

**OPTIMASI OPERASI WADUK TEMBURUN  
UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR BAKU  
DI KABUPATEN KEPULAUAN ANAMBAS  
(Tesis)**

Oleh:

**FEBRIYANI**



**PROGRAM PASCA SARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2021**

## ABSTRAK

### OPTIMASI OPERASI WADUK TEMBURUN UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR BAKU DI KABUPATEN KEPULAUAN ANAMBAS

Oleh

FEBRIYANI

Kabupaten Kepulauan Anambas mengalami kesulitan dalam pemenuhan kebutuhan air bersih bagi penduduk yang bermukim di wilayahnya. Selain kondisi geografis yang terdiri dari banyak gugusan pulau, kesulitan juga dialami karena sumber air bersih yang kurang memadai dan bermukimnya penduduk yang tersebar di beberapa pulau.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui, mendeskripsikan dan menganalisis estimasi *inflow*, proyeksi *outflow* serta simulasi dan optimasi operasi Waduk Temburun. Data curah hujan dianalisis dengan menggunakan metode Mock untuk mendapatkan debit aliran. Debit andalan dihitung dengan menggunakan Metode Bulan Dasar Perencanaan (*Basic Month*). Simulasi I dilakukan dengan menetapkan tinggi tampungan mati pada elevasi tertentu. Simulasi II dilakukan dengan menetapkan kapasitas efektif waduk sebesar 16.763.000,00 m<sup>3</sup> dimana *Normal Water Level* (NWL) di tahun pertama simulasi berada pada elevasi +60 m. Optimasi dilakukan dengan menggunakan Metode Ripple.

Dari Simulasi I dengan *trial and error* untuk mendapatkan Tinggi Muka Air (TMA) waduk yang sama serta Simulasi II dengan menetapkan *Normal Water Level* (NWL) di tahun pertama pada elevasi +60,00 m didapatkan keberhasilan minimum 80% dicapai pada elevasi tampungan mati maksimum +10,50 m. Untuk memenuhi 100% kebutuhan air selama 5 (lima) tahun, pelepasan dilakukan setelah air dibiarkan terisi selama Periode Januari I hingga Juni II di tahun pertama. Untuk memenuhi 70% dari kebutuhan air baku pelayaran dan 85% dari kebutuhan air baku domestik dengan kapasitas tampungan waduk terisi dari 95% *inflow*, pelepasan dilakukan setelah air dibiarkan terisi selama Periode Januari I hingga Agustus I di tahun pertama.

Kata Kunci : *Inflow*, *outflow*, waduk, simulasi, optimasi

## ABSTRACT

### ***OPTIMIZATION OF TEMBURUN RESERVOIR TO FULFILL RAW WATER REQUIREMENT IN ANAMBAS ISLAND REGENCY***

By

**FEBRIYANI**

*Kabupaten Kepulauan Anambas has difficulty in getting clean water for the people who live in its territory. In addition to the geographical condition which consists of many islands, difficulties are also experienced due to inadequate sources of clean water and the settlement of residents spread over several islands.*

*The purpose of this research is to determine, describe and analyze the estimated inflow, outflow projection, simulation and optimization of the Waduk Temburun operation. Rainfall data were analyzed using the Mock method to obtain the flow rate. The mainstay debit is calculated using the Basic Month Method of Planning. Simulation I is carried out by setting the height of the dead reservoir at a certain elevation. Simulation II was carried out by setting the effective reservoir capacity of 16,763,000 m<sup>3</sup> where the Normal Water Level (NWL) in the first year of the simulation was at an elevation of +60 m. Optimization is done using the Ripple Method.*

*From Simulation I with trial and error to get the same reservoir water level and Simulation II by setting the Normal Water Level (NWL) in the first year at an elevation of +60.00 m, a minimum success rate of 80% is achieved at the maximum dead reservoir elevation +10.50 m. To get 100% of water needs for 5 (five) years, discharge is carried out after the water is allowed to fill during the January I to June II Period in the first year. To get 70% of shipping raw water needs and 85% of domestic raw water needs with a reservoir capacity filled from 95% of the inflow, discharge is carried out after the water is allowed to fill during the January I to August I period of the first year.*

***Keywords:* Reservoir, Inflow, Outflow, Simulation, Optimization**

**OPTIMASI OPERASI WADUK TEMBURUN UNTUK PEMENUHAN  
KEBUTUHAN AIR BAKU DI KABUPATEN KEPULAUAN ANAMBAS**

**Oleh:  
FEBRIYANI**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
Magister Teknik**

**pada  
Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCA SARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

Judul Tesis : **OPTIMASI OPERASI WADUK TEMBURUN  
UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR  
BAKU DI KABUPATEN KEPULAUAN  
ANAMBAS**

Nama Mahasiswa : **Febriyani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1825011009

Program Studi : Magister Teknik Sipil

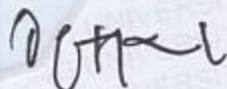
Fakultas : Teknik



Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

  
**Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.**  
NIP 19700129 199512 1 001

  
**Dr. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc.**  
NIP 19691219 199512 2 001

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

  
**Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.**  
NIP 19700129 199512 1 001

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.** .....

Sekretaris : **Dr. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc.** .....

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.** .....

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Bambang Utoyo S., S.Si., M.Si.** .....

### 2. Dekan Fakultas Teknik

  
**Prof. Dr. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**  
NIP 19620717 198703 1 002

### 3. Direktur Program Pascasarjana

  
**Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.**  
NIP 19710415 199803 1 005

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **5 Juni 2021**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik pada Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Lampung adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis ini, saya kutip dari hasil tulisan orang lain yang sumbernya saya cantumkan dengan jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah.

Tesis dengan judul "**Optimasi Operasi Waduk Temburun untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Baku di Kabupaten Kepulauan Anambas**" dapat diselesaikan berkat bimbingan dan dukungan dari para pembimbing saya Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc. dan Dr. Dyah Indriana K. S.T., M.Sc. serta kritik dan saran dari para penguji saya Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D. dan Dr. Bambang Utoyo S., S.Si., M.Si.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis yang saya buat ini bukan hasil karya saya sendiri atau ada plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi akademik dan tuntutan hukum sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2021



**FEBRIYANI**  
NPM. 1825011009

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis lahir di Pringsewu pada tanggal 14 Februari 1983, anak ke-6 (enam) dari 7 (tujuh) bersaudara dari pasangan Bapak Sofyan Aziz dan Ibu Nur 'Aini.

Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 1 Banding Agung pada tahun 1995, SMP Negeri 1 Talang Padang pada tahun 1998 dan di SMU Negeri 1 Talang Padang pada tahun 2001. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S-1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung yang diselesaikan di tahun 2008. Pada tahun 2018 penulis kembali melanjutkan pendidikan S-2 pada Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selain itu, penulis juga terdaftar sebagai Mahasiswa Angkatan Ke-VI Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Lampung di tahun 2000.

Ketika menjadi mahasiswa S-1, penulis aktif di beberapa organisasi, diantaranya pernah menjabat sebagai Sekjen Formalita (Foruim Mahasiswa Peduli Tanggamus) Periode 2001-2003, Ketua Umum Himateks (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil) Fakultas Teknik Universitas Lampung Periode 2004-2005, Anggota HMI (Himpunan Mahasiswa Islam) Komisariat Teknik Unila dan anggota UKM Bridge. Saat ini penulis mengemban amanah sebagai Ketua DPD ASKONI (Asosiasi Konsultan Nasional Indonesia) Provinsi Lampung Masa Bakti 2020-2025.

Penulis menikah, dikaruniai 1 (satu) orang putra dan 2 (dua) orang putri. Saat ini menjabat sebagai Direktur pada CV. Fajar Pematang Gamus, sebuah badan usaha yang berkegiatan di bidang perdagangan besar pengadaan barang, sewa peralatan dan jasa pelaksana konstruksi.

## PERSEMBAHAN

*Mempersembahkan karya ini untuk:*

**Kedua orang tua tercinta,**  
*yang meski telah tiada, penulis selalu meyakini kehadiran Ridha-nya.*

**Suami yang semakin kucinta,**  
*atas dukungan yang luar biasa dengan cinta yang tak biasa.  
Teruslah “memerdekakan” hati dan pikiran.  
Dunia sementara, akhirat selamanya.*

**Anak-anak belahan hati separuh jiwa,**  
*atas pengertian dan pengorbanan.  
Jangan risaukan masa depan. Dunia keperluan akhirat adalah tujuan.*

**Saudara-saudaraku tersayang,**  
*Terima kasih atas do'a dan segala bentuk kasih sayang.  
Mari bersama menjemput hidayah, semoga rahmat Allah senantiasa tercurah.*

**Dosen Pembimbing dan Penguji**  
*Bapak Endro Prasetyo Wahono  
Ibu Diah Indriana Kusumastuti  
Bapak Ahmad Zakaria  
Bapak Bambang Utoyo S.  
Terima kasih atas kesabaran membimbing selama proses penulisan berjalan.  
Semoga karya ini pada akhirnya tidak mengecewakan.*

**Para guruku semua jenjang pendidikan yang selamanya tetaplah guruku**  
*Terima kasih untuk ilmu dan bimbingan.  
Semoga menjadi air sungai pahala yang mengalir tanpa terputus.*

*Terkhusus:*  
**Almarhum Bapak Gatot Eko Susilo,** *yang sempat menguji seminar proposal penulis, terima kasih atas saran dan masukan.  
Benar yang Bapak katakan bahwa ini tidak mudah.  
Semoga Allah Subhanahu wa Ta'ala memberikan Bapak nikmat kubur dan menjadikan syurga sebagai tempat tinggal di alam keabadian kelak.  
Mohon maaf tesis ini tidak dapat saya selesaikan sebelum Bapak berpulang.*

**Teman-teman rasa saudara,**  
*Mahasiswa Magister Teknik Sipil Unila Angkatan 2018.  
Terima kasih atas kebersamaan, kekompakan, kepedulian dan dukungan.  
Mari kita “nongkrong” kembali, rindu kalian semua.*

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, Tuhan semesta alam, yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan ridho-Nya sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan.

Tesis “Optimasi Operasi Waduk Temburun Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Baku Di Kabupaten Kepulauan Anambas” disusun sebagai bagian proses pendidikan dari Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui, mendeskripsikan dan menganalisis estimasi *inflow*, proyeksi *outflow* serta simulasi dan optimasi operasi Waduk Temburun. Semoga tesis ini memberikan sumbangsih yang berarti bagi peningkatan kualitas analisis di bidang pengelolaan sumber daya air pada umumnya dan di bidang operasi waduk pada khususnya.

Terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Utama
2. Dr. Dyah Indriana Kusumastuti S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Kedua
3. Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D. selaku Penguji Utama
4. Dr. Bambang Utoyo S., S.Si., M.Si. Penguji Kedua

atas kepercayaan, kesempatan, bantuan dan kesabaran dalam memberikan bimbingan, arahan, kritik dan saran dalam proses penulisan sehingga tesis ini dapat terselesaikan. Semoga waktu, tenaga dan pikiran yang telah dikorbankan demi selesainya tesis ini menjadi amal jariyah dan asbab curahan rahmat Allah *Subhanahu wa Ta'ala*.

Terima kasih pula kepada segenap pimpinan dan civitas akademika Universitas Lampung:

1. Prof. Dr. Karomani, M.Si., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku Direktur Program Pascasarjana;
3. Prof. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D, IPU., ASEAN Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;

4. Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung;
5. Bapak dan ibu dosen pada Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membekali penulis dengan ilmu dan pengetahuan selama penulis berproses dalam menempuh pendidikan;
6. Staff administrasi pada Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan demi lancarnya proses perkuliahan hingga selesainya masa studi;
7. Teman-teman Angkatan 2018 Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas kebersamaan, kepedulian dan dukungan;
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas do'a, nasihat dan dukungan hingga tesis ini dapat terselesaikan.

Penulis menerima kritik dan saran demi penyempurnaan. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan bagi khalayak secara umum.

Bandar Lampung, Juni 2021  
Penulis,

Febriyani

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Manfaat Penelitian .....	6
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 (DAS) Daerah Aliran Sungai .....	7
2.2 Waduk .....	8
2.3 Hujan .....	9
2.3.1 Pengisian data hilang .....	9
2.3.2 Pengolahan data hujan .....	10
2.4 Ketersediaan Air .....	10
2.4.1 Debit Aliran Sungai .....	10
2.4.2 Debit Andalan.....	14
2.5 Air Baku .....	15
2.6 Estimasi Tampungan Waduk.....	15
2.7 Proyeksi Jumlah Penduduk.....	16
2.8 Kebutuhan Air Bersih Domestik.....	17
2.9 Kebutuhan Air Bersih Pelayaran .....	18

2.10	Simulasi Pola Operasi Waduk .....	20
2.11	Pemodelan Optimasi dengan Metode Ripple .....	23
2.12	Penelitian Terdahulu .....	25

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	28
3.2	Kondisi Lokasi Penelitian.....	31
3.3	Sumber Data .....	32
3.4	Tahap Penelitian.....	32
3.4.1	Tahap Persiapan.....	32
3.4.2	Tahap Pengumpulan Data .....	32
3.4.3	Tahap Analisis .....	39
3.4.4	Tahap Simulasi Pola Operasi Waduk .....	46
3.4.5	Tahap Optimasi Operasi Waduk .....	49
3.4.6	Bagan Alir Penelitian.....	50

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Hasil Analisis Topografi .....	51
4.2	Hasil Analisis Hidrologi.....	52
4.2.1	Analisis data curah hujan .....	52
4.2.2	Analisis ketersediaan air (inflow).....	56
4.2.3	Analisis kebutuhan air baku (outflow).....	62
4.3	Simulasi Waduk Inflow.....	69
4.3.1	Simulasi I.....	69
4.3.2	Simulasi II .....	79
4.4	Optimasi Operasi Waduk .....	89
4.4.1	Kumulatif Inflow dan outflow .....	89
4.4.2	Optimasi pemenuhan kebutuhan 100% .....	90
4.4.3	Optimasi Kebutuhan Minimum.....	91

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	93
-----	------------------	----

