air berupa debit yang dihitung menggunakan skema pada Gambar 2 (Nurochmad dkk., 1998), kemudian debit diprediksi hingga tahun 2036 menggunakan Persamaan 2 dan Persamaan 3 (Prasetio, 2013),
3. data karakteristik embung yang berasal dari BWS Kalimantan III (2016) digunakan untuk simulasi SOR dengan skema seperti Gambar 3 (Jayadi, 2000),
4. analisis imbalanced air dihitung dengan membandingkan ketersediaan air dan kebutuhan air dari tahun 2017 hingga tahun 2036,
5. data rencana tata ruang dan wilayah (RTRW) (Bappeda Kab. Nunukan, 2013), data rencana induk pengembangan sistem penyediaan air minum (RISPAM) Kab. Nunukan (Peraturan Bupati Kab. Nunukan No. 33, 2014) dan data kuisioner AHP digunakan untuk menentukan alternatif dan analisis pengembangan sumber daya air menggunakan metode AHP.

Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Prediksi jumlah penduduk

Rata-rata pertumbuhan penduduk Kecamatan Nunukan dari tahun 2011 hingga tahun 2016 berdasarkan Persamaan (5) mengalami peningkatan sebanyak 5,37% dan Nunukan Selatan sebanyak 9,67%. Hasil perhitungan prediksi jumlah penduduk Pulau Nunukan dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Perkiraan jumlah penduduk Pulau Nunukan tahun 2016-2036

Tahun	Kecamatan Nunukan [jiwa]	Kecamatan Nunukan Selatan [jiwa]	Jumlah [jiwa]
2016	65602	22492	88094
2021	80876	32630	113505
2026	105062	51951	157013
2031	136480	82714	219194
2036	177295	131692	308987

Prediksi jumlah penduduk temporer

Pertumbuhan penduduk pulau Nunukan dipengaruhi juga dengan adanya para TKI yang berangkat dan pulang dari daerah kerja mereka melalui pulau Nunukan yang rata-rata tinggal sementara selama 2 bulan di Pulau Nunukan. Hasil perhitungan perkiraan jumlah rata-rata TKI yang menetap sementara di Pulau Nunukan ditampilkan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Perkiraan jumlah TKI yang melalui Pulau Nunukan tahun 2016 - 2036

Tahun	Rerata Jumlah TKI (Penduduk Temporer) [jiwa]
2016	390
2021	399
2026	447
2031	496
2036	545

Prediksi jumlah pelanggan PDAM

Menurut Bappeda (2013) jumlah pelanggan PDAM Nunukan mengalami peningkatan rata-rata sebesar 10% pertahunnya. Hasil perhitungan prediksi jumlah pelanggan PDAM Nunukan dari tahun 2016 hingga tahun 2036, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perkiraan jumlah Pelanggan PDAM Nunukan tahun 2016 - 2036

Tahun	Jumlah Pelanggan PDAM [SR]
2016	8900
2021	14334
2026	23084
2031	37178
2036	59875

Prediksi kebutuhan air

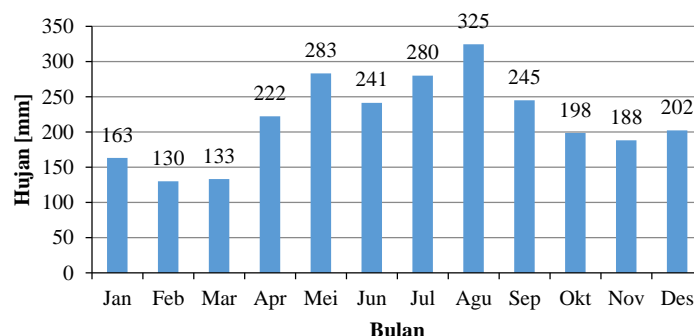
Penduduk Pulau Nunukan pada tahun 2016 berjumlah 88.094 jiwa, sehingga berdasarkan kisaran pemakaian air domestik menurut Departemen PU (1998), kategori wilayah Pulau Nunukan termasuk ke dalam kategori kota kecil. Hasil perhitungan kebutuhan air baku pulau Nunukan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perkiraan kebutuhan air baku penduduk di pulau Nunukan tahun 2016 – 2036

