

**PENERAPAN MODEL HIDROLOGI HEC-ResSim PADA OPERASI
BENDUNG KAMPILI**

Wahyuni

G411 16 515



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**PENERAPAN MODEL HIDROLOGI HEC-ResSim PADA OPERASI
BENDUNG KAMPILI**

**Wahyuni
G411 16 515**



**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN MODEL HIDROLOGI HEC-ResSim PADA OPERASI BENDUNG KAMPILI

Disusun dan diajukan oleh

WAHYUNI
G411 16 515

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana, pada Program Studi Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 7 Juni 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Mahmud Achmad, M.P.
NIP. 19700603 199403 1 003



Samsuar, S.TP., M.Si.
NIP. 19850709 201504 1 001

Ketua Program Studi



Dr. Ir. Iqbal, S.TP., M.Si.
NIP. 19781225 200212 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wahyuni
NIM : G411 16 515
Program Studi : Teknik Pertanian
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul Penerapan Model Hidrologi HEC-ResSim pada Operasi Bendung Kampili adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari Skripsi karya saya ini membuktikan bahwa keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 30 Juni 2021

Yang Menyatakan



(Wahyuni)

ABSTRAK

WAHYUNI (G411 16 515). “Penerapan Model Hidrologi HEC-ResSim Pada Operasi Bendung Kampili” Pembimbing: MAHMUD ACHMAD dan SAMSUAR

Latar Belakang Bendung Kampili sebagai suatu kawasan dengan sumber air yang potensial dalam upaya pengelolaan sumber daya air yang dibutuhkan petani sebagai air irigasi untuk memenuhi kebutuhan air di area pertanian. Salah satu model hidrologi yang dapat digunakan dalam operasi waduk adalah model HEC-ResSim. **Tujuan** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui HEC-ResSim mampu mensimulasikan operasi bendung pada hubungan ketersediaan air di bendung dan kebutuhan air irigasi. **Metode** Dengan mensimulasikan data yang didapatkan menggunakan *software* HEC-ResSim dan membandingkan antara ketersediaan air di Bendung Kampili pada pola operasi yang digunakan dengan kebutuhan air Daerah Irigasi Kampili pada pola operasi tahun 2018. **Hasil** Pada penelitian ini menunjukkan bahwa ketersediaan air tertinggi pada 15 hari pertama sebesar 25.10 mm/hr dan kebutuhan air tertinggi pada 15 hari terakhir bulan Oktober sebesar 15.82 mm/hr. Pada kondisi minimum kapasitas bendung dapat memenuhi kebutuhan air irigasi sebesar 72%.

Kata Kunci: HEC-ResSim, Ketersediaan Air, Kebutuhan Air

ABSTRACT

WAHYUNI (G411 16 515). "Application of the HEC-ResSim Hydrological Model in the Kampili Weir Operation" Supervisors: MAHMUD ACHMAD and SAMSUAR

***The background** of the Kampili Dam as an area with potential water sources in an effort to manage water resources needed by farmers as irrigation water to meet water needs in agricultural areas. One of the hydrological models that can be used in reservoir operations is the HEC-ResSim model. **The aim** This study aims to determine the HEC-ResSim of the dam on the relationship between water availability in dams and irrigation water needs. **The method** This research method is carried out by simulating using a comparison between the availability of water in the Kampili dam in the operating pattern used with the water needs of the Kampili Irrigation Area in the 2018 operation pattern. **The results** of this study show that the highest water availability in the first 15 days is 25.10 mm / day and the highest water demand is in the last 15 days of the month September of 15.82 mm / day. In the minimum condition, the dam capacity can meet the irrigation water needs is 72%. it can simulate irrigation operations.*