5.2	Saran .....	94
-----	-------------	----

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Standar Kebutuhan Air Bersih untuk Rumah Tangga .....	17
Tabel 3.1 Jumlah Penduduk Kepulauan Anambas.....	34
Tabel 3.2 Jumlah Kapal Motor.....	35
Tabel 3.3 Produksi Perikanan Tangkap.....	36
Tabel 3.4 Jumlah Kunjungan Kapal di Kabupaten Kepulauan Anambas .....	37
Tabel 3.5 Jumlah Penumpang Kapal di Kab. Kepulauan Anambas.....	37
Tabel 3.6 Elevasi, luas permukaan dan volume kumulatif Waduk Temburun .....	38
Tabel 3.7 Standar Kebutuhan Air Baku Domestik.....	44
Tabel 4.1 Curah hujan rata-rata bulanan tahun 1998 sampai 2017 .....	53
Tabel 4.2 Jumlah tinggi curah hujan tahunan (mm) .....	55
Tabel 4.3 Hasil perhitungan Evaporasi Potensial (mm/hari) .....	57
Tabel 4.4 Debit Aliran 2 Mingguan dan.....	59
Tabel 4.5 Debit andalan 50% (Q <sub>50</sub> ) .....	61
Tabel 4.6 Pertumbuhan penduduk Kepulauan Anambas.....	62
Tabel 4.7 Proyeksi Jumlah Penduduk 20 Tahun Mendatang (2018-2038) ....	63
Tabel 4.8 Proyeksi Kebutuhan Air Bersih Penduduk.....	64
Tabel 4.9 Proyeksi jumlah kapal motor Tahun 2038 .....	64
Tabel 4.10 Proyeksi Produksi Perikanan Tangkap tahun 2038 .....	66
Tabel 4.11 Proyeksi Pertumbuhan Jumlah Kunjungan Kapal di Kabupaten Kepulauan Anambas untuk Tahun 2038 .....	67

Tabel 4.12	Proyeksi Jumlah Penumpang Kapal di Kabupaten Kepulauan Anambas untuk Tahun 2038 .....	68
Table 4.13	Prosentase kegagalan untuk elevasi tampungan mati +6,00 m dengan TMA awal = TMA akhir .....	71
Table 4.14	Prosentase kegagalan untuk elevasi tampungan mati +7,00 m dengan TMA awal = TMA akhir .....	72
Table 4.15	Prosentase kegagalan untuk elevasi tampungan mati +8,00 m dengan TMA awal = TMA akhir .....	73
Table 4.16	Prosentase kegagalan untuk elevasi tampungan mati +9,00 m dengan TMA awal = TMA akhir .....	75
Table 4.17	Prosentase kegagalan untuk elevasi tampungan mati +10,00 m dengan TMA awal = TMA akhir .....	76
Table 4.18	Prosentase kegagalan untuk elevasi tampungan mati +10,50 m dengan TMA awal = TMA akhir .....	77
Table 4.19	Prosentase kegagalan untuk elevasi tampungan mati +10,60 m dengan TMA awal = TMA akhir .....	79
Table 4.20	Prosentase kegagalan untuk NWL +60 m dan DSL +6,00 m .....	80
Table 4.21	Prosentase kegagalan untuk NWL +60 m dan DSL +7,00 m .....	81
Table 4.22	Prosentase kegagalan untuk NWL +60 m dan DSL +8,00 m .....	83
Table 4.23	Prosentase kegagalan untuk NWL +60 m dan DSL +9,00 m .....	84
Table 4.24	Prosentase kegagalan untuk NWL +60 m dan DSL +10,00 m .....	86
Table 4.25	Prosentase kegagalan untuk NWL +60 m dan DSL +10,50 m .....	87
Table 4.26	Prosentase kegagalan untuk NWL +60 m dan DSL +10,60 m .....	88
Tabel 4.27	Kumulatif inflow dan outflow .....	89

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Zona Tampungan Waduk .....	21
Gambar 2.2 Model Simulasi .....	22
Gambar 2.3 Diagram Kurva Massa .....	25
Gambar 3.1 Peta Kabupaten Kepulauan Anambas .....	29
Gambar 3.2 Peta Kecamatan Siantan Timur.....	29
Gambar 3.3 Lokasi Rencana Bendungan Temburun .....	30
Gambar 3.4 Lokasi Rencana Waduk Temburun.....	31
Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Elevasi dan Luas Tampungan Waduk Temburun.....	39
Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Elevasi dan Volume Tampungan Waduk Temburun.....	39
Gambar 3.7 Bagan Alir Penelitian .....	50
Gambar 4.1 Peta daerah Aliras Sungai Arung Hijau .....	51
Gambar 4.2 Grafik curah hujan bulanan rerata Januari 1998 sampai Desember 2017 .....	54
Gambar 4.3 Grafik curah hujan tahunan (mm) .....	56
Gambar 4.4 Grafik TMA Waduk dengan Elevasi Tampungan Mati +6,00 m .....	70
Gambar 4.5 Grafik TMA Waduk dengan Elevasi Tampungan Mati	

	+7,00 m .....	72
Gambar 4.6	Grafik TMA Waduk dengan Elevasi Tampungan Mati	
	+8,00 m .....	73
Gambar 4.7	Grafik TMA Waduk dengan Elevasi Tampungan Mati	
	+9,00 m .....	74
Gambar 4.8	Grafik TMA Waduk dengan Elevasi Tampungan Mati	
	+10,00 m .....	76
Gambar 4.9	Grafik TMA Waduk dengan Elevasi Tampungan Mati	
	+10,50 m .....	77
Gambar 4.10	Grafik TMA Waduk dengan Elevasi Tampungan Mati	
	+10,60 m .....	78
Gambar 4.11	Grafik TMA Waduk dengan NWL +60 m dan DSL +6,00 m.....	80
Gambar 4.12	Grafik TMA Waduk dengan NWL +60 m dan DSL +7,00 m.....	81
Gambar 4.13	Grafik TMA Waduk dengan NWL +60 m dan DSL +8,00 m.....	83
Gambar 4.14	Grafik TMA Waduk dengan NWL +60 m dan DSL +9,00 m.....	84
Gambar 4.15	Grafik TMA Waduk dengan NWL +60 m dan DSL +10,00 m...	85
Gambar 4.16	Grafik TMA Waduk dengan NWL +60 m dan DSL +10,50 m...	87
Gambar 4.17	Grafik TMA Waduk dengan NWL +60 m dan DSL +10,60 m...	88
Gambar 4.18	Kurva Massa Waduk Kumulatif <i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> .....	90
Gambar 4.19	Optimasi dengan Kumulatif <i>Inflow</i> dan Pelepasan	
	100% <i>Outflow</i> .....	91
Gambar 4.20	Optimasi dengan Kumulatif <i>Inflow</i> 95% dan Pelepasan	
	Outflow 85% Air Baku Domestik dan 70% Air Baku	
	Pelayaran .....	92

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kehadiran negara di pulau-pulau kecil atau terluar sangatlah penting dalam segala manifestasi yang mungkin. Hal ini untuk alasan yang lebih pragmatis terkait kesejahteraan masyarakat. Kehadiran negara perlu untuk menjamin masyarakat secara ekonomi, menyediakan fasilitas kesehatan serta infrastruktur yang memadai (Arsana, 2013).

Kabupaten Kepulauan Anambas merupakan pemekaran wilayah dari Kabupaten Natuna Provinsi Kepulauan Riau yang terbentuk berdasarkan Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2008 tanggal 24 Juni 2008. Kabupaten Kepulauan Anambas berada di antara Singapura dan Kepulauan Natuna. Posisi ini menjadikan Kabupaten Kepulauan Anambas sebagai salah satu kabupaten terdepan yang beberapa pulaunya merupakan pulau terluar dari Wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia. Sebagai kepulauan terluar, perlu adanya perhatian khusus mengenai ketersediaan infrastruktur. Salah satu infrastruktur yang sangat penting dibutuhkan oleh penduduk kepulauan tersebut adalah infrastruktur air bersih.

Permasalahan kebutuhan air terkait langsung dengan masalah ketersediaan air (Ramadhan, et al., 2018). Pembangunan waduk merupakan salah satu alternatif dari sistem penyediaan air. Keberadaan waduk dapat membuat penggunaan sumber daya air untuk masyarakat menjadi lebih efisien sehingga pengoperasian waduk secara optimal menjadi dianggap penting (Marselina dan Sabar, 2018). Waduk mempunyai tugas untuk modifikasi dari distribusi air menurut alam, dan menciptakan distribusi air buatan (Natalia, 2008).

Operasi pemanfaatan sumber daya air yang optimal merupakan aspek yang sangat penting dalam pendayagunaan sumberdaya air khususnya pada perencanaan operasi waduk (Wesli, 2013). Operasi waduk (*reservoir operation*) adalah penampungan aliran air sungai ke dalam sebuah waduk (*reservoir*) dan pelepasan air yang telah ditampung tersebut untuk berbagai tujuan tertentu (Samosir, et al., 2011). Tujuan dibangunnya sebuah waduk akan sangat berpengaruh dalam menentukan strategi pengoperasiannya (Nuraeni, 2011). Kebijakan pola operasi dalam sistem sumberdaya air berfungsi untuk memanaajemen air dalam sistem. Kebijakan tersebut dikhususkan untuk menerima peraturan sistem pengaliran dan sistem kebutuhan dengan suatu cara optimasi dengan memaksimalkan tujuan operasi yang biasanya berkaitan erat dengan keuntungan.

Pada Tahun 2017 PT. INAKKO Internasional Konsulindo sebagai badan usaha jasa konsultasi menjadi penyedia jasa dalam melaksanakan FS Air Baku di Kabupaten Kepulauan Anambas berdasarkan kontrak kerja dengan Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Sumatera IV sebagai pemilik pekerjaan atau pengguna jasa. Studi kelayakan ini menjadi langkah awal keseriusan Pemerintah Kabupaten

Kepulauan Anambas dalam upaya mewujudkan pemenuhan kebutuhan air bersih bagi penduduk di wilayahnya. Lokasi pekerjaan studi kelayakan ini meliputi Pulau Siantan, Pulau Palmatak, Pulau Bajau, Pulau Air Asuk dan Pulau Jemaja. Hasil studi tersebut salah satunya menyatakan bahwa sumber air Arung Hijau dapat dijadikan sebagai sumber air baku yang secara ekonomi teknis layak untuk ditindak lanjuti ke tahap perencanaan desain dan pelaksanaan konstruksinya.

Berdasarkan hasil studi kelayakan, kemudian dilakukan langkah perencanaan pembangunan Bendungan Temburun di Desa Temburun. Dengan terbangunnya Bendungan Temburun, diharapkan potensi waduknya mampu mengatasi kesulitan air bersih yang selama ini dialami oleh penduduk yang bermukim di wilayah Kabupaten Kepulauan Anambas. Melihat pentingnya keberadaan Waduk Temburun dalam pemenuhan kebutuhan air baku di Kepulauan Anambas, maka untuk mendapatkan pola operasi terbaik perlu dilakukan simulasi dan optimasi.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Kabupaten Kepulauan Anambas mengalami kesulitan dalam pemenuhan kebutuhan air bersih bagi penduduk yang bermukim di wilayahnya. Selain kondisi geografis yang terdiri dari banyak gugusan pulau, kesulitan juga dialami karena sumber air bersih yang kurang memadai dan bermukimnya penduduk yang tersebar di beberapa pulau.

Berdasarkan hasil FS Air Baku di Kabupaten Kepulauan Anambas yang dilaksanakan oleh PT. INAKKO Internasional Konsulindo di Tahun 2017 menyatakan bahwa secara kualitas, Sungai Temburun dapat dijadikan sebagai

sumber air baku dan secara ekonomi teknis layak untuk ditindak lanjuti dengan tahapan perencanaan desain dan pelaksanaan konstruksi. Oleh karena itu dilakukanlah inisiasi dan rencana pembangunan Bendungan Temburun yang bertujuan agar air yang tertampung di Waduk Temburun dapat memenuhi kebutuhan air baku di Kecamatan Siantan, Kecamatan Siantan Timur, Kecamatan Siantan Tengah, Kecamatan Siantan Selatan dan Kecamatan Palmatak Kabupaten Kepulauan Anambas.

Untuk mewujudkan tercapainya tujuan pembangunan waduk tersebut, perlu dilakukan optimasi secara tepat. Sebelum optimasi dilakukan, terlebih dahulu harus dilakukan simulasi operasi waduk. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan mengetahui besarnya kebutuhan air dan kapasitas tampungan waduk sehingga didapatkan pola operasi optimal ditinjau dari hubungan antara kebutuhan air dengan ketersediaannya.

### **1.3 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, kemudian dirumuskan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa *inflow* Waduk Temburun;
2. Berapa proyeksi *outflow* Waduk Temburun untuk keperluan air baku di Kabupaten Kepulauan Anambas;
3. Bagaimana optimasi operasi Waduk Temburun.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui, mendeskripsikan dan menganalisis estimasi *inflow* Waduk Temburun;
2. Mengetahui, mendeskripsikan dan menganalisis proyeksi *outflow* Waduk Temburun untuk keperluan air baku di Kabupaten Kepulauan Anambas;
3. Mengetahui, mendeskripsikan dan menganalisis simulasi dan optimasi operasi Waduk Temburun.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. *Outflow* Waduk Temburun hanya untuk kebutuhan air baku domestik dan air baku konsumsi pelayaran;
2. Proyeksi kebutuhan air baku domestik dan air baku konsumsi pelayaran hanya untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang (2018 sampai dengan 2038);
3. Estimasi volume tampungan waduk tidak memperhitungkan besarnya rembesan dan jumlah sedimen;
4. Analisis tidak mempertimbangkan kemungkinan kerusakan fungsi DAS;
5. Tidak membahas mengenai desain teknis konstruksi bangunan.

## **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Dapat menjadi referensi dalam analisis optimasi pola operasi waduk;
2. Dapat menjadi masukan bagi pihak berwenang dalam perencanaan pembangunan Waduk Temburun.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 DAS (Daerah Aliran Sungai)**

Sungai adalah salah satu dari sumberdaya alam yang bersifat mengalir (*flowing resources*), sehingga pemanfaatan air di hulu akan menghilangkan peluang di hilir (*opportunity value*), pencemaran di hulu akan menimbulkan biaya sosial di hilir (*externality effect*) dan pelestarian di hulu akan memberi manfaat di hilir (Pengesti, dkk., 2000 dalam Kodoatie, et al., 2001). Sungai adalah fitur alami dan integritas ekologis, yang berguna bagi ketahanan hidup (Brierly & Fryirs, 2005 dalam Kodoatie, 2020).