No.	Keterangan	Tahun					
		2016		2026		2036	
		Penduduk	Pelanggan	Penduduk	Pelanggan	Penduduk	Pelanggan
1	Domestik [l/s]	154,03	82,41	311,73	213,74	573,88	554,40
2	Non Domestik [l/s]	8,01	8,01	10,17	10,17	12,58	12,58
3	Kehilangan Air [l/s]	32,41	18,08	64,38	44,78	117,29	113,39
4	Jumlah [l/s]	194,46	108,51	386,28	268,69	703,75	680,37
5	Faktor Hari Maksimum [l/s]	233,35	130,21	463,53	322,43	844,50	816,44

Data hujan

Data hujan harian dari tahun 2007 hingga tahun 2016 diolah menjadi data hujan bulanan, hujan rerata bulanan yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hujan rata-rata DAS Bilal

Dilihat dari grafik hujan rata-rata di pulau Nunukan menunjukkan bulan dengan hujan tertinggi terjadi pada bulan Agustus dan yang terendah pada bulan Februari.

Penampungan air hujan penduduk

Menghitung air hujan yang dapat ditampung oleh setiap KK perbulannya dengan Persamaan (4). Hasil perhitungan air hujan yang dapat ditampung penduduk disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perkiraan penampungan air hujan Pulau Nunukan tahun 2016 - 2036

Tahun	Jumlah Kepala Keluarga [KK]	Penampungan Air Hujan Penduduk [l/s]	Jumlah Pelanggan PDAM [SR]	Penampungan Air Hujan Pelanggan [l/s]
2016	17619	54,75	8900	27,66
2021	24206	73,88	14334	43,75
2026	33544	102,39	23084	70,46
2031	46918	143,21	37178	113,48
2036	66270	202,27	59875	182,75

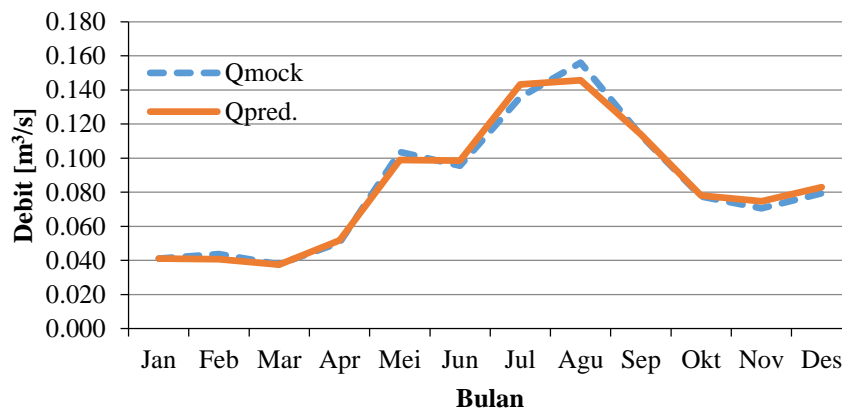
Analisis alihragam hujan menjadi debit metode Mock

Debit *inflow* ke embung diperoleh melalui analisis model hidrologi metode Mock dari tahun 2007 hingga tahun 2016. Hasil estimasi berupa nilai-nilai parameter DAS dapat dilihat pada Tabel 8, kalibrasi tidak dilakukan karena tidak tersedia data debit.

