

$$V_1 = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{DEF_t}{D_t}}{\sum_{t=1}^n W_t}$$

2. Nilai maksimum “*deficit – ratio*”

$$V_2 = \max \left\{ \frac{DEF_t}{D_t} \right\}$$

3. Nilai maksimum “*deficit*”

$$V_3 = \max \{DEF_t\}$$

BAB III

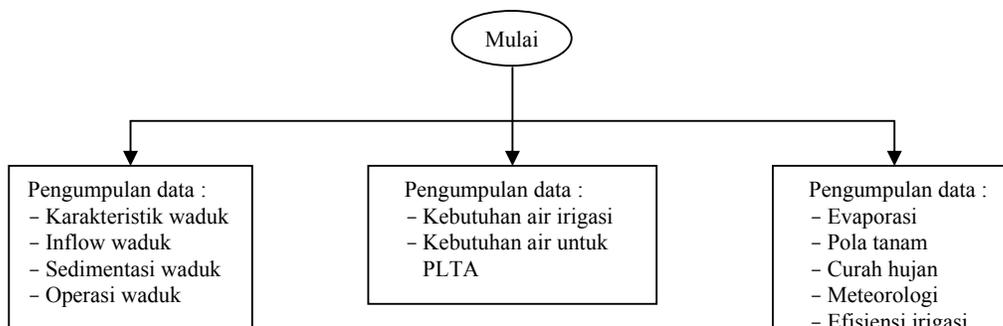
METODOLOGI

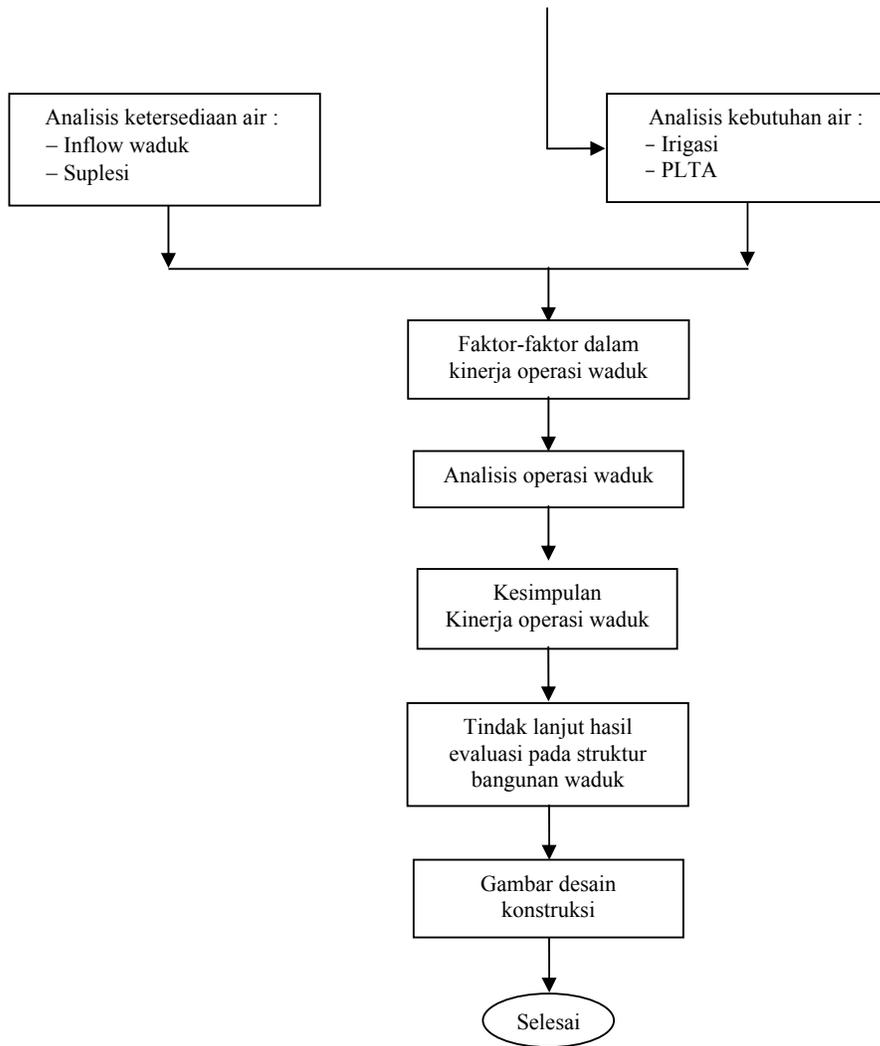
Tahapan Penelitian

Pola pengoperasian yang digunakan oleh Waduk Wadaslintang selama ini adalah metode *rule curve*. Penelitian ini untuk membandingkan dan mengevaluasi unjuk kerja pada pola operasi waduk yang ada yaitu pola pengoperasian Waduk Wadaslintang berdasarkan data eksisting, SOP serta *rule curve*. Kemudian menganalisa faktor – faktor yang terkait kinerja pengoperasian waduk yang kemudian ditindaklanjuti pada bangunan waduk.