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau (Triatmodjo, 2008). DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi bergaris kontur.

Bangunan air seperti bendung atau bendungan dan waduk merupakan bangunan yang diperlukan untuk memanfaatkan dan mengendalikan air di sungai. Luas DAS berpengaruh terhadap besarnya debit aliran sungai. Pada umumnya, semakin luas

DAS, maka semakin besar debit aliran sungai. Debit aliran sungai yang besar dapat dimanfaatkan untuk menjadi *inflow* waduk. Besar debit aliran air di sungai saat musim hujan dapat ditampung di waduk agar airnya dapat dimanfaatkan ketika musim kemarau.

Meski secara umum luasan DAS berpengaruh terhadap besarnya debit aliran sungai, tidak dapat dipungkiri bahwa jenis tutupan lahan pada Daerah Aliran Sungai sangat mempengaruhi besarnya limpasan air permukaan yang masuk ke sungai. Semakin besar limpasan air pada suatu DAS, semakin besar pula debit aliran air sungai.

## **2.2 Waduk**

Waduk merupakan tempat penyimpanan air sementara selama ada kelebihan air dan segera dikeluarkan bila diperlukan (Syarifuddin, 2001 dalam Kodoatie, dkk., 2002). Air waduk dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan seperti pemenuhan kebutuhan air baku, kebutuhan air irigasi maupun untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Hal-hal pokok yang harus diperhatikan agar fungsi waduk menjadi optimal adalah kapasitas waduk, debit input dan debit outputnya. Debit input dipengaruhi oleh tinggi curah hujan di daerah tangkapan air dan debit output dipengaruhi oleh keperluan atau penggunaan airnya.

Waduk yang terlalu besar sering kali disebabkan oleh kurang tepatnya analisis keadaan hidrologi saat perencanaan. Fungsi waduk secara prinsip adalah menampung air saat debit tinggi untuk digunakan saat debit rendah. Waduk mempunyai tugas untuk memodifikasi distribusi air menurut alam, dan menciptakan distribusi air buatan. Kelayakan pembuatan waduk ditinjau dari

berbagai aspek, baik kelayakan teknik, kelayakan ekonomi maupun sosial disamping itu harus punya kelayakan lingkungan (Sudjarwadi, 2008 dalam Sulistiono et al., 2015).

### **2.3 Hujan**

Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan (Triatmodjo, 2008).

Di Indonesia, pengukuran hujan secara resmi salah satunya dilakukan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Jumlah hujan yang jatuh di atas permukaan bumi dianggap terdistribusi merata pada seluruh daerah tangkapan air. Jumlah hujan yang jatuh tersebut dinyatakan dalam kedalaman air (biasanya dinyatakan dalam satuan mm). Jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam satuan waktu seperti mm/jam, mm/hari, mm/minggu, mm/bulan atau mm/tahun disebut intensitas hujan. Hujan yang terukur oleh alat pengukur hujan akan mewakili intensitas hujan pada suatu luasan daerah di sekitarnya.

#### **2.3.1 Pengisian data hilang**

Pada data curah hujan sering ditemukan adanya data yang hilang. Data hilang ini biasanya terjadi karena terjadi kerusakan pada alat sehingga data tidak tercatat atau dapat pula terjadi karena pengamat tidak mencatat datanya. Data yang hilang ini dapat diperbaiki dengan mengisi nilai berdasarkan perkiraan. Selain masalah di atas, data hilang dapat juga terjadi karena adanya perubahan kondisi di lokasi

pencatatan pada suatu periode seperti terjadi pemindahan atau perbaikan stasiun, adanya perubahan prosedur pengukuran, atau karena penyebab yang lain. Selain data hilang, sering pula terjadi adanya data *errorr*. Data yang *errorr* biasanya ditunjukkan dengan angka 8888 dan 9999 pada data hujan harian. Perbaikan data dapat dilakukan satu per satu secara manual.

### **2.3.2 Pengolahan data hujan**

Setelah perbaikan atau validasi selesai dilakukan, yang harus dilakukan terhadap data selanjutnya adalah melakukan rekapitulasi data curah hujan harian menjadi bulanan atau setengah bulanan, menghitung jumlah hari hujan dan menghitung besarnya hujan rata-rata setiap bulan. Setelah rekapitulasi curah hujan harian menjadi bulanan, selanjutnya dilakukan pula perhitungan hujan tahunan.

## **2.4 Ketersediaan Air**

### **2.4.1 Debit Aliran Sungai**

Perkiraan volume air sangat penting karena hal tersebut menjadi dasar dalam perencanaan dan pengoperasian sistem sumber daya air. Potensi ketersediaan air yang tertampung di waduk (*inflow*) dapat diperoleh dari intake aliran sungai dan air hujan yang turun di atas permukaan waduk. Dalam penentuan besaran suplay air diperlukan harga ekstrim rendah dari hujan atau debit (*low flow*). Untuk keperluan ini harus dilakukan analisis debit andalan (*dependable discharge*).

Dalam hal tidak tersedianya data debit aliran sungai pada suatu DAS maka dapat digunakan beberapa metode untuk mengestimasi data debit, antara lain Metode Perimbangan Sederhana (*Simple Water Balanced*), Metode Perbandingan DAS, Tank Model, Metode F.J. Mock, dan lain-lain.

Dr. F.J. Mock memperkenalkan model sederhana simulasi keseimbangan air bulanan untuk debit aliran sungai dengan menggunakan data curah hujan, evaporasi dan karakteristik hidrologi dari suatu daerah pengaliran. Kriteria perhitungan dan asumsi yang digunakan yaitu (Limantara, 2010 dalam Limantara 2018):

**a. Evapotranspirasi Aktual (Ea)/Evaporasi Terbatas (Et)**

Evaporasi aktual dihitung dari Evaporasi Potensial Metode Penman (ETo).

Hubungan ETo dengan Ea dihitung dengan persamaan

$$Ea = ETo - \Delta E \text{ (dengan } Ea = Et) \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta E = ETo \times (m/20) \times (18 - n) \text{ dengan } (E = \Delta E) \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

Ea = Evapotranspirasi aktual (mm/hari)

Et = Evaporasi terbatas (mm/hari)

ETo = Evaporasi Potensial metode Penman (mm/hari)

m = Prosentase lahan yang tidak tertutup tanaman, ditaksir dari peta tata guna lahan

n = Jumlah hari hujan dalam sebulan

**b. Keseimbangan Air di Permukaan Tanah**

1) Air hujan yang mencapai permukaan tanah dirumuskan sebagai berikut:

$$Ds = P - Et \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

Ds = Air hujan yang mencapai permukaan tanah (mm/hari)

P = Curah hujan (mm/hari)

Et = Evapotranspirasi terbatas (mm/hari)

Bila harga  $D_s$  positif ( $P > E_t$ ) maka air akan masuk ke dalam tanah bila kapasitas kelembapan tanah belum terpenuhi dan sebaliknya air akan melimpas bila kondisi tanah telah jenuh. Bila harga  $D_s$  negatif ( $P < E_t$ ) maka sebagian air tanah akan keluar dan terjadi kekurangan (*defisit*).

- 2) Perubahan kandungan air tanah (*soil storage*) tergantung pada harga  $D_s$ . Bila harga  $D_s$  negatif maka kelembapan tanah akan berkurang tetapi bila harga  $D_s$  positif maka akan memberikan tambahan untuk mencukupi kekurangan kapasitas kelembapan tanah pada bulan sebelumnya.
- 3) Kapasitas Kelembapan Tanah (*Soil Moisture Capacity*)
- 4) Perkiraan kapasitas kelembapan tanah awal diperlukan saat dimulai simulasi. Besarnya nilai kelembapan awal tergantung dari kondisi porositas lapisan tanah atas dari daerah pengaliran. Kapasitas kandungan air dalam tanah biasanya diambil 50 sampai 250 mm per 1 m<sup>3</sup>. Semakin besar porositas tanah lapisan atas maka kapasitas kelembapan tanah akan semakin besar.

### **c. Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah**

- 1) Koefisien Infiltrasi (*i*)

Koefisien infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang porous memiliki nilai infiltrasi lebih besar dibandingkan dengan nilai infiltrasi pada tanah lempung berat. Batasan koefisien infiltrasi antara 0 – 1,0.

- 2) Penyimpanan Air Tanah (*Groundwater Storage*)

Pada permulaan simulasi harus ditentukan penyimpanan awal (*initial storage*) yang besarnya tergantung pada kondisi geologi setempat dan

waktunya. Bila daerah pengaliran kecil dengan kondisi geologi lapisan bawah adalah tidak tembus air bahkan tidak ada air di sungai saat musim kemarau, maka dapat ditentukan penyimpanan air tanah menjadi nol.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan kandungan air bawah tanah yaitu:

$$V_n = k.V_{n-1} + \frac{1}{2} (1 + k) \cdot I_n \dots\dots\dots (4)$$

$$DV_n = V_n - V_{n-1} \dots\dots\dots (5)$$

dimana:

- $V_n$  = Volume air tanah bulan ke -n
- $V_{n-1}$  = Volume air tanah bulan ke (n-1)
- $K$  =  $qt/q_0$  = faktor resesi aliran air tanah
- $qt$  = aliran air tanah pada waktu t (bulan ke t)
- $q_0$  = aliran air tanah awal (bulan ke 0)
- $I_n$  = Infiltrasi bulan ke-n
- $DV_n$  = perubahan kandungan air bawah tanah

Faktor resesi air tanah (k) antara 1 – 1,0. Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air (*permeable*).

3) Limpasan (*Run Off*)

Aliran dasar (BF) didapatkan dari nilai infiltrasi dikurangi nilai perubahan volume aliran air dalam tanah. Limpasan langsung (DR) didapatkan dari nilai kelebihan air (*water surplus*) dikurangi nilai infiltrasi. Limpasan atau aliran air didapatkan dari aliran dasar ditambah limpasan langsung dan debit

aliran didapatkan dari nilai limpasan atau aliran air dikalikan dengan luas DAS.

$$BF = I - DV_n \dots\dots\dots (6)$$

$$DR = WS - I \dots\dots\dots (7)$$

$$R = BF + DR \dots\dots\dots (8)$$

dimana:

$$R = \text{Besar aliran (mm/satuan waktu)}$$

### 2.4.2 Debit Andalan

Debit andalan adalah banyaknya air yang tersedia untuk keperluan tertentu (seperti irigasi, air minum, dan lain- lain) sepanjang tahun dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan, debit andalan diperoleh dari data debit sungai dan mata air (Yosananto et al., 2013).

Menurut Limantara (2018) debit andalan didefinisikan sebagai debit yang tersedia sepanjang tahun dengan resiko kegagalan tertentu. Besarnya debit andalan untuk berbagai keperluan adalah sebagai berikut:

- |                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Air minum                 | 99% (sering kali mendekati 100%) |
| 2. Industri                  | 95 – 98%                         |
| 3. Irigasi (setengah lembab) | 70 – 85%                         |
| 4. Kering                    | 80 – 95%                         |
| 5. PLTA                      | 85 – 90%                         |

Debit andalan untuk waduk besarnya adalah 50%.

Ada 4 (empat) metode yang digunakan untuk menganalisis debit andalan, yaitu Metode Debit Rata-Rata Minimum, Metode *Flow Characteristic*, Metode Tahun Dasar Perencanaan dan Metode Bulan Dasar Perencanaan.

Pada Metode Bulan Dasar Perencanaan, keandalan dihitung mulai bulan Januari sampai dengan Bulan Desember. Hasilnya berupa keandalan debit tiap bulan mulai Januari sampai Desember sehingga lebih bisa menggambarkan keandalan pada musim kemarau dan musim penghujan.

## **2.5 Air Baku**

Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum pada Pasal 1 Ayat (1) disebutkan bahwa “Air Baku untuk Air Minum Rumah Tangga, yang selanjutnya disebut Air Baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan, air tanah, air hujan dan air laut yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai Air Baku untuk Air Minum”. Dalam ayat (3) disebutkan pula bahwa “Kebutuhan Pokok Air Minum Sehari-hari adalah air untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari yang digunakan untuk keperluan minum, masak, mandi, cuci, peturasan, dan ibadah”.

Demikian penting air baku sehingga harus dilakukan berbagai upaya agar kebutuhan akan air baku tersebut pada suatu wilayah dapat terpenuhi, baik secara kuantitas maupun kualitas.

## **2.6 Estimasi Tampung Waduk**

Penggunaan waduk sebagai sarana penampung air sementara sering mengakibatkan kehilangan air karena evaporasi dan rembesan. Namun demikian terdapat

keuntungan atas keberadaan waduk dari pengaturan suplai air, tampungan air banjir, pembangkit *hydropower* dan kegiatan rekreasi.

Tampungan waduk itu sendiri terbagi atas tiga bagian, yaitu:

1. Tampungan aktif (*active storage*) yang berfungsi untuk pengaturan dan suplai air;
2. Tampungan mati (*dead storage*) yang berfungsi untuk tampungan sedimen, pengembangan rekreasi atau produksi *hydropower*;
3. Tampungan banjir (*flood storage*) yang berfungsi untuk mereduksi kerusakan banjir potensial di daerah hilir.

Seringkali ketiga bagian ini dimodelkan secara terpisah untuk kemudian dijumlahkan sebagai tampungan waduk total.