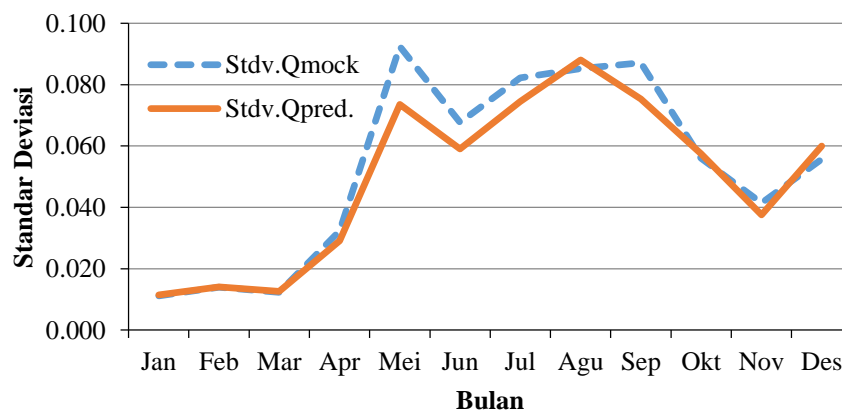
Tabel 8. Nilai-nilai parameter DAS

Parameter DAS	Satuan	Simbol	DAS Bilal
Luas DAS	[km ²]	A	3,53
Koefisien infiltrasi musim basah	-	WIC	0,40
Koefisien infiltrasi musim kemarau	-	DIC	0,50
Initial Soil Moisture	[mm]	ISM	350,00
Soil Moisture Capacity	[mm]	SMC	350,00
Initial Groundwater Storage	[mm]	IGWS	600,00
Groundwater Recession Constant	-	K	0,95

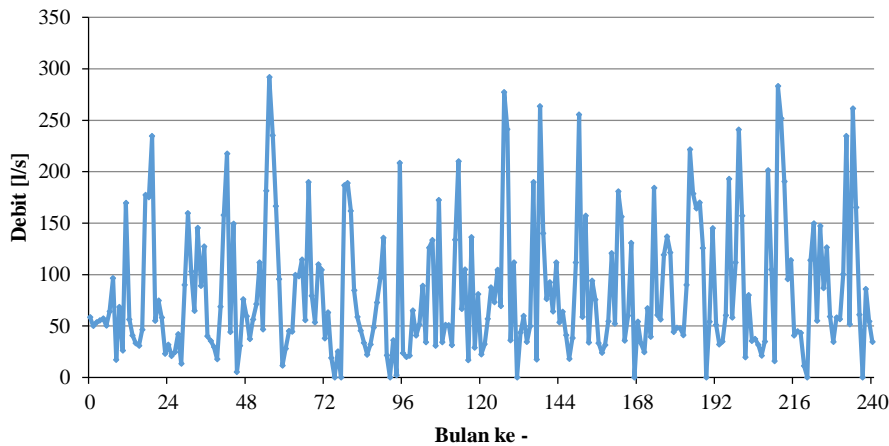
Hasil perhitungan perpanjangan/prediksi data debit menggunakan Persamaan (2) dan Persamaan (3), menghasilkan sifat statistik berupa rerata debit bulanan dan standar deviasi bulanan yang dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Prediksi debit dari tahun 2017 hingga 2036 menggunakan Persamaan (2) dan Persamaan (3) menghasilkan debit seperti pada Gambar 8.