Tahapan dalam penulisan tugas akhir ini meliputi:

- 1) Pengumpulan data untuk keperluan evaluasi.
- 2) Skenario kelompok tahun inflow waduk.
- 3) Menentukan besar evaporasi.
- 4) Menentukan besarnya kebutuhan air (*demand*).
- 5) Model simulasi pengoperasian waduk.
- 6) Analisa unjuk kerja waduk.
- 7) Mencari faktor – faktor yang mempengaruhi kinerja operasi waduk berdasarkan evaluasi.
- 8) Menindaklanjuti hasil evaluasi kinerja waduk dan faktor – faktor yang berpengaruh pada bangunan waduk.





Gambar 3.1. Bagan alir tahapan penelitian

Pengumpulan Data

Persiapan

Tahapan persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data, yang harus segera dilakukan dengan tujuan untuk mengefektifkan waktu dan pekerjaan.

Tahap persiapan meliputi kegiatan-kegiatan berikut :

- 1) Studi pustaka terhadap materi untuk menentukan garis besarnya.
- 2) Menentukan kebutuhan data
- 3) Mendata instansi-instansi terkait yang dapat dijadikan narasumber
- 4) Pengadaan persyaratan administrasi untuk perencanaan data
- 5) Survey lokasi untuk mendapatkan gambaran umum kondisi sebenarnya.

Persiapan di atas harus dilakukan secara cermat untuk menghindari pekerjaan yang berulang-ulang sehingga tahap pengumpulan data optimal.

Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini ada beberapa metode pengumpulan data dapat dilakukan, yaitu dengan cara:

1) Metode Literatur

Metode literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan, mengidentifikasi, mengolah data tertulis dan metode kerja yang digunakan sebagai input proses evaluasi

2) Metode Observasi

Metode observasi merupakan cara pengumpulan data dengan melakukan pengamatan langsung ke lokasi untuk mengetahui kondisi sebenarnya di lapangan agar desain sesuai

3) Metode Wawancara

Metode wawancara merupakan cara memperoleh data yang dilakukan dengan menanyakan langsung pada narasumber atau instansi yang terkait.

Adapun data-data yang digunakan sebagai dasar perencanaan meliputi:

1) Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan berdasarkan hasil survey di lapangan, antara lain:

- Kondisi fisik bangunan waduk
- Kondisi lingkungan.

2) Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari berbagai narasumber dan instansi terkait, antara lain:

- Data irigasi berupa luas daerah layanan irigasi, pola tanam daerah irigasi, laju evaporasi yang akan digunakan untuk menghitung kebutuhan air irigasi.
- Data angin, data curah hujan dan kelembaban.
- Data debit *inflow*. Pada pembuatan laporan ini penulis menggunakan data sekunder untuk debit *inflow* dikarenakan keterbatasan waktu dan biaya yang dikeluarkan untuk menghitung debit *inflow* terkait jauhnya sumber data dan keterbatasan data yang dimiliki.
- Data kapasitas tampungan dan elevasi air waduk.
- Data pelepasan (*release*) dan elevasi aktual Waduk Wadaslintang.
- Pola pengoperasian Waduk Wadaslintang.
- Data kondisi sedimentasi serta bangunan waduk.

Pengolahan dan Analisis Data

Analisis dan pengolahan data yang dibutuhkan dan dikelompokkan sesuai identifikasi permasalahannya, sehingga didapat penganalisan dan pemecahan yang efektif dan terarah.

Analisis data yang perlu dilakukan antara lain :

- Analisis kelompok tahun *inflow* waduk.
- Analisis kebutuhan air (*demand*).
- Analisis kinerja pengoperasian waduk.
- Analisis faktor – faktor yang mempengaruhi kinerja waduk.
- Aplikasi hasil evaluasi kinerja dan faktor-faktor pada bangunan waduk.