## 2.7 Proyeksi Jumlah Penduduk

Menurut Nugroho (2004) dalam Febriyani (2008), laju pertumbuhan jumlah penduduk dihitung berdasarkan angka rata-rata pertumbuhan penduduk daerah penelitian dengan menggunakan persamaan:

$$P = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

dimana:

P = Pertumbuhan rata-rata jumlah penduduk per tahun (%)

P<sub>1</sub> = Jumlah penduduk pada tahun pertama

P<sub>2</sub> = Jumlah penduduk pada tahun kedua

Proyeksi jumlah penduduk dihitung menggunakan Metode Aritmatika dengan persamaan:

$$P_n = P_o (1+P)^n \dots\dots\dots (10)$$

dimana:

$P_n$  = Proyeksi jumlah penduduk untuk n tahun

$P_o$  = Jumlah penduduk pada awal tahun proyeksi

$P$  = Laju pertumbuhan penduduk rata-rata

$n$  = Lama tahun proyeksi

## 2.8 Kebutuhan Air Bersih Domestik

Kebutuhan air bersih domestik dapat dihitung berdasarkan kriteria/petunjuk teknis yang dikeluarkan oleh Dirjen Cipta Karya (Nopember 1994) dan disesuaikan dengan kondisi sosial ekonomi penduduk di daerah yang akan dilayani. Standar kebutuhan air bersih untuk rumah tangga menurut Cipta Karya dan Report IUDP (*Integrated Urban Development Project*) disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Standar Kebutuhan Air Bersih untuk Rumah Tangga

No.	Tingkat	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan		Kehilangan (%)
			RT (l/org/hr)	Umum (l/org/hr)	
<b>A. Standar Cipta Karya</b>					
1	KM	>1.000.000	190	30	20
2	KB	500.000-1.000.000	170	30	20
3	KS	100.000-500.000	150	30	20
4	KK	20.000-100.000	130	30	20
5	Kc	<20.000	100	30	20
<b>B. Report IUDP (<i>Integrated Urban Development Project</i>)</b>					
1	KM	>1.000.000	120	30	15-25
2	KB	500.000-1.000.000	100	30	15-25
3	KS	100.000-500.000	90	30	15-25
4	KK	20.000-100.000	60	30	15-25
5	Kc	<20.000	45	30	15-25
6	Ds	<3.000	30	30	15-25

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 1994)

## 2.9 Kebutuhan Air Bersih Pelayaran

Kebutuhan air bersih pelayaran menurut Pane (2005) dalam Yumi (2007) dihitung dengan cara:

### a. Aktifitas Penangkapan Ikan

#### 1. Kebutuhan air bersih untuk melaut (KAM)

$$JA = H \times N \times (1 + \alpha) \times A \dots\dots\dots (11)$$

$$KAM = KM \times JA \dots\dots\dots (12)$$

dimana:

JA = kebutuhan air bersih per trip untuk setiap kapal (ton/unit)

H = rata-rata lama hari operasi penangkapan dalam setahun per jenis kapal penangkapan (hari)

N = rata-rata jumlah awak kapal per jenis kapal penangkapan ikan (orang/unit)

A = 50 liter/orang/hari (0,05 ton/orang/hari) untuk kapal motor, 3 liter/orang/hari (0,003 ton/orang/hari) untuk perahu motor tempel

$\alpha$  = koefisien besarnya cadangan air bersih di kapal (0,5)

KM = banyaknya kapal yang melakukan kegiatan operasi penangkapan ikan yang ber-fishing base dan melakukan pembelian kebutuhan melaut di pelabuhan perikanan (unit/tahun)

#### 2. Kebutuhan air bersih untuk pencucian ikan (KAI)

$$KAI = (Kp \times p) \times \beta \dots\dots\dots (13)$$

dimana:

Kp = banyaknya kapal yang melakukan pembongkaran hasil tangkapan (unit/tahun)

$p$  = produksi hasil tangkapan yang direncanakan untuk dibongkar per kapal (kg/unit)

$\beta$  = rasio kebutuhan air untuk pencucian ikan pada waktu pembongkaran (0,2 liter/Kg)

3. Kebutuhan air bersih untuk pencucian palkah kapal (KAP)

$$KAP = Kp \times Vp \times \gamma \dots\dots\dots (14)$$

dimana:

$Kp$  = banyaknya kapal yang melakukan pembongkaran hasil tangkapan (unit/tahun)

$Vp$  = rata-rata ukuran volume palkah kapal (m<sup>3</sup>/unit)

$\gamma$  = rasio kebutuhan air bersih untuk pencucian palkah kapal ikan (20 liter/ m<sup>3</sup> atau 0,02 ton/ m<sup>3</sup>)

4. Kebutuhan air bersih untuk aktifitas penangkapan ikan (KAT)

$$KAT = KAM + KAI + KAP \dots\dots\dots (15)$$

**b. Kapal Motor Penumpang**

1. Kebutuhan air bersih kapal

$$JA1 = H1 \times N1 \times (1 + \alpha1) \times A1 \dots\dots\dots (16)$$

$$KAM1 = KM1 \times JA1 \dots\dots\dots (17)$$

dimana:

$JA1$  = kebutuhan air bersih untuk setiap kapal dan awaknya dalam 1 kali perjalanan (ton/unit)

$H1$  = waktu yang diperlukan untuk 1 kali perjalanan (hari)

$N1$  = rata-rata jumlah awak kapal (orang/unit)

- A1 = 50 liter/orang/hari (0,05 ton/orang/hari) untuk kapal motor
- $\alpha_1$  = koefisien besarnya cadangan air bersih di kapal (0,5)
- KM1 = proyeksi banyaknya kapal yang melakukan kunjungan (unit/tahun)

2. Kebutuhan air bersih penumpang

$$JA_2 = H_2 \times A_2 \times H_1 \times N_1 \times (1 + \alpha_1) \times A_1 \dots\dots\dots (18)$$

$$KAM_2 = KM_2 \times JA_2 \times H_1 \times N_1 \times (1 + \alpha_1) \times A_1 \dots\dots\dots (19)$$

Dimana:

JA<sub>2</sub> = kebutuhan air bersih penumpang untuk setiap kapal dalam 1 kali perjalanan (ton/unit)

H<sub>2</sub> = waktu yang diperlukan untuk 1 kali perjalanan (hari)

A<sub>2</sub> = 30 liter/orang/hari (0,03 ton/orang/hari) untuk Kelompok Niaga 1

KM<sub>2</sub> = proyeksi banyaknya penumpang kapal yang berangkat di tahun 2038 (orang/tahun)

3. Kebutuhan air bersih pelayaran

$$KAM_3 = KAM_1 + KAM_2 \dots\dots\dots (19)$$

dimana:

KAM<sub>3</sub> = kebutuhan air bersih pelayaran

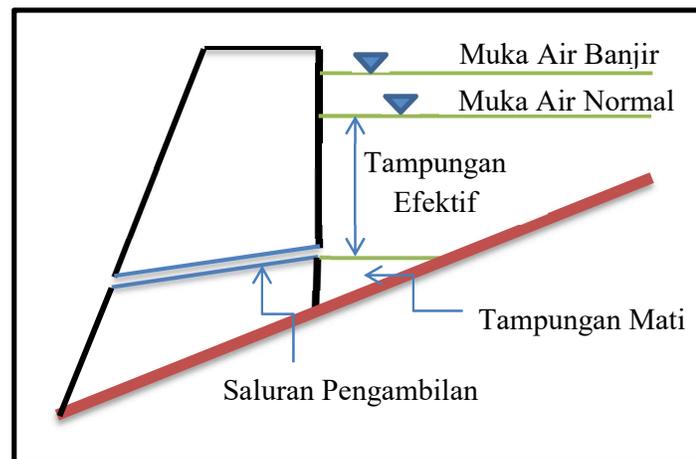
**2.10 Simulasi Pola Operasi Waduk**

Simulasi ialah peniruan perilaku gejala atau proses, bertujuan memahami, menganalisis dan memprediksi perilaku gejala atau proses itu (Muhammadi et al., 2001 dalam Hanafi, 2011). Dengan simulasi, sistem dibagi menjadi komponen-

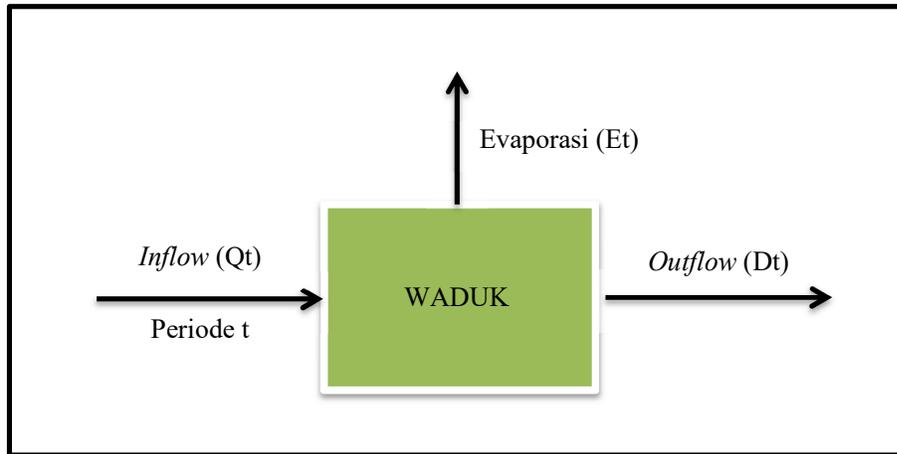
komponen yang dapat dideteksi perilakunya, dapat dipergunakan untuk melihat interaksi dari setiap komponen dan bila terjadi perubahan salah satu variabel input pengaruh secara keseluruhan sistem dapat diketahui (Robert, 1983 Hanafi, 2011).

Tahap simulasi yaitu: 1) penyusunan konsep, 2) pembuatan model, 3) simulasi, 4) validasi hasil simulasi. Gejala atau proses yang ditirukan dipahami antara lain dengan menentukan unsur-unsur yang saling berinteraksi, berhubungan, berketergantungan dan bersatu dalam aktivitas. Unsur-unsur dan keterkaitannya digunakan untuk menyusun gagasan atau konsep yang selanjutnya direkayasa sebagai model yang berbentuk uraian, gambar atau rumus.

Fungsi utama dari waduk adalah untuk menyediakan tampungan, sehingga karakter fisik yang sangat penting adalah kapasitas tampungannya (Yosananto et al., 2013). Persamaan yang digunakan untuk operasi waduk ini yaitu persamaan kontinuitas yang memberikan hubungan antara masukan, keluaran dan perubahan tampungan yang disebut analisis perilaku (model simulasi) seperti diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Zona Tampungan Waduk



Gambar 2.2 Model Simulasi

Persamaan kontinuitas yang digunakan yaitu:

$$S_{(t+1)} = S_t + Q_t - D_t - E_t - L_t \dots\dots\dots (20)$$

kendala  $0 < S_t < C$

dimana:

$S_{(t+1)}$  = Tampungan waduk pada akhir interval waktu  $t + 1$

$S_t$  = Tampungan waduk pada awal interval waktu  $t$

$Q_t$  = Aliran masuk pada interval waktu  $t$

$D_t$  = Lepas air selama interval waktu  $t$

$E_t$  = Evaporasi air selama interval waktu  $t$

$L_t$  = Kehilangan air di waduk (bisa diabaikan)

$C$  = Tampungan efektif

Persamaan dasar dalam simulasi waduk:

$$I - O = ds/dt \dots\dots\dots (21)$$

dengan:

$I$  = masukan

O = keluaran

$ds/dt$  =  $\Delta S$  adalah perubahan tampungan

Atau secara rinci dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$St+1 = St + It + Rt - Et - Lt - Ot - OSt \dots\dots\dots (22)$$

dengan:

$St$  = tampungan waduk pada periode t

$St+1$  = tampungan waduk pada periode t+1

$It$  = masukan waduk pada periode t

$Rt$  = hujan yang jatuh di atas permukaan waduk, pada periode t

$Et$  = kehilangan air akibat evaporasi pada periode t

$Lt$  = kehilangan air akibat rembesan dan bocoran

$Ot$  = total kebutuhan air

$OSt$  = keluaran dari pelimpah

Pola operasi waduk memuat tata cara pengeluaran air dari waduk sesuai dengan kondisi volume dan atau elevasi air waduk dan kebutuhan air serta kapasitas sungai di hilir bendungan.

### **2.11 Pemodelan Optimasi dengan Metode Ripple**

Upaya mencapai kemanfaatan air waduk secara optimum dapat dilakukan dengan menggunakan pemodelan optimasi. Model optimasi dapat dipakai untuk mengatasi masalah pengembangan sumber daya air di suatu wilayah dengan berbagai macam aspek yang perlu untuk ditelaah. Aspek-aspek yang dapat ditelaah dengan menggunakan model optimasi antara lain untuk pengendalian banjir, drainase, air baku, irigasi, tenaga listrik, limbah, dan lain-lain.

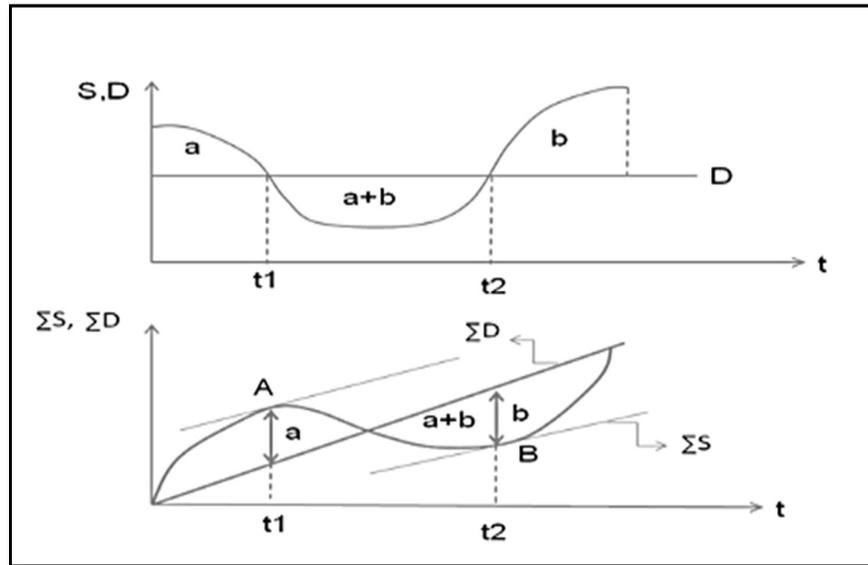
Ketika telah diketahui jumlah ketersediaan air (*inflow*) dan kebutuhan air (*outflow*), maka volume kapasitas tampungan waduk yang dibutuhkan pada kondisi dimana kebutuhan air melebihi ketersediaan air yang ada dapat diketahui dengan Metoda Grafis (*Ripple Method*). Metode ini digunakan dengan memplot besarnya kumulatif *inflow* dan *outflow* dalam sebuah grafik hubungan. Selisih terbesar antara kedua kurva tersebut merupakan kapasitas tampungan waduk yang dibutuhkan.