Gambar 6. Parameter statistik rerata debit mock dengan debit prediksi



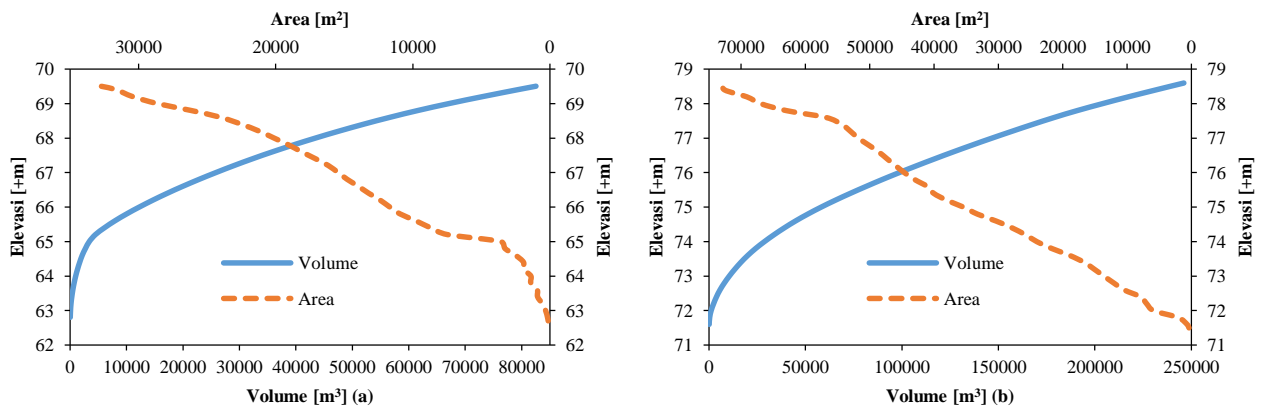
Gambar 7. Parameter statistik standar deviasi debit mock dengan debit prediksi



Gambar 8. Debit bangkitan DAS Bilal di embung Bilal tahun 2017-2036

Simulasi operasi embung

Kurva karakteristik embung Bilal dan Embung Bolong dapat dilihat pada Gambar 9 (BWS Kalimantan III, 2016)



Gambar 9. (a) Kurva karakteristik embung Bilal (b) Kurva karakteristik embung Bolong

Hasil simulasi SOR pada embung Bilal dan embung Bolong berupa reliabilitas embung terhadap pemenuhan produksi IPA yang bersumber pada masing-masing embung. Hasil simulasi embung Bilal dan Bolong serta IPA Binusan dan IPA Mamolo dapat dilihat pada Tabel 9.

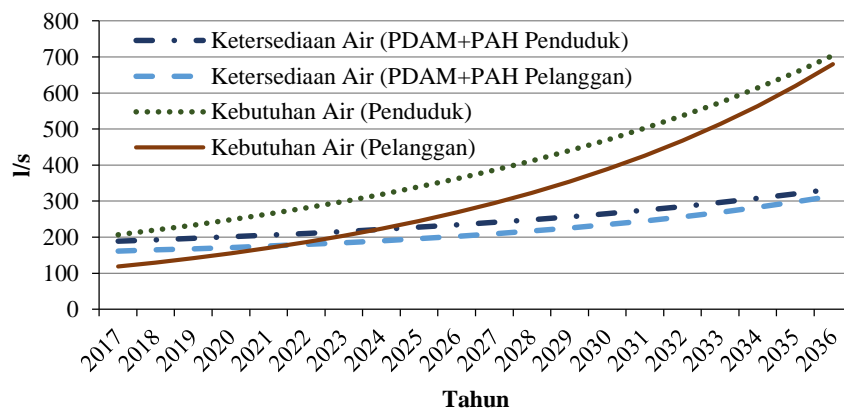
Tabel 9. Hasil simulasi operasi IPA PDAM Nunukan

Embung / Bendung	IPA	Target <i>release</i> [l/s]	Reliabilitas [%]	Keterangan
Bilal	Bilal	37,22	90,35	optimasi
		50,00	74,12	eksisting
		60,00	61,40	peningkatan
Bolong	Pasir Putih	30,00	95,18	eksisting
		34,51	90,35	optimasi
		50,00	75,00	eksisting
Binusan	Binusan	75,00	59,21	peningkatan
		10,00	96,49	eksisting
		30,00	96,05	peningkatan
Mamolo	Mamolo	20,00	96,05	eksisting
		50,00	88,16	peningkatan

Dengan target reliabilitas 90%, maka maksimum *release* yang dapat dihasilkan adalah sebesar 37,22 l/s pada IPA Bilal, 30,00 l/s pada IPA Pasir Putih dan 34,51 l/s pada IPA Persemaian. Peningkatan dengan cara menambah kapasitas IPA hanya menyebabkan reliabilitas menurun dan beresiko terjadinya defisit air pada saat bulan-bulan kering.