Dalam proses perencanaan, diperlukan analisis yang teliti, semakin rumit permasalahan yang dihadapi maka kompleks pula analisis yang akan dilakukan. Untuk dapat melakukan analisis yang baik, diperlukan data/informasi, teori konsep dasar dan alat bantu.

Skenario Kelompok Tahun Inflow Waduk

Data debit *inflow* waduk sepanjang tahun dibagi menjadi 4 (empat) kelompok tahun debit *inflow*. Sebelum dibagi dalam 4 kelompok tahun debit *inflow*, data debit rerata bulanan dijadikan debit rerata tahunan dan diurutkan dari yang terbesar ke yang terkecil.

Pembagian kelompok debit *inflow* ke dalam kelompok tahun basah, kelompok tahun normal, kelompok tahun cukup dan kelompok tahun kering dilakukan secara visual. Dari pengelompokan tersebut dapat diketahui tahun-tahun operasi waduk yang akan disimulasikan termasuk dalam kelompok dan zona tahun yang mana. Pengelompokan kelompok tahun sebagai pedoman untuk menentukan *demand* dan pola *rule curve* yang akan digunakan.

Menentukan Besarnya Evaporasi

Evaporasi merupakan kehilangan air (*losses*) yang mengurangi volume air yang tertampung dalam suatu waduk, karena itu evaporasi yang terjadi merupakan fungsi dari luas genangan permukaan air waduk. Data evaporasi yang dipakai berdasarkan ketinggian evaporasi dikalikan luas muka air waduk setiap bulannya.

Menentukan Kebutuhan (Demand) Air Waduk Wadaslintang

Kebutuhan air di hilir Waduk Wadaslintang terbagi untuk kebutuhan irigasi dan PLTA. Besarnya kebutuhan air (*demand*) waduk diperhitungkan berdasarkan kondisi kekurangan air yang belum terpenuhi dari ketersediaan air di hilir waduk. Adapun kebutuhan air didasarkan pada data *demand* terbaru dikurangi ketersediaan air di hilir waduk.

Kebutuhan Air untuk Irigasi

Kebutuhan air untuk pertumbuhan

Kebutuhan air untuk pertumbuhan :

1. Untuk 2 minggu ke – 1 sampai ke – 4 dengan menggunakan rumus :

$$I_r = w + E_t + P - R_e$$

2. Untuk 2 minggu ke – 5 sampai ke – 6 dengan menggunakan rumus :

$$I_r = E_t + P - R_e$$

Dimana :

Ir = Kebutuhan air untuk irigasi

W = Kebutuhan air untuk penggantian air genangan

Et = Evapotranspirasi

P = Perkolasi

Re = Curah hujan efektif

Perhitungan yang terkait dengan kebutuhan air untuk pertumbuhan :

➤ Perhitungan Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah peristiwa penguapan suatu daerah aliran sungai sebagai akibat pertumbuhan dari tanaman.

Rumus :

$$Et = ETo \times KT$$

Dimana :

ETo = Evapotranspirasi

Eo = Evaporasi (peristiwa berubahnya air menjadi uap)

KT = Koefisien Tanaman (Padi)

➤ Perhitungan perkolasi

Nilai perkolasi untuk daerah datar sebesar 1 mm / hari, sedangkan untuk daerah dengan kemiringan > 5 %, nilai perkolasinya berkisar 2 – 5 mm / hari. Karena termasuk daerah datar, maka nilai perkolasi yang dipakai adalah 1 mm / hari.

➤ Perhitungan curah hujan efektif

Curah hujan efektif dihitung berdasarkan koefisien yang telah banyak digunakan pada banyak proyek di Jawa Tengah, yaitu dari 2 alternatif nilai :

1. $ERF 1 = 0,5 \times Rh$

2. $ERF 2 = 0,6 \times (ETo + \text{Perkolasi})$

Dari 2 nilai tersebut nilai yang terendah diambil sebagai curah hujan efektif.

Ada variasi ERF 2 untuk pengolahan lahan, dimana ETo diganti dengan Eo (evaporasi), diasumsikan menjadi 1,2 x Eto.

➤ Kebutuhan air untuk pengolahan tanah

Kebutuhan air untuk pengolahan tanah atau penggenangan (*standing water*),
 $W = 3,33 \text{ mm/hari}$.