Pendekatan grafik hanya dapat diterapkan pada rancangan pengambilan air waduk yang konstan. Metode ini membutuhkan aliran masuk yang diakumulasikan dan diplot, yang biasanya dilakukan secara bulanan (Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi, 2017)

Langkah-langkah kerja yang dilakukan dalam penggunaan Metode Ripple ini yaitu:

1. Memplotkan kumulatif dari *inflow* yang masuk ke waduk
2. Kemiringan dari kurva masa memberikan nilai dari *inflow* ( $S$ ) pada suatu waktu.
3. Kemiringan dari kurva kebutuhan memberikan besaran laju kebutuhan ( $D$ ).
4. Perbedaan antara garis tangen ( $a+b$ ) ke garis kebutuhan ( $\sum D$ ) pada titik puncak ( $A$ ) dan titik terendah ( $B$ ) dari kurva masa ( $\sum S$ ) memberikan laju yang harus dikeluarkan dari waduk selama perioda kritis (lihat Gambar 3).

Maksimum kumulatif antara tangen adalah merupakan tampungan/storage aktif yang diperlukan (Bagiawan, 2013).



Gambar 2.3 Diagram Kurva Massa (Ripple, 1889 dalam Bagiawan 2013)

## 2.12 Penelitian Terdahulu

Hilmi, dkk. (2012) melakukan optimasi pola operasi Waduk Pelaparado di Kabupaten Bima, Provinsi NTB dengan program dinamik. Tujuan optimasi adalah dengan memaksimalkan keuntungan produksi pertanian dalam rupiah. Optimasi yang dilakukan merupakan teknik optimasi dengan menggunakan program dinamik.

Wesli (2013) juga melakukan optimasi terhadap kebutuhan air Waduk Keuliling dengan teknik optimasi dengan program linier. Tujuan optimasi adalah mengoptimalkan volume tampungan air waduk setiap bulan. Proses optimasi dibantu dengan software LINDO. Hasil dari proses optimasi adalah volume tampungan setiap akhir bulan Oktober, November, dan Januari yang memperlihatkan bahwa tidak pernah terjadi level tampungan mati.

Ramadhan, dkk. (2018) mengkaji pola operasi Waduk Keureuto untuk memenuhi kebutuhan air baku di Kabupaten Aceh Utara. Tujuan penelitian adalah untuk menentukan debit *inflow*, debit kebutuhan air dan melakukan optimasi untuk mengoptimalkan tinggi muka air waduk pada tahun basah dan tahun kering. Hasil simulasi operasi waduk menunjukkan bahwa elevasi permukaan waduk minimum terjadi pada awal dan akhir tahun, sehingga Waduk Keureuto dinilai siap untuk dapat menerima dan menampung air pada musim hujan.

(Sulistiono, dkk. 2015) melakukan simulasi terhadap pola operasi Waduk Lamong untuk kepentingan air baku dan irigasi. Untuk mengetahui kemampuan Waduk Lamong dalam melayani kebutuhan air baku dan irigasi, dilakukan simulasi dengan metode *Standard Operating Rule*. Dalam simulasi tersebut, kebutuhan air baku menjadi prioritas utama yang harus terpenuhi dan kebutuhan air irigasi menjadi prioritas kedua dari pelepasan air Waduk Lamong sesuai dengan rencana pembangunan Waduk Lamong.

Bagiawan (2013) dalam Jurnal Perhitungan Kebutuhan Kapasitas Tampung Bagi Rencana Pengembangan Areal Layanan Irigasi dari Bendung Perjaya – Sumatera Selatan dengan Metode Numerik Dan “*Sequent Peak*” melakukan perhitungan untuk Kebutuhan kapasitas tampung bagi rencana pengembangan areal layanan irigasi dari Bendung Perjaya – Sumatera Selatan dengan Metode Numerik dan “*Sequent Peak*” mengungkapkan dalam analisis kapasitas tampungan waduk yang dibutuhkan untuk pemenuhan kebutuhan air pada rencana pengembangan areal irigasi dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu Metode Ripple (grafis), Metode Numerik (analisis), *Sequence Depth Method* atau *Sequent Peak* (analisis)

dan metode stokastik (analisis). Metode Ripple (grafis) dilakukan dengan memplot kumulatif besarnya *inflow* dan *outflow*. Selisih terbesar antara kedua kurva tersebut merupakan kapasitas yang dibutuhkan.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

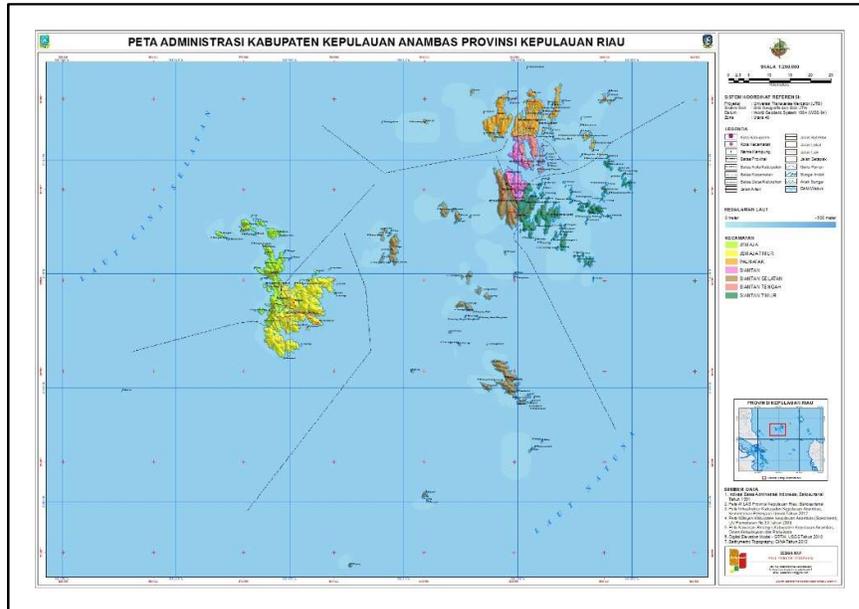
### **3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian**

Secara astronomis Kabupaten Kepulauan Anambas terletak antara  $2^{\circ}10'0''$ - $3^{\circ}40'0''$  LU sampai dengan  $105^{\circ}15'0''$ - $106^{\circ}45'0''$  BT dan secara administratif kabupaten ini memiliki 7 (tujuh) kecamatan, yaitu Kecamatan Jemaja, Kecamatan Jemaja Timur, Kecamatan Siantan Selatan, Kecamatan Siantan, Kecamatan Siantan Timur, Kecamatan Siantan Tengah, dan Kecamatan Palmatak.

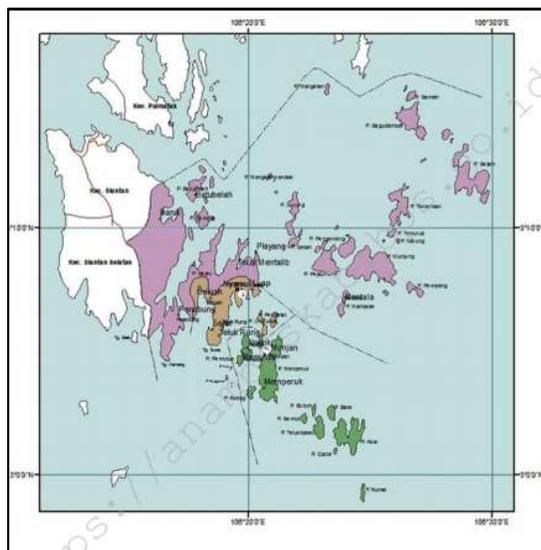
Kecamatan Siantan Timur secara astronomis terletak pada  $02^{\circ}58'53''$ -  $3^{\circ}16'23''$  LU sampai dengan  $106^{\circ}14'56''$ - $106^{\circ}30'13''$  BT. Batas-batas wilayah Kecamatan Siantan Timur yaitu:

1. Sebelah utara dengan Kecamatan Siantan Tengah
2. Sebelah Selatan dengan Kecamatan Siantan Selatan
3. Sebelah Barat dengan Kecamatan Siantan
4. Sebelah Timur dengan Laut Cina Selatan

Kecamatan Siantan Timur sendiri terbagi atas enam desa yaitu Desa Nyamuk, Desa Batu Belah, Desa Munjan, Desa Serat, Desa Air Putih dan Desa Temburun.



Gambar 3.1 Peta Kabupaten Kepulauan Anambas (Sumber: Wordpress.com, 2015)



Gambar 3.2 Peta Kecamatan Siantan Timur (Sumber: BPS Kabupaten Kepulauan Anambas, 2017)



Gambar 3.3 Lokasi Rencana Bendungan Temburun  
(Sumber: <https://www.google.co.id/maps/>)

Lokasi rencana pembangunan bendungan berada di Desa Temburun, dengan posisi astronomis  $3^{\circ}10'53''$ -  $3^{\circ}11'4''$ LU sampai dengan  $106^{\circ}16'30,5''$ - $106^{\circ}16'43''$  BT, yaitu sebelah hilir bagian kiri dari Air Terjun Temburun. Desa Temburun sendiri memiliki batas-batas wilayah sebagai berikut:

1. Sebelah Utara berbatasan dengan Pesisir Timur
2. Sebelah Selatan berbatasan dengan Desa Batu Belah
3. Sebelah Barat berbatasan dengan Desa Tarempa Barat
4. Sebelah Timur berbatasan dengan Desa Batu Belah



Gambar 3.4 Lokasi Rencana Waduk Temburun  
(Sumber: Konsulindo, 2017)

### 3.2 Kondisi Lokasi Penelitian

Iklim di Kabupaten Kepulauan Anambas sangat dipengaruhi oleh perubahan arah angin. Musim kemarau biasanya terjadi pada Bulan Maret hingga Bulan Mei, ketika angin bertiup dari arah Utara dan musim hujan terjadi pada Bulan September hingga Bulan Februari, ketika angin bertiup dari arah Timur dan Selatan. Curah hujan rata-rata dalam satu tahun berkisar antara 14.5 mm/jam dengan kelembaban udara sekitar 47.25% dan temperatur sekitar 30°C.

Tekanan udara di tahun 2017 minimum 1.006,8 Mb dan maksimum 1.014,3 Mb. Sementara rata-rata kelembaban udara minimum sebesar 72,8% dan kelembaban maksimum sebesar 97%. Jumlah curah hujan tertinggi menurut data BPS terjadi di bulan November yaitu 336 mm dengan jumlah hari hujan terbanyak juga di bulan November yaitu 20 hari.

Kondisi topografi pulau-pulau di Kabupaten Kepulauan Anambas pada umumnya daratan berbukit dan sedikit landai di bagian pantainya, dengan ketinggian rata-rata 2 – 5 meter di atas permukaan laut. Kabupaten Kepulauan

Anambas merupakan daerah pesisir dengan sebagian besar penduduk bermukim di daerah fisiografi marine (sepanjang pantai).

### **3.3 Sumber Data**

Penelitian ini menggunakan beberapa data sekunder yaitu:

1. Data curah hujan dan klimatologi dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa Tahun 1998 sampai dengan Tahun 2017;
2. Data jumlah penduduk dan jumlah kapal dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas untuk data Tahun 2016, 2017 dan 2018;
3. Data luas dan volume tampungan Waduk Temburun dari PT. Virama Karya (2018).

### **3.4 Tahap Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap analisis, tahap simulasi dan optimasi pola operasi waduk.

#### **3.4.1 Tahap persiapan**

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan yaitu studi literatur. Tahapan ini penting dilakukan untuk mendapatkan rujukan dalam analisis data dan untuk memperkuat argumentasi dari hasil analisis.

#### **3.4.2 Tahap pengumpulan data**

Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini adalah data Peta Topografi, data curah hujan dan klimatologi, data jumlah penduduk, data jumlah dan jenis kapal yang berada dan berkunjung ke Kabupaten Kepulauan Anambas beserta data

jumlah penumpangnya serta data elevasi waduk yang berhubungan dengan luas genangan dan volume waduk.

#### **3.4.2.1 Peta topografi**

Peta topografi digunakan sebagai dasar untuk membuat Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) Arung Hijau dengan menggunakan Fitur ArcMap pada *Software* ArcGIS. Peta topografi didapatkan dengan melakukan deliniasi dimana *catchment area* berada dari *google*.

#### **3.4.2.2 Data curah hujan**

Data curah hujan didapatkan dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa sejak Tahun 1998 hingga Tahun 2017 (terlampir). Data curah hujan digunakan untuk mendapatkan besaran debit aliran sungai. Debit aliran sungai kemudian dianalisis sehingga didapatkan debit andalan yang kemudian dijadikan sebagai *inflow* waduk. Analisis ini dilakukan karena tidak ada data hasil pengukuran debit aliran di Arung Hijau.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data curah hujan yaitu:

1. Melakukan validasi terhadap data *errorr*

Validasi data dilakukan secara manual, dengan mengubah angka *errorr* 8888 dan 9999 menjadi angka 0 (Nol).

2. Melakukan rekapitulasi hujan harian menjadi hujan bulanan dan tahunan
3. Melakukan rekapitulasi tinggi curah hujan setengah bulanan
4. Melakukan rekapitulasi jumlah hari hujan setengah bulanan
5. Menghitung tinggi curah hujan rata-rata bulanan

### 3.4.2.3 Data klimatologi

Data klimatologi merupakan data sekunder berupa data temperatur rerata, data kelembaban relatif, data kecepatan angin dan data penyinaran matahari. Data-data ini didapat dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa dengan pencatatan Tahun 1998 hingga Tahun 2017 dan diperlukan untuk perhitungan Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>o</sub>). Selain data tersebut, juga diperlukan Tabel Koefisien Refleksi Permukaan, Tabel Radiasi Gelombang Pendek, Tabel Tekanan Uap Air Jenuh dan Nilai  $\beta$  Fungsi Temperatur. Keseluruhan data tersebut disajikan dalam lampiran.