Analisis Imbangan Air

Hasil perhitungan imbangan air penduduk dan pelanggan PDAM pulau Nunukan pada tahun 2017 hingga tahun 2036 dapat dilihat pada Gambar 10.

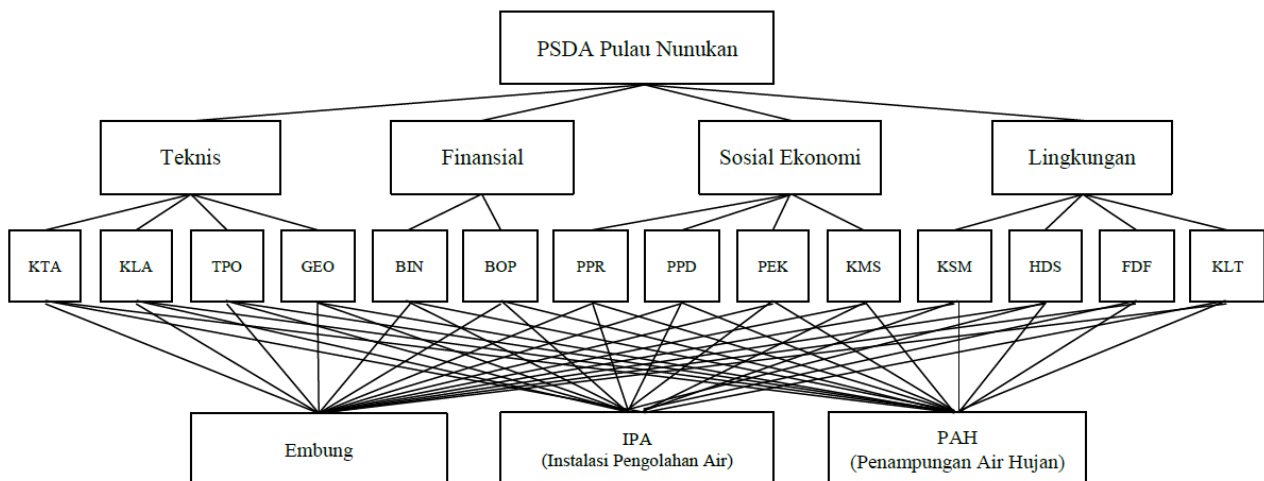


Gambar 10. Imbangan air penduduk pulau Nunukan tahun 2017-2036

Hasil imbangan air menunjukkan bahwa terjadi defisit pada tahun 2017-2036 untuk penduduk dan pada tahun 2022-2036 pada pelayanan pelanggan. Untuk mengantisipasi kondisi defisit tersebut, perlu adanya pengembangan sumber daya air. Jika peningkatan kapasitas produksi IPA, maka yang dapat ditingkatkan adalah IPA Binusan. Melihat arah persebaran penduduk yang mengarah pada lokasi IPA Mamolo (Bendung), maka bendung Mamolo dapat dikembangkan menjadi embung dengan harapan dapat menampung air lebih banyak dan produksi IPA yang lebih besar.

Analytical Hierarchy Process

Untuk penelitian ini menggunakan suatu susunan hirarki yang pernah digunakan oleh Prinz (2001), namun terdapat perbedaan pada sub kriteria peningkatan produksi dan pendapatan petani diubah menjadi peningkatan produktifitas penduduk dan pendapatan penduduk, serta alternatif yang berbeda. Susunan hirarki AHP pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 11.