Beberapa faktor variabel yang terkait dengan perhitungan kebutuhan air untuk irigasi, meliputi :

1. Harga evaporasi (E_o).
2. Harga perkolasi ditetapkan 1 mm / hari karena daerah cenderung datar.
3. Curah hujan efektif (R_e).
4. Evapotranspirasi potensial (E_t) = evaporasi x koefisien tanaman (K_t), dimana koefisien tanaman diperoleh dari tabel pendekatan Nedeto / Porosida
5. Kebutuhan air untuk penjemuran pendahuluan dan pengolahan tanah.
6. Besarnya kehilangan air selama penyaluran diperhitungkan untuk tiap – tiap saluran :
 - kebutuhan air dikalikan 0,166 sebagai konversi dari mm / hari menjadi liter / detik / hektar (I_r).
 - Kebutuhan air saluran tersier (I_{rt}) : $I_r = 75\%$
 - Kebutuhan air saluran sekunder (I_{rs}) : $I_r = 80\%$
 - Kebutuhan air saluran primer (I_{rp}) : $I_r = 90\%$
7. Hasil perhitungan kebutuhan air pada saluran primer, saluran sekunder dan saluran tersier di plot pada jadwal rencana pengolahan tanah dan pertumbuhan padi.
8. Angka kebutuhan air untuk masing – masing saluran ditetapkan berdasarkan angka terbesar dari rata – rata kebutuhan air dari sistem saluran.

Kebutuhan Air untuk PLTA

Karena kebutuhan air untuk PLTA bergantung pada besarnya kebutuhan irigasi, maka kebutuhan untuk PLTA tidak menambah besarnya permintaan akan kebutuhan air.

Model Simulasi Pengoperasian Waduk

Dalam penelitian ini dilakukan simulasi berdasarkan data eksisting, SOP dan *rule curve* pedoman manual pengoperasian waduk. Secara umum beberapa pendekatan simulasi waduk dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Simulasi dilakukan sepanjang beberapa tahun menurut urutan tahun *inflow*.

2. Awal pengoperasian pada bulan Oktober, sesuai dengan dengan pola tanam di daerah irigasi.
3. Tampungan pada awal pengoperasian dilakukan dengan coba-coba (*trial and error*) yaitu dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas yang ada.
4. Kehilangan air bulanan (evaporasi) merupakan fungsi dari luas genangan waduk dengan data ketinggian evaporasi yang ada (luas permukaan x tinggi evaporasi)
5. Tampungan waduk di akhir bulan tidak diperkenankan kurang dari kapasitas minimum dan melebihi kapasitas maksimum.
6. Limpasan terjadi jika volume tampungan akhir waduk melebihi kapasitas maksimum. Air yang melimpas melalui bangunan pelimpah tidak diperhitungkan sebagai sumberdaya yang dapat dimanfaatkan atau diasumsikan sebagai kelebihan. (*Martsanto, 1990*)

7. Hukum kesetimbangan air waduk adalah :

$$I_t = RL_t + Le_t + SP_t + S_t - S_{t-1}$$

$$S_{0 \text{ (awal)}} = S_{12}$$

Dimana :

$$I_t = \text{debit } inflow \text{ waduk pada bulan ke- } t \text{ (juta m}^3 \text{ / bulan)}$$

$$RL_t = \text{pelepasan (realease) waduk pada bulan ke-t (juta m}^3 \text{ / bulan)}$$

$$Le_t = \text{limpasan yang terjadi pada bulan ke-t (juta m}^3 \text{ / bulan)}$$

$$SP_t = \text{kehilangan air waduk pada akhir bulan ke-t (juta m}^3 \text{ / bulan)}$$

$$S_t = \text{tampungan waduk pada akhir bulan ke-t (juta m}^3 \text{ / bulan)}$$