### 3.4.2.4 Data jumlah penduduk

Data jumlah penduduk Tahun 2016, 2017 dan 2018 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas (Tabel 3.1) digunakan untuk menghitung proyeksi jumlah penduduk 20 tahun mendatang (Tahun 2038). Data proyeksi jumlah penduduk kemudian digunakan untuk menghitung jumlah kebutuhan air bersih domestik. Data jumlah penduduk yang digunakan hanya untuk 5 (lima) kecamatan yang direncanakan akan dilayani, yaitu Kecamatan Siantan Selatan, Kecamatan Siantan, Kecamatan Siantan Timur, Kecamatan Siantan Tengah dan Kecamatan Palmatak.

Tabel. 3.1 Jumlah penduduk Kepulauan Anambas

KECAMATAN	JUMLAH PENDUDUK (JIWA)		
	2016	2017	2018
Siantan Selatan	3.496	3.538	3.610
Siantan	11.029	11.161	11.530
Siantan Timur	3.497	3.539	3.453
Siantan Tengah	2.891	2.926	2.807
Palmatak	11.858	12.000	12.466
Jumlah (Jiwa)	32.771	33.164	33.866

(Sumber: BPS Kab. Kep. Anambas, 2017, 2018 dan 2019)

### 3.4.2.5 Data jumlah kapal motor

Data jumlah kapal motor didapat dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Kepulauan Anambas. Data ini disajikan pada Tabel 3.2 dan akan digunakan untuk menghitung proyeksi jumlah kapal motor yang akan melakukan aktifitas penangkapan ikan di kepulauan tersebut. Hasil proyeksi kemudian digunakan dalam perhitungan jumlah kebutuhan air bersih seluruh unit kapal.

Tabel 3.2 Jumlah kapal motor

KECAMATAN	JUMLAH KAPAL (UNIT)		
	2016	2017	2018
Siantan Selatan	373	378	373
Siantan	211	213	213
Siantan Timur	182	182	182
Siantan Tengah	302	303	302
Palmatak	859	861	859
<b>Jumlah (Unit)</b>	<b>1.927</b>	<b>1.937</b>	<b>1.929</b>

(Sumber: BPS Kab. Kepulauan Anambas, 2017, 2018 dan 2019)

### 3.4.2.6 Data jumlah produksi perikanan tangkap

Data jumlah produksi ikan hasil tangkapan yang didapat dari dokumen Kepulauan Anambas dalam Angka untuk Tahun 2016, 2017 dan 2018 digunakan untuk menghitung proyeksi jumlah kapal motor yang akan melakukan aktifitas penangkapan ikan. Hasil proyeksi kemudian digunakan untuk menghitung jumlah kebutuhan air bersih untuk pencucian ikan (KAI). Data tersebut disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Produksi Perikanan Tangkap

KECAMATAN	JUMLAH IKAN (Ton)		
	2016	2017	2018
Siantan Selatan	4.298,70	3.570,00	3.570,00
Siantan	2.454,75	5.433,00	5.433,00
Siantan Timur	2.097,49	2.815,00	2.815,00
Siantan Tengah	3.480,45	4.249,00	4.249,00
Palmatok	9.899,69	5.425,00	5.426,00
<b>Jumlah (Unit)</b>	22.231,08	21.492,00	21.493,00

(Sumber: BPS Kab. Kepulauan Anambas, 2017, 2018 dan 2019)

### 3.4.2.7 Kapal Motor Penumpang

Armada transportasi laut dengan rute perjalanan terjauh di Pelabuhan Tarempa adalah KM Bukit Raya yang berukuran GT.6022 dengan Kapasitas 1.000 penumpang. Rute KM Bukit Raya ini yaitu Tanjung Priok – Belinyuk – Kijang – Letung – Tarempa – Selat Lampa (Natuna) –Midai – Serasan – Pontianak – Surabaya (pp).

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perjalanan dari Tarempa ke Surabaya adalah 3 hari 21 jam dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perjalanan dari Tarempa ke Tanjung Priok adalah 3 hari 18 jam (dihitung dari jadwal keberangkatan dan jadwal tiba), dalam perhitungan ini diasumsikan bahwa waktu perjalanan yang diperlukan adalah 4 hari. Kapal yang memiliki daya angkut maksimum 1.000 orang ini terdiri dari 1 orang Nakhoda dan 29 orang ABK dan maksimum 970 penumpang.

### 3.4.2.8 Jumlah kunjungan kapal

Data jumlah kapal penumpang yang bersandar di pelabuhan di Kabupaten Kepulauan Anambas pada Tahun 2016 hingga tahun 2018 yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Jumlah Kunjungan Kapal di Kabupaten Kepulauan Anambas

Uraian	Jumlah Kapal (Unit)		
	2016	2017	2018
Dalam Negeri	836	768	773
Luar Negeri			89
Jumlah	836	768	862

(Sumber: Kepulauan Anambas dalam Angka, 2017, 2018 dan 2019)

### 3.4.2.9 Jumlah penumpang kapal

Jumlah penumpang kapal yang datang dan berangkat di Pelabuhan Kabupaten Kepulauan Anambas berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Jumlah Penumpang Kapal di Kab. Kepulauan Anambas

Uraian	Jumlah Penumpang (orang)		
	2016	2017	2018
Datang	37.422	36.782,00	39.961,00
Berangkat	31.891	28.375,00	30.721,00
<b>Jumlah</b>	69.313	65.157,00	70.682,00

(Sumber: Kepulauan Anambas dalam Angka, 2017, 2018 dan 2019)

### 3.4.2.10 Data luas genangan dan volume tampungan waduk

Data hubungan elevasi dengan luas genangan dan volume tampungan waduk didapatkan dari Laporan Akhir Detail Desain Bendungan Temburun di Kabupaten Kepulauan Anambas yang dikerjakan oleh PT. Virama Karya dengan Kontrak Nomor HK.02.03/PPK.PP/BWSS-IV/PKT.06/III/2018. Data tersebut disajikan pada Tabel 3.6.

### 3.4.2.11 Grafik lengkung kapasitas waduk

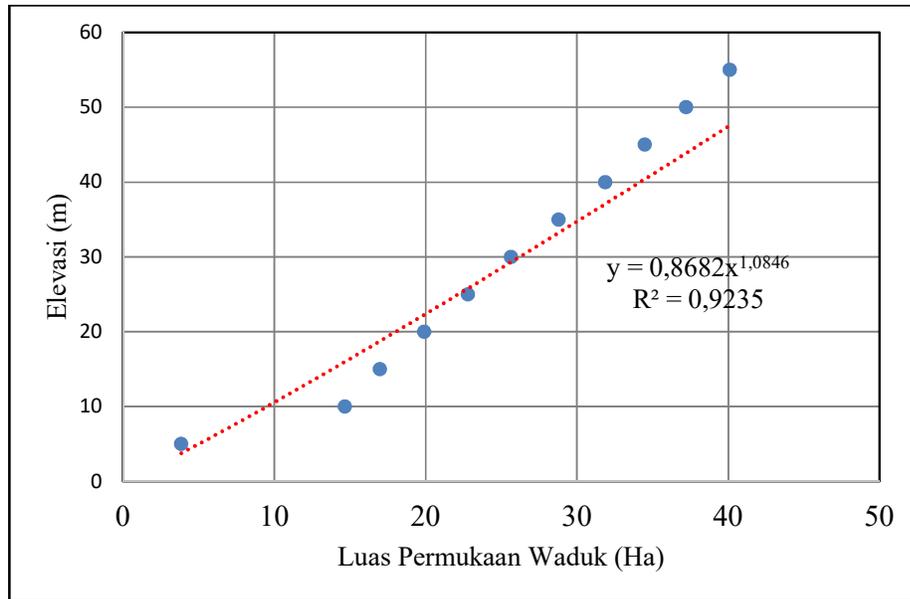
Grafik lengkung kapasitas waduk menunjukkan hubungan antara elevasi dengan luas genangan waduk dan hubungan antara elevasi dengan volume waduk. Dari

grafik didapatkan persamaan untuk mengetahui luas areal genangan air waduk dan jumlah tampungan waduk pada elevasi tertentu. Grafik tersebut disajikan pada Gambar 3.5 dan pada Gambar 3.6.

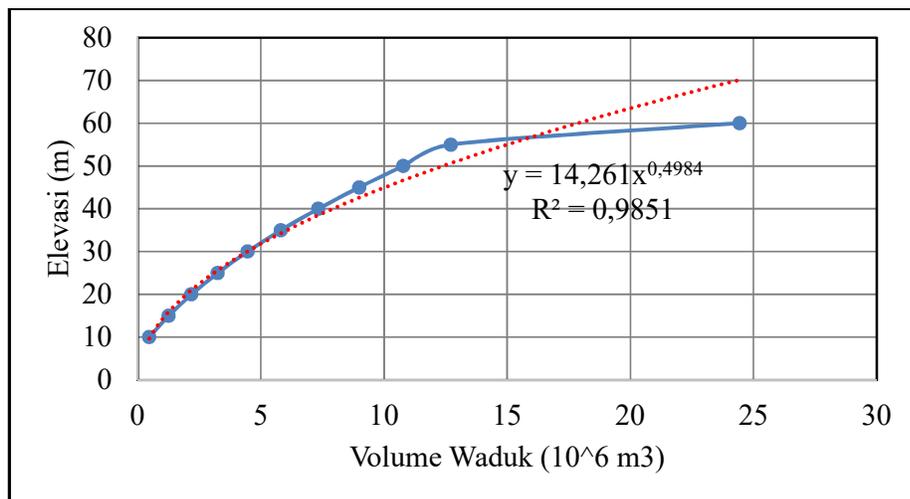
Tabel 3.6 Elevasi, luas permukaan dan volume kumulatif Waduk Temburun

<b>Elevasi</b>	<b>Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Luas Permukaan (ha)</b>	<b>Volume Kumulatif (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume Kumulatif (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>
5	38.420	3,842	0	0,000
10	146.620	14,662	462.600	0,463
15	169.850	16,985	1.253.775	1,254
20	199.050	19,905	2.176.025	2,176
25	227.910	22,791	3.243.425	3,243
30	256.330	25,633	4.454.025	4,454
35	287.830	28,783	5.814.425	5,814
40	318.710	31,871	7.330.775	7,331
45	344.790	34,479	8.989.525	8,990
50	372.170	37,217	10.781.925	10,782
55	400.990	40,099	12.714.825	12,715
60	4.290.020	429,002	24.442.350	24,442

(Sumber: *Virama Karya, 2018*)



Gambar 3.5 Grafik Grafik hubungan antara elevasi dan luas tampungan waduk Temburun  
(Sumber: Virama Karya, 2018)



Gambar 3.6 Grafik hubungan antara elevasi dan volume tampungan Waduk Temburun  
(Sumber: Virama Karya, 2018)

### 3.4.3 Tahap Analisis

Dalam tahapan ini yang akan dilakukan adalah menganalisis peta topografi Kabupaten Kepulauan Anambas khususnya pada Pulau Siantan, pulau dimana

Arung Hijau dan rencana Waduk Temburun berada. Selain itu dilakukan pula analisis hidrologi yang terdiri atas analisis ketersediaan dan kebutuhan air baku.

#### **3.4.3.1 Analisis Topografi**

Untuk mendapatkan peta Daerah Aliran Sungai Arung Hijau digunakan fitur ArcMap pada *Software* ArcGIS. Setelah peta DAS selesai dibuat, kemudian dilakukan pengecekan area sehingga didapatkan luas DAS tersebut. Data luas DAS ini akan digunakan dalam perhitungan debit aliran.

#### **3.4.3.2 Analisis Hidrologi**

Analisis hidrologi yang dilakukan terdiri dari analisis data curah hujan, analisis ketersediaan air baku sebagai *inflow* dan analisis kebutuhan air baku sebagai *outflow* bagi waduk.

##### **a. Analisis data curah hujan**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis data curah hujan yaitu:

##### **1. Mempersiapkan data curah hujan**

Data curah hujan yang digunakan adalah Data curah hujan harian dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa sejak tahun 1998 sampai dengan 2017. Data curah hujan harian direkapitulasi dalam bentuk bulanan pada setiap tahunnya;

##### **2. Validasi data dengan mengisi data curah hujan yang *error* dan hilang**

Data curah hujan yang hilang diisi dengan data curah hujan harian pada tanggal dan bulan yang sama di tahun yang paling mendekati jumlah curah hujan tahunannya dengan jumlah curah hujan pada tahun dimana data curah hujan yang hilang berada. Hal ini dilakukan karena hanya ada data dari 1 (satu) stasiun penakar curah hujan yaitu Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa.

Pada data curah hujan harian Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa juga terdapat data error berupa angka 8888 dan 9999. Data tersebut secara manual digantikan dengan angka 0 (nol).

### 3. Rekapitulasi data curah hujan

Setelah validasi data selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan rekapitulasi data curah hujan harian menjadi bulanan dan setengah bulanan, menghitung jumlah hari hujan dan menghitung besarnya hujan rata-rata setiap bulan. Setelah rekapitulasi curah hujan harian menjadi bulanan, selanjutnya dilakukan pula perhitungan hujan tahunan.

#### **b. Analisis ketersediaan air baku**

Yang menjadi *inflow* dalam analisis untuk memperoleh optimasi waduk ini adalah debit andalan. Untuk mendapatkan nilai debit andalan dibutuhkan data debit aliran sungai. Karena tidak tersedia data ukur debit aliran sungai, maka dilakukan pengalih ragam data curah hujan menjadi debit aliran dengan menggunakan Metode Mock.

Tahapan yang akan dilakukan hingga mendapatkan nilai debit andalan yaitu:

#### 1. Menghitung evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>)

Besarnya nilai evapotranspirasi potensial diperlukan untuk menghitung besarnya kehilangan air yang terjadi akibat evaporasi pada permukaan genangan waduk.

Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>o</sub>) dihitung dengan Metode Penman. Dalam perhitungan ini digunakan data klimatologi dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa Tahun 1998 sampai dengan Tahun 2017.