- Keterangan :
- KTA : Ketersediaan Air
 - KLA : Kualitas Air
 - TPO : Topografi
 - GEO : Geologi
 - BIN : Biaya Investasi
 - BOP : Biaya Operasional Pemeliharaan
 - PPR : Peningkatan Produktifitas
 - PPD : Pendapatan Penduduk
 - PEK : Peningkatan Ekonomi
 - KMS : Keinginan Masyarakat
 - KSM : Kesehatan Masyarakat
 - HDS : Hidrologi Daerah Studi
 - FDF : Flora dan Fauna
 - KLT : Kualitas Tanah

Gambar 11. Hirarki pengambilan keputusan

Pengisian kuisisioner AHP dilakukan oleh 11 reponden yang memiliki wewenang memberi masukan dan penentu keputusan di wilayah Kab. Nunukan khususnya di Pulau Nunukan. Hasil pengisian kuisisioner pada responden 1 berupa perbandingan antar aspek pada level kriteria dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil kuisioner responden 1 level kriteria

Aspek	Teknik	Finansial	Sosial Ekonomi	Lingkungan
Teknik	1	7	5	5
Finansial	1/7	1	3	1
Sosial Ekonomi	1/5	1/3	1	1
Lingkungan	1/5	1	1	1

Pembentukan matriks perbandingan berpasangan, nilai-nilai dalam matriks tersebut dihitung dengan tujuan mencari nilai vektor kepentingan yang menunjukkan nilai kepentingan masing-masing aspek. Hasil vektor berupa nilai dengan matriks yang baru dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai vektor prioritas level kriteria responden 1

Aspek	Teknis	Finansial	Sosek	Lingk	Vektor Kepentingan
Teknis	1	7	5	5	64,47%
Finansial	1/7	1	3	1	14,93%
Sosek	1/5	1/3	1	1	9,12%
Lingk	1/5	1	1	1	11,48%

n = 4 (jumlah kriteria)
 $\lambda = 4,218$ (nilai eigen/karakteristik)
 CI = 0,073 (indeks konsistensi)
 CR = 0,081 (konsisten)

Hal yang sama dilakukan untuk responden yang lainnya. Rekap nilai bobot kepentingan kriteria diberikan dalam Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Rekapitulasi nilai bobot kepentingan untuk kriteria

Kriteria	Jumlah	Normalisasi	Nilai banding	Prioritas
Teknik	359,59%	32,69%	1,9833	1
Finansial	181,31%	16,48%	1,0000	4
Sosial ekonomi	199,60%	18,15%	1,1009	3
Lingkungan	359,50%	32,68%	1,9828	2

Tahapan terakhir perhitungan dengan metode AHP adalah mengambil keputusan akhir dengan cara menggabungkan seluruh hasil perhitungan vektor prioritas pada setiap level. Hasil akhir berupa nilai dari alternatif sebagai keputusan akhir pengambilan keputusan. Hasil akhir perhitungan dengan metode AHP dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil akhir perhitungan dengan metode AHP

Alternatif	Kriteria				Vektor prioritas	Prioritas
	Teknis	Finansial	Sosial Ekonomi	Lingkungan		
	32,69%	16,48%	18,15%	32,68%		
Embung	0,513	0,477	0,560	0,374	47,01%	1
IPA	0,343	0,298	0,267	0,447	35,59%	2
PAH	0,144	0,225	0,172	0,179	17,41%	3

Dari hasil AHP menunjukkan bahwa prioritas pertama ditempati oleh Embung dengan bobot nilai 47,01%, prioritas kedua ditempati IPA dengan nilai 35,59% dan prioritas terakhir adalah PAH dengan nilai 17,41%. Sesuai hasil perhitungan, maka pengembangan sumber daya air pulau Nunukan adalah mengembangkan bendung Mamolo menjadi embung.

Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil studi ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil simulasi SOR dengan target reliabilitas 90%, maka maksimum *release* yang dapat dihasilkan adalah sebesar 36,40 l/s pada IPA Bilal, 30,00 l/s pada IPA Pasir Putih dan 33,89 l/s pada IPA Persemaian. Peningkatan kapasitas IPA hanya menyebabkan reliabilitas menurun dan beresiko terjadinya defisit air pada saat bulan-bulan kering.