$$S_{t-1} = \text{tampungan waduk awal bulan ke-t (juta m}^3 \text{ / bulan)}$$

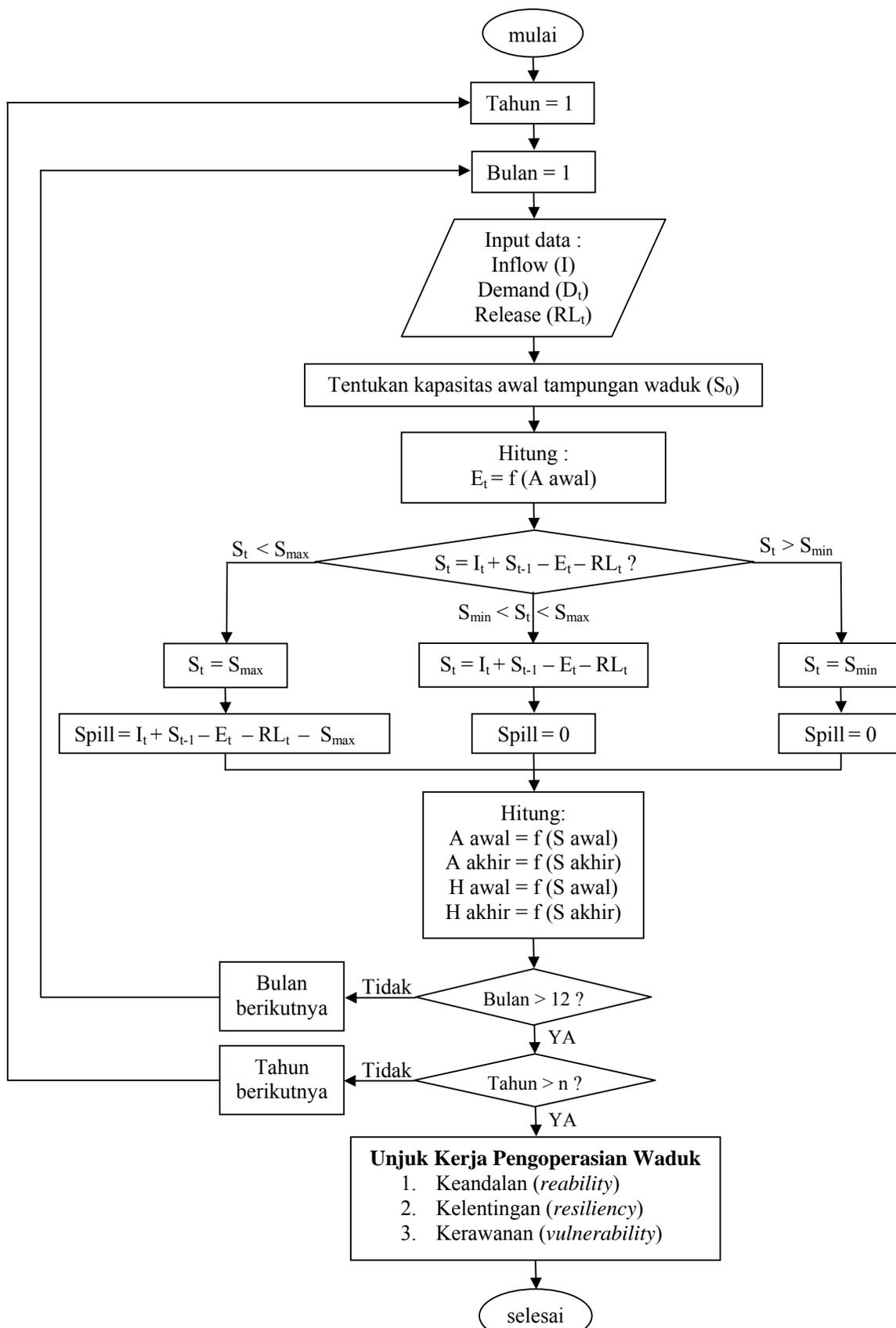
$$t = 1, 2, 3, \dots, 12$$

8. Luas genangan dan elevasi waduk dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung teoritis waduk.
9. Volume tampungan awal sama dengan volume tampungan akhir waduk bulan sebelumnya.
10. Unjuk kerja yang dihitung adalah keandalan, kelentingan dan kerawanan.
11. Pada perhitungan unjuk kerja digunakan asumsi bahwa waduk dianggap gagal apabila tidak bisa memenuhi seluruh kebutuhan.

Adapun langkah masing-masing simulasi pengoperasian waduk adalah sebagai berikut:

Simulasi berdasarkan data eksisting

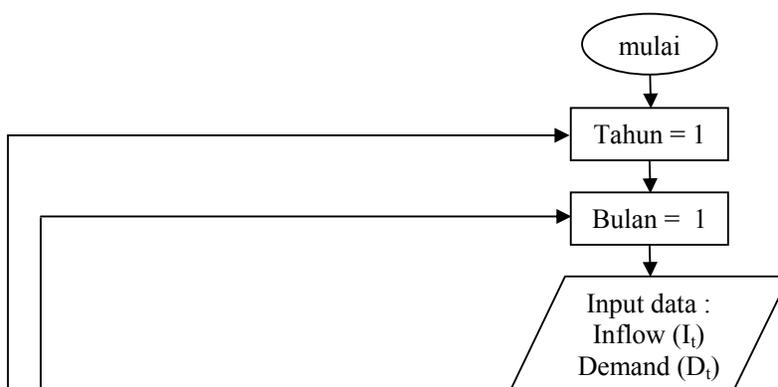
- 1) Memasukkan data masukan (*input*) berupa debit *inflow* dan pelepasan aktual.
- 2) Memasukkan data demand sesuai dengan kelompok tahun.
- 3) Menentukan besarnya evaporasi yang merupakan fungsi dari luas genangan awal waduk.
- 4) Menentukan kapasitas efektif awal waduk pada bulan pengoperasian dengan cara coba – coba (*trial and error*) agar elevasi akhir yang dihasilkan mendekati elevasi eksisting yang ada.
- 5) Menentukan kapasitas efektif akhir waduk dengan menggunakan persamaan kesetimbangan air.
$$S_t = S_{t-1} + I_t - RL_t - E_t$$
- 6) Menentukan volume / tampungan waduk total awal dan akhir berdasarkan volume tampungan efektif ditambah dengan kapasitas tampungan mati.
- 7) Limpasan (*spill*) terjadi jika volume tampungan akhir waduk melebihi kapasitas maksimum.
- 8) Luas genangan awal dan akhir ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas waduk.
- 9) Elevasi awal dan akhir waduk ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas waduk.
- 10) Memasukkan data elevasi akhir eksisting sebagai perbandingan dengan elevasi akhir hasil perhitungan.
- 11) Menentukan kapasitas efektif tampungan maksimum dan minimum dalam satu tahun.
- 12) Menentukan indikator unjuk kerja kebutuhan yaitu dengan membandingkan antara pelepasan dengan kebutuhan (*demand*).



Gambar 3.2. Bagan Alir Simulasi Eksisting (McMohan dan Russel, 1978 dalam Suharyanto, 1997)

Simulasi berdasarkan SOP (Standard Operating Policy)

- 1) Memasukkan data masukan (*input*) berupa debit *inflow*.
- 2) Memasukkan data demand sesuai dengan kelompok tahun.
- 3) Menentukan besarnya evaporasi yang merupakan fungsi dari luas genangan awal waduk.
- 4) Menentukan besarnya pelepasan dengan kriteria sebagai berikut :
$$RL_t = I_t + S_{t-1} - E_t - S_{maks.} \text{ apabila } I_t + S_{t-1} - E_t - D_t > S_{maks.}$$
$$RL_t = I_t + S_{t-1} - E_t - S_{min.} \text{ apabila } I_t + S_{t-1} - E_t - D_t < S_{min.}$$
$$RL_t = D_t \text{ apabila } S_{min.} < I_t + S_{t-1} - E_t - D_t < S_{maks.}$$
- 5) Menentukan kapasitas efektif awal waduk pada awal bulan pengoperasian dengan coba – coba (*trial and error*) agar elevasi akhir yang dihasilkan mendekati elevasi akhir eksisting yang ada.
- 6) Menentukan kapasitas efektif akhir waduk dengan menggunakan persamaan kesetimbangan air.
$$S_t = S_{t-1} + I_t - RL_t - Ev_t$$
- 7) Menentukan volume / tampungan waduk total awal dan akhir berdasarkan volume tampungan efektif ditambah dengan kapasitas tampungan mati.
- 8) Limpas (*spill*) terjadi jika volume tampungan akhir waduk melebihi kapasitas maksimum.
- 9) Luas genangan awal dan akhir ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas waduk.
- 10) Elevasi awal dan akhir ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas waduk.
- 11) Menentukan indikator unjuk kerja kebutuhan yaitu dengan membandingkan antara pelepasan dengan kebutuhan (*demand*).