## 2. Menghitung debit aliran

Debit aliran sungai didapatkan dengan melakukan pengalih ragaman data curah hujan dari Tahun 1998 sampai dengan Tahun 2017 menggunakan Metode Mock. Langkah perhitungan merujuk pada Limantara (2018) sebagai berikut :

- a) Menghitung jumlah hari hujan setengah bulanan (n);
- b) Menghitung nilai evapotranspirasi terbatas (Et)
  - Permukaan lahan terbuka (m) ditetapkan 30 mm
  - $Et = E_{To} - E$ , dengan  $E = (E_{To}) (m/20) \times (18-n)$
- c) Menghitung jumlah keseimbangan air (*water balance*)
  - Perubahan kandungan air tanah (DS) =  $P - Et$
  - Aliran permukaan (hujan lebat) =  $PF \times P$ , dengan  $PF = 0,45$
  - Kandungan air tanah (SS)  
Jika  $DS < 0$ , maka  $SS = P - Et$ . Jika  $DS \geq 0$ , maka  $SS = 0$
  - Kapasitas kelembaban air tanah (SMC) = 200 mm/30 hari apabila  $DS \geq 0$  dan  $SMC = SMC$  bulan sebelumnya + DS apabila  $DS < 0$
  - Kelebihan air ( $W_s$ ) =  $DS - SS$
- d) Angka koefisien infiltrasi (i) = 0,4
- e) Infiltrasi (I) =  $W_s \times i$
- f) Menentukan nilai faktor resesi aliran air tanah (k) = 0,4
- g) Menghitung nilai  $0,5 \times (1 + k) \times (I)$
- h) Menghitung nilai  $k \times V(n-1)$
- i) Menghitung Volume Penyimpanan/kandungan air bawah tanah  
 $V_n = 0,5 \times (1 + k) \times (I) + k \times V(n-1)$
- j) Menentukan perubahan kandungan air bawah tanah

- k)  $DV_n = V_n - V_{n-1}$
- l) Menghitung aliran dasar (BF) =  $I - DV_n$
- m) Menghitung Aliran langsung (DR) =  $W_s - I$
- n) Besaran Aliran (R) =  $BF + DR$
- o) Luas Das (A) dari hasil pengukuran topografi
- p) Menghitung debit aliran sungai (Q) =  $R \times A$

### 3. Menghitung Debit Andalan

Debit andalan dihitung dengan menggunakan Metode Bulan Dasar Perencanaan (*Basic Month*). Besarnya debit andalan untuk waduk digunakan 50%. Langkah perhitungan debit andalan sebagai berikut:

- a) Mengurutkan nilai Q (Debit Aliran) periode setengah bulanan dari Tahun 1998 sampai dengan Tahun 2017 untuk masing-masing Bulan Januari I sampai dengan Bulan Desember II dari yang terkecil hingga yang terbesar;
- b) Menghitung nilai Q rata-rata setiap periode;
- c) Menghitung nilai Log Q;
- d) Menghitung nilai Log rerata;
- e) Menghitung nilai simpangan baku (S);
- f) Menghitung nilai skewness (Cs);
- g) Mendapatkan nilai G Untuk debit andalan 50% berdasarkan Tabel Distribusi Log Pearson Tipe II untuk Cs Positif dan Tabel Distribusi Log Pearson Tipe II untuk Cs Negatif (terlampir);
- h) Menghitung nilai Q andalan 50%, dimana:

$$\text{Log } Q = \text{Log } Q \text{ Rerata} + G \times S$$

$$Q = 10^{(\text{Log } Q \text{ Rerata} + G \times S)}$$

### c. Analisis kebutuhan air baku

Kebutuhan air baku yang digunakan sebagai *outflow* dari Waduk Temburun adalah kebutuhan air baku domestik dan kebutuhan air baku untuk konsumsi pelayaran.

#### 1. Proyeksi jumlah kebutuhan air baku domestik

Tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan proyeksi kebutuhan air baku domestik yaitu:

- a) Menghitung proyeksi jumlah penduduk untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang (2018 – 2038);
- b) Menetapkan standar kebutuhan air baku untuk wilayah Kepulauan Anambas yang akan dipergunakan dalam perhitungan yaitu sebesar 130 liter/orang/hari berdasarkan standar kebutuhan air baku yang tercantum dalam NSPM Kimpraswil (2002);

Tabel 3.7 Standar kebutuhan air baku domestik

No.	Uraian	Jumlah Penduduk (Orang)	Kebutuhan (l/org/hr)
1	Kota Metropolitan	di atas 1 juta	190,00
2	Kota Besar	500.000 - 1 juta	170,00
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	150,00
4	Kota Kecil	20.000 – 100.000	130,00
5	Desa	10.000 – 100.000	100,00
6	Desa Kecil	3.000 – 10.000	60,00

(Sumber: Kimpraswil, 2002)

- c) Menghitung jumlah kebutuhan air baku domestik berdasarkan jumlah pemakai yang telah diproyeksikan untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang. Proyeksi jumlah kebutuhan air baku domestik untuk 20 (dua puluh) tahun

mendatang dihitung berdasarkan proyeksi jumlah penduduk dikalikan dengan standar kebutuhan air baku yang telah ditetapkan.

## 2. Proyeksi jumlah kebutuhan air baku pelayaran

Tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan proyeksi kebutuhan air baku domestik yaitu:

- a) Menghitung proyeksi jumlah kapal motor untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang (2018 – 2038) dan kemudian menghitung Kebutuhan air bersih untuk melaut (KAM). Dengan asumsi data untuk Kapal Gillnet 30 GT, jenis kapal yang mayoritas digunakan di Kepulauan Anambas untuk aktifitas penangkapan ikan, ditetapkan:
  - Rata-rata lama hari operasi penangkapan dalam setahun per jenis kapal penangkapan (H) adalah 30 hari;
  - Rata-rata jumlah awak kapal per jenis kapal penangkapan ikan (N) adalah 6 orang/unit;
  - Konsumsi air bersih untuk awak kapal (A) ditentukan 50 liter/orang/hari (0,05 ton/orang/hari);
  - Koefisien besarnya cadangan air bersih di kapal ( $\alpha$ ) ditetapkan sebesar 0,5.
- b) Menghitung proyeksi produksi perikanan tangkap untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang (2018 – 2038) dan kemudian menghitung kebutuhan air bersih untuk pencucian ikan (KAI). Rasio kebutuhan air untuk pencucian ikan pada waktu pembongkaran ( $\beta$ ) ditetapkan 0,2 liter/Kg;
- c) Menghitung Kebutuhan air bersih untuk pencucian palkah kapal (KAP) dengan asumsi rata-rata ukuran volume palkah kapal ( $V_p$ ) ditentukan 25

$m^3$ /unit dan rasio kebutuhan air bersih untuk pencucian palkah kapal ikan ( $\gamma$ ) ditentukan 20 liter/ $m^3$  atau 0,02 ton/ $m^3$ );

- d) Menghitung jumlah kebutuhan air bersih untuk aktifitas penangkapan ikan (KAT);
- e) Menghitung proyeksi pertumbuhan jumlah kunjungan kapal di Kabupaten Kepulauan Anambas untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang (2018 – 2038) dan kemudian menghitung jumlah kebutuhan air bersih kapal (KAM1).
- f) Menghitung proyeksi jumlah penumpang kapal di Kabupaten Kepulauan Anambas untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang (2018 – 2038) dan kemudian menghitung kebutuhan air bersih penumpang (KAM2);
- g) Menghitung jumlah kebutuhan air bersih kapal penumpang (KAM3);
- h) Menghitung jumlah kebutuhan air bersih pelayaran (KAP) dengan menjumlahkan kebutuhan air bersih untuk aktifitas kapal penangkapan ikan (KAP) dan kebutuhan air bersih untuk kapal penumpang (KAM3).

#### **3.4.4 Tahap Simulasi Pola Operasi Waduk**

Dalam proses simulasi ditetapkan debit andalan sebagai *inflow* dan kebutuhan air baku sebagai *outflow*. Kebutuhan air baku terdiri dari air baku domestik dan air baku konsumsi pelayaran. Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam tahapan simulasi pola operasi waduk sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah hari ( $n$ ) pada periode setengah bulanan
2. Menghitung *Inflow*  $n$  harian  
$$\text{Volume } n \text{ harian} = \text{Debit Andalan} \times n$$
3. Menghitung *outflow* air baku domestik  
$$\text{Volume } n \text{ harian} = \text{Kebutuhan air baku domestik} \times n$$

4. Menghitung *outflow* air baku pelayaran

$$\text{Volume n harian} = \text{Kebutuhan air baku pelayaran} \times n$$

5. Perhitungan *outflow* akibat evaporasi

$$\text{Volume n harian} = \text{Tinggi evaporasi (t)} \times \text{Luas Permukaan (A)} \times n$$

Dari persamaan lengkung kapasitas waduk:

$$0.8682 \times A^{1,0846} = 14.261 \times S^{0,4984}$$

$$A \text{ (Luas Permukaan)} = (14.261 \times S^{0,4984}) / (0.8682 \times 1^{-1,0846})$$

$$A \text{ (Luas Permukaan)} = 16,426 \times S^{0,460}$$

6. Menghitung kapasitas tampungan mati

Kapasitas tampungan mati dihitung dengan menggunakan persamaan volume waduk pada lengkung kapasitas, yaitu:

$$y = 14,261x^{0,4984}$$

dengan  $y$  = Elevasi tampungan mati

dan  $x$  = Kapasitas tampungan mati

maka diperoleh

$$x = (y/14,261)^{1/0,4984}$$

7. Kapasitas Tampungan Waduk

$$S_{n+1} = S \text{ akhir periode} + \text{Inflow} - \text{Outflow} - \text{Evaporasi}$$

Catatan:

Jika  $(S_{n+1}) < 0$  maka  $S$  akhir periode = 0

Jika  $(S_{n+1}) < \text{Kapasitas Tampungan}$  maka  $S$  akhir periode =  $(S_{n+1})$

Jika  $(S_{n+1}) > \text{Kapasitas Tampungan}$  maka  $S$  akhir periode = Kapasitas Tampungan

#### 8. Spillout

- Jika  $(S_{n+1}) - (S \text{ akhir periode}) < \text{Kapasitas Tampunguan Waduk}$   
maka spillout = 0
- Jika  $(S_{n+1}) - (S \text{ akhir periode}) > \text{Kapasitas Tampunguan}$   
maka spillout =  $(S_{n+1}) - \text{Kapasitas Tampunguan Waduk}$

#### 9. Elevasi muka air waduk $(y) = 14,261x^{0.4984}$

dengan X adalah kapasitas tampungan waduk akhir periode  $(S_{n+1})$  ditambah dengan kapasitas tampungan mati

#### 10. Kesimpulan Simulasi

- Jika  $(S \text{ total periode}) < \text{Tampunguan Mati}$  maka Kap. Tampunguan Waduk pada periode tersebut = Gagal
- Jika  $(S \text{ total periode}) > \text{Tampunguan Mati}$  maka Kap. Tampunguan Waduk pada periode tersebut = Sukses

Simulasi I dilakukan dengan menetapkan tinggi tampungan mati pada elevasi tertentu. Dengan elevasi tampungan mati yang telah ditentukan, kemudian dilakukan *trial and error* kapasitas tampungan efektif waduk sehingga didapatkan tinggi muka air yang sama pada awal dan akhir periode selama 5 (lima) tahun masa simulasi. Selain itu didapatkan pula kesimpulan hasil simulasi untuk kegagalan maksimal 20%.

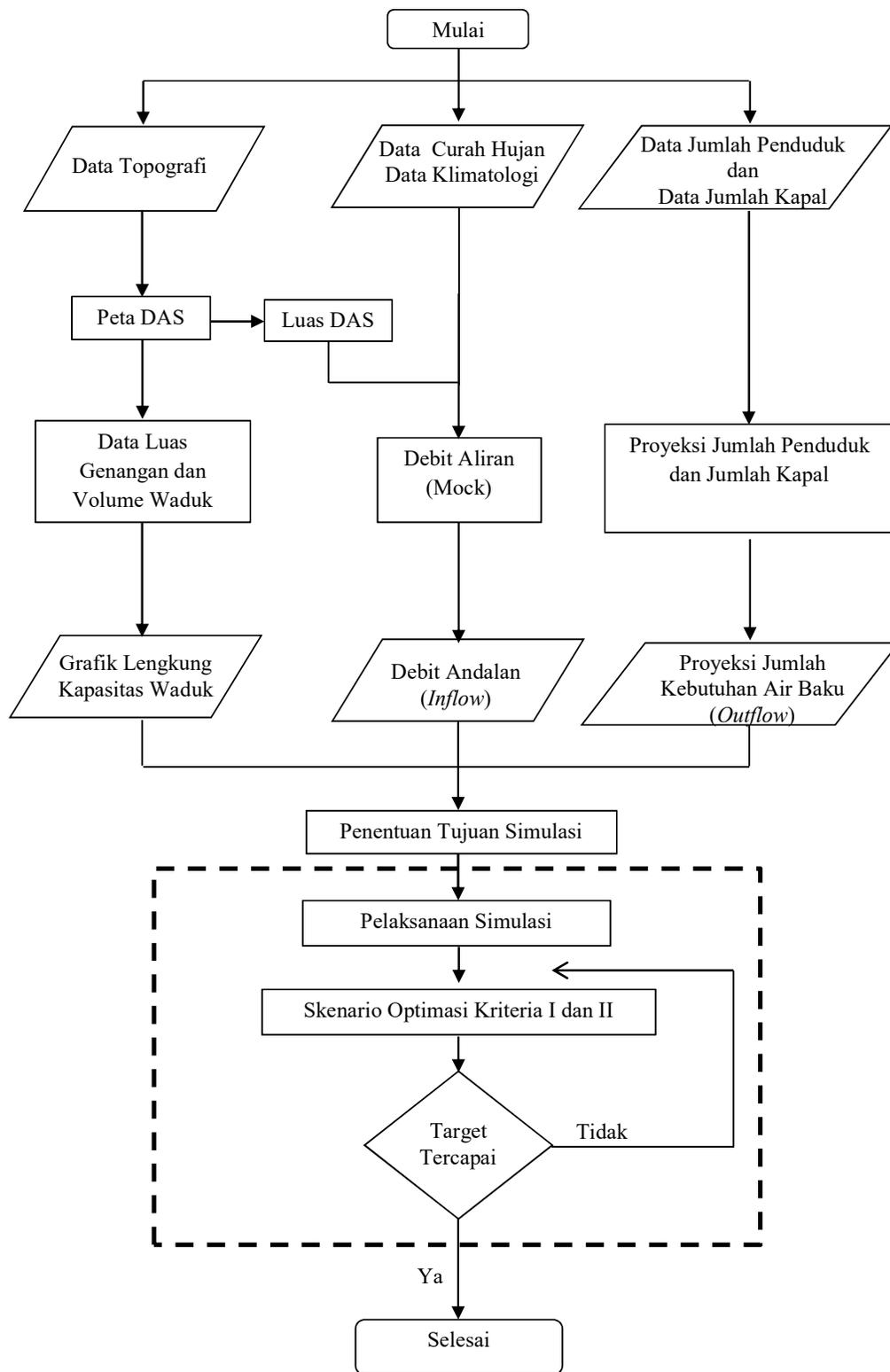
Simulasi II dilakukan dengan menetapkan kapasitas efektif waduk sebesar 16.763.000,00 m<sup>3</sup> dimana *Normal Water Level* (NWL) di tahun pertama simulasi berada pada elevasi +60 m. Simulasi dilakukan selama 5 (lima) tahun pada elevasi tampungan mati tertentu. Dengan menetapkan NWL pada kondisi

maksimum +60 m, akan didapat tinggi muka air waduk di awal dan di akhir periode dan didapatkan kesimpulan hasil simulasi untuk kegagalan maksimal 20%.