2. Hasil analisis imbangan air dengan *release* maksimum embung menunjukkan bahwa defisit terjadi pada pelayanan air pada seluruh penduduk pada tahun 2017-2036, sedangkan untuk pelayanan air pada pelanggan PDAM terjadi defisit terjadi pada tahun 2022-2036.
3. Hasil perhitungan dengan metode AHP menunjukkan bahwa dengan membangun embung Mamolo mendapat nilai 47,01%, peningkatan kapasitas produksi IPA Binusan mendapat nilai 35,59% dan pengembangan PAH mendapat nilai 17,41%. Dengan hasil tersebut dapat diputuskan bahwa pengembangan sumber daya air untuk Pulau Nunukan adalah dengan membangun embung Mamolo.

Saran

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan dalam studi ini, maka diusulkan beberapa saran berikut ini:

1. pada penelitian ini terdapat kendala yaitu pada saat perhitungan debit yang kurang akurat karena tidak adanya data debit terukur dan data hujan hanya ada dari satu stasiun hujan yang berasal dari satu DAS saja,
2. dalam penelitian ini juga terkendala karena data aktual *release* yang benar-benar terjadi pada embung tidak ada, sehingga hanya berpatokan pada kapasitas produksi IPA saja,
3. penelitian ini juga belum memperhitungkan pengaruh sedimentasi yang terjadi pada embung, sehingga sedimentasi dapat dikaji dalam penelitian-penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

Daftar Pustaka

- Agung, R.P.P.A., 2000. *Kursus Singkat Sistem Sumber daya Air dalam Otonomi Daerah*. Buku 2. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Asdak, C., 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bappeda Kab. Nunukan, 2013. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Nunukan 2013-2033*. Nunukan: Bappeda Kab. Nunukan.
- BPS, 2016. *Nunukan Dalam Angka*. Nunukan: BPS Kab. Nunukan
- BWS Kalimantan III, 2016. *Audit Teknis Kinerja dan Penyusunan AKNOP Embung 4 Buah (Embung Wain, Bendali IV, Embung Bolong dan Embung Bilal)*. Samarinda: BWS Kalimantan III.
- Departemen PU. 1996. *Petunjuk Teknis Perencanaan Rencana Induk dan Studi Kelayakan Sistem-sistem Penyedia Air Minum Perkotaan*. Volume II. Jakarta: Dirjen Cipta Karya, DPU.
- Jayadi, R. 2000. *Optimasi dan Simulasi Pengembangan Sumber daya Air*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Nurochmad, F., Sujono, J. dan Damanjaya, D., 1998. *Optimasi Parameter Model Hujan Aliran Mock dengan Solver*. Media Teknik, No.2 TahunXX. Yogyakarta: UGM.
- Peraturan Bupati Kab. Nunukan No. 33, 2014. *Rencana Induk Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Nunukan*. Nunukan.
- Prasetio, T. D., 2013. *Bangkitan Data Debit pada Daerah Pengaliran Sungai Dengan Menggunakan Pendekatan Metode Thomas-Fierring (Studi Kasus Lubuk Ambacang DAS Indragiri)*. Jurnal Universitas Riau.
- Prinz, D., 2001. *Decision Support for Water Resources Development*, Germany: Institute of Water Resources Management, Hydarulic and Rural Engineering, University of Karlsruhe.
- Rudi, A.P., 2000. *Perhitungan Kebutuhan Air Non Irigasi dan Pemanfaatan Sumber daya Air di Suatu Wilayah Kabupaten/Kota*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Saaty, T.L., 1993. *Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin*. Jakarta: PT. Pustaka Binaman Pressindo.
- Sri Harto Br., 2000. *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Suhaedi, A., 2007. *Analisis Ketersediaan Air Embung Persemaian Terhadap Kebutuhan Air Baku Kota Tarakan dan Alternatif Pengembangannya*. Tesis. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.