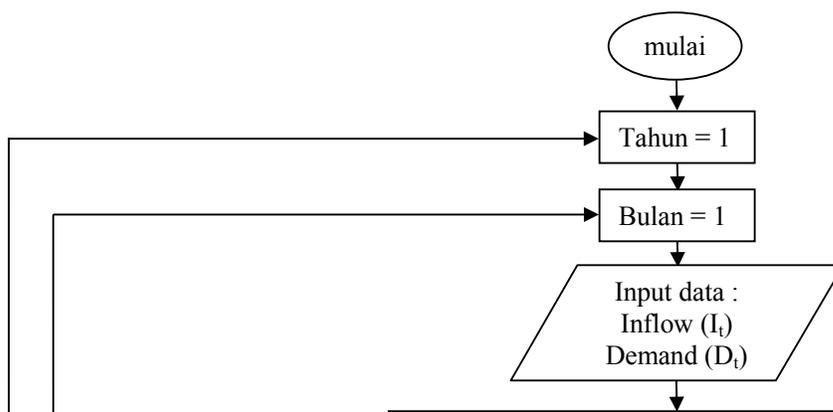
Gambar 3.3. Bagan Alir Simulasi SOP
(McMohan dan Russel, 1978 dalam Suharyanto, 1997)

Simulasi berdasarkan Rule Curve – Elevasi

- 1) Memasukan data masukan (*input*) berupa debit *inflow*.

- 2) Memasukkan data *demand* sesuai dengan kelompok tahun.
- 3) Menentukan besarnya evaporasi yang merupakan fungsi dari luas genangan awal waduk.
- 4) Menentukan elevasi awal dan akhir berdasarkan *rule curve* pedoman manual pengoperasian waduk yang telah ada.
- 5) Memasukkan data elevasi eksisting sebagai perbandingan dengan elevasi *rule curve*.
- 6) Menentukan kapasitas / tampungan awal dan akhir waduk dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas yang merupakan fungsi dari elevasi.
- 7) Limpasan (*spill*) terjadi jika volume tampungan akhir waduk melebihi kapasitas maksimum.
- 8) *Outflow* ditentukan berdasarkan persamaan kesetimbangan air waduk.

$$RL_t = I_t + S_{t-1} - E_t - S_t$$
- 9) Luas genangan awal dan akhir ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas waduk .
- 10) Menentukan kapasitas efektif tampungan maksimum dan minimum dalam satu tahun.
- 11) Menentukan indikator unjuk kerja kebutuhan yaitu dengan membandingkan antara pelepasan dengan kebutuhan (*demand*).



Gambar 3.4. Bagan Alir Simulasi Rule Curve-Elevasi
(McMohan dan Russel, 1978 dalam Suharyanto, 1997)

**Simulasi dengan menggunakan Reservoir Simulation Model for Water Suplly
(Resim)**

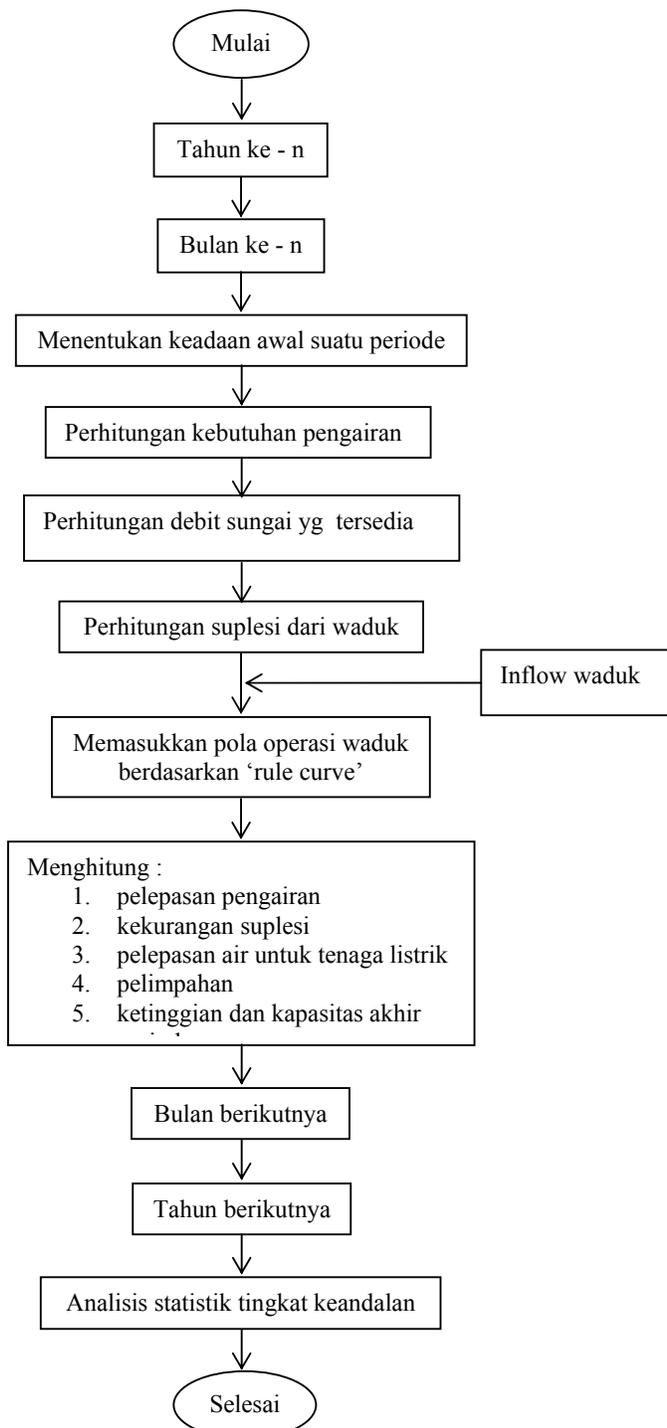
Data masukan (*Input data*) meliputi :