#### **3.4.5 Tahap Optimasi Operasi Waduk**

Optimasi operasi waduk ini dilakukan dengan menggunakan Metode Ripple. Tujuan yang ingin dicapai dari optimasi ini adalah bagaimana volume air di waduk dengan debit *inflow* yang telah dianalisis mampu untuk memenuhi kebutuhan air baku domestik dan kebutuhan air baku pelayaran dengan pemenuhan Kriteria I yaitu pelepasan 100% *outflow* dan pemenuhan Kriteria II yaitu pelepasan 85% air baku domestik ditambah 70% air baku pelayaran.

### 3.4.6 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.7 Bagan Alir Penelitian

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Inflow* air waduk didapatkan dari hasil perhitungan debit andalan dengan keandalan 50% dari hasil pengalih ragam debit aliran berdasarkan data curah hujan sejak Tahun 1998 sampai dengan Tahun 2017. Debit andalan terbesar terdapat pada Bulan Desember I yaitu sebesar 2,301 m<sup>3</sup>/detik dan debit andalan terkecil terdapat pada Bulan Februari II sebesar 0,174 m<sup>3</sup>/detik;
2. *Outflow* dihitung berdasarkan jumlah proyeksi kebutuhan air baku domestik, evaporasi dan kebutuhan air baku pelayaran. Proyeksi jumlah kebutuhan air di tahun 2038 sebesar 70,8 liter/detik dan kebutuhan air baku pelayaran sebesar 0,65 liter/detik, sedangkan angka evaporasi yang digunakan adalah tinggi evaporasi rata-rata hasil analisis data klimatologi dari Stasiun Meteorologi Kelas III Tarempa sejak Tahun 1998 sampai dengan Tahun 2017 dengan menggunakan Metode Penmann;
3. Dari Simulasi I dengan *trial and error* untuk mendapatkan Tinggi Muka Air (TMA) waduk yang sama serta Simulasi II dengan menetapkan *Normal Water*

*Level* (NWL) di tahun pertama pada elevasi +60,00 m dapat disimpulkan bahwa keberhasilan simulasi minimum 80% dicapai ketika tampungan mati berada pada elevasi maksimum +10,50 m dan kegagalan lebih dari 20% terjadi ketika tampungan mati berada pada elevasi +10,60 m. Dari grafik hubungan kumulatif *inflow* debit andalan  $Q_{50}$  dan *outflow* 100% kebutuhan, dapat dilihat bahwa pada periode yang sama jumlah kebutuhan air (*outflow*) kumulatif lebih besar dibandingkan dengan ketersediaan air (*inflow*) kumulatif yang ada di waduk, oleh karena itu dilakukan optimasi dengan menggunakan Metode Ripple. Untuk memenuhi 100% kebutuhan air selama 5 (lima) tahun, pelepasan dilakukan setelah air dibiarkan terisi dengan debit *inflow* yang ada selama 12 (dua belas) periode dari 120 (seratus dua puluh) periode atau selama masa 6 (enam) bulan dari Januari I hingga Juni II di tahun pertama. Untuk memenuhi 70% dari kebutuhan air baku pelayaran dan 85% dari kebutuhan air baku domestik dengan kapasitas tampungan waduk terisi dari 95% *inflow*, pelepasan dilakukan setelah air dibiarkan terisi selama 15 (lima belas) periode dari 120 periode sejak Januari I hingga Agustus I di tahun pertama.

## 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat penulis berikan berdasarkan hasil penelitian:

1. Dalam penelitian selanjutnya perlu dikaji besar proyeksi perubahan fungsi lahan yang terjadi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Arung Hijau sehingga dapat diketahui ada tidaknya kemungkinan rusaknya fungsi DAS;

2. Dalam penelitian selanjutnya juga perlu dilakukan analisis untuk mengetahui besarnya rembesan dan jumlah sedimen;
3. Kepada para *stakeholder* agar segera dapat mewujudkan pembangunan Waduk Temburun demi memenuhi kebutuhan air penduduk Kepulauan Anambas yang sering mengalami kesulitan dalam memenuhi kebutuhan air bersih.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraheni, Dinia, dkk. 2017. “Evaluasi Kinerja Pola Operasi Waduk (POW) Wonogiri 2014”. *Jurnal Teknisia* Volume XXII No. 1, Mei 2017, hlm 294-306.
- Ardiansyah, dkk. 2012. “Analisa Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih pada PDAM di Kota Ternate”. *Jurnal Teknik Pengairan*, Volume 3 Nomor 2, Desember 2012, hlm 211–220.
- Arsana, I. M. A. (2013). Akankah Indonesia Kehilangan Pulau? Belajar Dari Kasus Sipadan-Ligitan, Pulau Berhala, Miangas Hingga Semakau. *Jurnal Opinio Juris*, 12, 256–35.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Data Curah Hujan Stasiun Meteorologi Tarempa. ([https://dataonline.bmkg.go.id/akses\\_data](https://dataonline.bmkg.go.id/akses_data)). Diakses 12 Oktober 2019.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas. 2017. *Statistik Daerah Kabupaten Kepulauan Anambas 2017*. Tarempa: BPS Kabupaten Kepulauan Anambas.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas. 2018. *Statistik Daerah Kabupaten Kepulauan Anambas 2018*. Tarempa: BPS Kabupaten Kepulauan Anambas.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas. 2019. *Statistik Daerah Kabupaten Kepulauan Anambas 2019*. Tarempa: BPS Kabupaten Kepulauan Anambas.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Anambas. 2019. *Kecamatan Siantan Timur Dalam Angka 2018*. Tarempa: BPS Kabupaten Kepulauan Anambas.
- Bagiawan, Agung. 2013. Perhitungan Kebutuhan Kapasitas Tampung Bagi Rencana Pengembangan Areal Layanan Irigasi dari Bendung Perjaya –

Sumatera Selatan dengan Metode Numerik dan “Sequent Peak”. *Jurnal Irigasi* – Vol.8, No.1, Mei 2013, hlm 1-14.

Darsono, Suseno., dkk. 2014. “Optimasi Waduk Jatigede untuk memenuhi kebutuhan air Daerah irigasi Rentang”. *Makalah Pertemuan Ilmiah Hathi Ke 31*. Padang.

Direktorat Jenderal Cipta Karya. 1996. *Muatan Materi Juknis Pembangunan Sarana Air Bersih dan Penyehatan Lingkungan Permukiman Perdesaan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Farhan, Ohan. 2018. “Kajian Optimasi Pengoperasian Waduk Malahayu”. *Jurnal Logika*, Vol XII No. 3, Desember 2018, hlm 65-72.

Febriyani. 2008. *Perencanaan Teknis Penyediaan Sarana Air Bersih Sistem Perpipaan di Desa Sinar Jaya Kecamatan Tanjung Raja Kabupaten Lampung Utara*. Skripsi. Bandar Lampung: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Hanafi, Imam. 2011. *Kebijakan Air Bersih, Optimasi Manajemen Berbasis Permodelan*. Malang: UB Press.

Hardjono, Soegeng. 2013. “Kajian Karakteristik Desain Kapal Penumpang yang Sesuai untuk Perairan Kabupaten Kepulauan Anambas”. *Jurnal Balitbanghub* Volume 25 Nomor 6, Juni 2013, hlm 416 – 429.

Hilmi, Moh., dkk. 2012. “Optimasi Pola Operasi Waduk Pelaparado Di Kabupaten Bima, Propinsi NTB”. *Jurnal Teknik Pengairan* Volume 3, Nomor 2, Desember 2012, hlm 132–142.

INNAKO Internasional Konsulindo, PT. 2017. *Laporan Akhir FS Air Baku Kabupaten Kepulauan Anambas*. Jakarta.

Jinca, Laodi M. Yamin dan Selintung, Mary. 2020. Analisis Sistem Supplay Air Bersih untuk Kebutuhan Transportasi Laut Kapal Penumpang di Pelabuhan Nusantara Kota Parepare (<http://pasca.unhas.ac.id/jurnal/files/489b76e4c691cfc82f37f24341bbb796.pdf>). Diakses 21 September 2020.

Julia, Hilda. 2014. “Optmasi Model Hidrologi Mock Daerah Tangkapan Air Waduk Sempor”. *Jurnal Agrium*, Vol. 18 No. 3, April 2014, hlm 219-227.

Kodoatie, Robert J., dkk. 2001. *Pengelolaan Sumber Daya Air dalam Otonomi Daerah*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta.

Kodoatie, Robert. J. 2020. “Pengaruh Perubahan Kondisi DAS terhadap Debit Sungai Studi Kasus DAS Waduk Jatigede”. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(1), 95–103.

- Legowo, Sri. dkk. 2006. "Pengoperasian dan Umur Guna Waduk" *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 13 No. 4, Oktober 2006, hlm. 183-200.
- Limantara, Lily Montarcih. 2019. *Rekayasa Hidrologi*. Yogyakarta: ANDI
- Linslay, R.K. 1989. *Hidrologi untuk Insinyur*. Jakarta: Erlangga
- Marselina, Mariana. dkk. 2018. "Model Prakiraan Debit Air Dalam Rangka Optimalisasi Pengelolaan Waduk Saguling – Kaskade Citarum". *Jurnal Purifikasi*, Vol 17 No 1, hlm 99–108.
- Natalia, Karni P.R. 2008. "Penyusunan Rule Curve Waduk Menggunakan Model Program Dinamik Deterministik". *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 8 No. 3, hlm 225–236.
- NSPM Kimpraswil, Pedoman/petunjuk Teknik dan Manual. 2002. *Bagian 6 (Volume II & III) Air minum Perkotaan "Sistem Penyediaan Air Minum Perkotaan"*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Nuf'a, Hilma. dkk. 2016. "Optimasi Air Waduk Gondang dengan Metode Dinamik Deterministik". *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol. 7, No. 1, Mei 2016, hlm 25-36
- Nuraeni, Yeni. 2011. "Metode Memperkirakan Debit Air yang Masuk ke Waduk dengan Metode Stokastik Chain Markov (Contoh Kasus : Pengoperasian Waduk Air Saguling)". *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 18, No. 2, Agustus 2011, hlm 1–14.
- Pangestuti, Dwi dan Anwar, Nadjadji. 2009. "Optimasi Operasional Waduk-Waduk Besar di Kali Brantas untuk Produksi Energi Menggunakan Data Debit Real Time". *Makalah Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2009*. hlm 341–344.
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. 2017. Modul Perhitungan Hidrologi Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. Bandung.
- Ramadhan, Kadri. dkk. 2018. "Kajian Pola Operasi Waduk Keureuto untuk Memenuhi Kebutuhan Air Baku di Kabupaten Aceh Utara Provinsi Aceh". *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, Volume 1 Special Issue, Nomor 4, Februari, 2018 Hidrologi, Lingkungan dan Struktur, hlm 1059 – 1070
- Republik Indonesia. 2008. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2008 tentang Pembentukan Kabupaten Kepulauan Anambas di Provinsi Kepulauan Riau. Jakarta: Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.

- Republik Indonesia. 2014. Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 53/KEPMEN-KP/2014 Tahun 2014 tentang Rencana Pengelolaan dan Zona Taman Wisata Perairan Kepulauan Anambas dan Laut Sekitarnya di Provinsi Kepulauan Riau tahun 2014-2034. Jakarta: Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia,
- Republik Indonesia. 2015. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta: Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.
- Samosir, Cahaya Santoso. dkk. 2015. "Optimasi Pola Operasi Waduk untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air ( Studi Kasus Waduk Wonogiri)". *Jurnal Teknik Pengairan* Vol 6 No 1, Mei 2015, hlm 108-115
- Setiyoko, Darmawan. dkk. 2015. "Optimasi Waduk Regulating DAM di Kabupaten Pringsewu, Propinsi Lampung". *Jurnal Rekayasa*, Vol. 19 No. 1, April 2015, hlm 1-12.
- Soetopo, Widandi dan Limantara, Lily Montarcih. 2009. *Manajemen Air Lanjut*. Malang: CV. Mitra Malang.
- Sulistiono, Andi. dkk. 2015. "Simulasi Operasi Waduk Lamong untuk Kepentingan Air Baku dan Irigasi ". *Jurnal Irigasi – Vol. 9, No. 1, Mei 2014*, hlm 16–28.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Virama Karya, PT. 2018. *Laporan Pendahuluan Detail Desain Bendungan Temburun di Kabupaten Kepulauan Anambas*. Jakarta.
- Yosananto, Yedida dan Ratnayanti, Rini. 2013. "Studi Simulasi Pola Operasi Waduk Untuk Air Baku Dan Air Irigasi pada Waduk Darma Kabupaten Kuningan Jawa Barat (221A)". *Makalah KoNTekS 7*, hlm 163-169.
- Yumi, Heva Hayuko. 2007. *Kajian Penyediaan dan Kebutuhan Air Bersih untuk Menunjang Aktivitas Penangkapan Ikan di Pelabuhan Perikanan Samudera Nizam Zachman Jakarta*. Skripsi. Bogor: Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Wahyuana, Wawan. 2006. General Arrangement Fishing Vessel. Tugas Akhir. Semarang: Program Studi Diploma III Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- Wesli. 2013. "Operasional Waduk". *Teras Jurnal* Vol 3 No 2, hlm 85–94.