1. Data inflow waduk yang ditentukan berdasarkan distribusi probabilitas untuk tahun kering, normal dan basah (*input* pada *worksheet flow-data* pada sel B7 sampai Y7).
2. Volume tampungan aktif dan volume tampungan minimum waduk (*input* pada sel B6 dan F5 di *Worksheet Interface*).
3. Data evaporasi yaitu koefisien evaporasi tengah bulanan dan evaporasi tahunan dalam satuan m. (*input* pada *worksheet Parameters* di sel D9 dan B13 - B36). Hubungan antara luas permukaan genangan dan volume tampungan dihitung berdasarkan persamaan lengkung kapasitas waduk dengan persamaan $A = 0.1866 \times V^{0.7031}$, dengan $a =$ luas permukaan dan $V =$ volume tampungan. Hubungan volume dan luas genangan seperti ditunjukkan pada gambar 10. Gambar Lengkung Kapasitas Waduk Wadaslintang.
4. Data kebutuhan air yang terdiri dari koefisien kebutuhan air irigasi, air baku, dan PLTA. (inputnya pada *worksheet demand*, dimana terdapat 2 kolom utama yaitu *percentage* dan *volume*. *Percentage* terdiri dari prosentase pemakaian air irigasi, air baku dan *instream demand*, dimana masing-masing terdapat kolom yang merupakan koefisien rata-rata kebutuhan per tengah bulanan. Sedangkan volumenya didapatkan dari input pada sel B7 di *worksheet interface*)

Simulasi waduk dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.

1. Input data inflow tengah bulanan pada *worksheet flow data* sepanjang 15 tahun data, mulai dari Oktober tahun 1990/1991 – Oktober 2004/2005.
2. Masukkan Volume Aktif untuk waduk di sel B6 pada *Worksheet Interface*
3. Masukkan data evaporasi (koefisien evaporasi dan evaporasi tahunan) pada *worksheet Parameters*, dan koefisien kebutuhan air di *worksheet Demand*.
4. Masukkan target elevasi sesuai skenario pola operasi kelompok masing – masing tahun (tahun kering, tahun normal atau tahun basah) pada *worksheet S_model* kolom Vol-1c.

5. Masukkan Demand Tahunan kondisi eksisting sesuai dengan kebutuhan air di sel B7 pada *Worksheet Interface*
6. Lihat hasil simulasi dari model (program) di bagian *Interface* untuk mengetahui total kegagalan, sedangkan pada *worksheet performance* dapat diketahui nilai-nilai performance waduk per tahun.
7. Hasil simulasi ini merupakan hasil simulasi dengan model *Resim*
(sumber : *Darrell G. Fontane, Colorado State University, Spring 2001*)



Gambar 3.5. Bagan Alir Simulasi dengan Menggunakan *Resim*.

Analisa Unjuk Kerja Waduk

Kinerja pengoperasian waduk merupakan indikator waduk dalam pengoperasian untuk memenuhi kebutuhan. Beberapa indikator untuk menilai besarnya *performance* operasi

waduk yang meliputi keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*).

Bahasan berikutnya setelah simulasi adalah memeriksa unjuk kerja (*performance*) waduk, yang meliputi :

- 1) Keandalan (*reliability*)
- 2) Kelentingan (*resiliency*)
- 3) Kerawanan (*vulnerability*)

Tindak Lanjut Hasil Analisa pada Bangunan Waduk

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah menindaklanjuti hasil dari analisis evaluasi waduk berupa pendesainan konstruksi waduk yang terkait dengan faktor kinerja waduk sehingga diperoleh kinerja yang lebih optimal.