Keywords : HEC-ResSim, Water Availability, Water Requirements

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT., karena atas rahmat dan nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini selesai tidak lepas dari doa dan dukungan serta semangat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ayahanda **Idris** dan Ibunda **Ramasia** yang senantiasa selalu mendoakan penulis serta terus memberikan dukungan moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. **Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP.** dan **Samsuar S.TP., M.Si.** selaku dosen pembimbing yang selalu meluangkan waktu memberikan ilmu dan arahnya dengan penuh kesabaran dimulai dari penyusunan proposal, penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai.
3. **Bapak Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP.** selaku dosen pembimbing akademik dan **Dosen-dosen Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Keteknikan Pertanian** yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan serta pengalaman selama proses perkuliahan.
4. Saudaraku dari "**REAKTOR 2016**" yang telah memberikan banyak pengalaman hidup, berbagi kisah dan telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini baik tenaga, ide dan doa.
5. **Burhan, Ayu, Aan, Atika, Ratna, Maria Ulfa, Mima, Flo, Fahrul Agus, Iqbal Patabai** dan **seluruh teman-teman Keteknikan Pertanian 16** yang telah banyak membantu baik berupa dukungan, ide serta bantuan selama penelitian berlangsung.

Semoga segala kebaikan mereka akan berbalik ke mereka sendiri dan semoga Allah SWT. senantiasa membalas segala kebaikan mereka dengan kebaikan dan pahala yang berlipat ganda. Aamiin.

Makassar, 30 Juni 2021

Wahyuni

RIWAYAT HIDUP



Wahyuni lahir di Sabbang pada tanggal 16 Januari 1998, dari pasangan bapak Idris dan Ibu Ramasia, anak ke dua dari empat bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang pernah dilalui adalah:

1. Memulai pendidikan di SD Negeri 016 Salulimbong, pada tahun 2004 sampai tahun 2010.
2. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah pertama di SMP Negeri 2 Sabbang pada tahun 2010 sampai tahun 2013.
3. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah atas di SMA Negeri 1 Sabbang, pada tahun 2013 sampai tahun 2016
4. Melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar, Fakultas Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Keteknikan Pertanian pada tahun 2016 sampai tahun 2021.

Selama menempuh pendidikan di dunia perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin (HIMATEPA UH) periode 2017/2018.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
PERSANTUNAN	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan dan Kegunaan Penelitian	2
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Bendung	3
2.2. Waduk	3
2.3. Curah Hujan	7
2.4. Ketersediaan Air.....	8
2.5. Kebutuhan Air.....	9
2.6. Aplikasi HEC-ResSim	14
2.7. Uji Data Berpasangan	15
3. METODE PENELITIAN.....	17
3.1. Waktu dan Tempat.....	17
3.2. Alat dan Bahan.....	17
3.3. Metode Penelitian.....	17
3.4. Prosedur Penelitian.....	17
3.5. Bagan Alir Penelitian	20
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1. Karakteristik Bendung dan Spesifikasi Jaringan Irigasi	21

4.2. Ketersediaan air.....	22
4.3. Kebutuhan air	24
4.4. Analisis Ketersediaan Air dan Kebutuhan Air dengan Menggunakan HEC-ResSim	26
4.5. Pola Pengelolaan Air Untuk Pertanian	29
5. PENUTUP.....	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Lengkug Kapasitas Waduk	9
Gambar 3-1. Bagan Alir Penelitian.....	20
Gambar 4-1. Lokasi Penelitian.....	21
Gambar 4-2. Grafik Curah Hujan.....	22
Gambar 4-3. Grafik Lengkung Kapasitas Waduk.....	23
Gambar 4-4. Grafik Curah Hujan Efektif.....	25
Gambar 4-5. Grafik Kebutuhan Air Tanaman dan Kebutuhan Air Irigasi	25
Gambar 4-6. Grafik Ketersediaan Hujan Efektif dan Kebutuhan Air Tanaman...	26
Gambar 4-7. Grafik <i>Outflow</i> di Pintu Pengambilan dan Kebutuhan Air Irigasi....	27
Gambar 4-8. Grafik Tinggi Muka Air.....	28
Gambar 4-9. Grafik Tinggi Muka Air Hasil Pngukuran dan Hasil Simulasi.....	29

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1. Pola Tanam Daerah Irigasi Kampili	24
----------------------------------------------------	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Jaringan Irigasi.....	35
Lampiran 2. Perhitungan Evapotranspirasi (Penman Modifikasi) di Kampili.....	36
Lampiran 3. Perhitungan Curah Hujan	37
Lampiran 4. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi Tanaman Padi (NFR)	38
Lampiran 5. Rekapitulasi Kebutuhan Air Tanaman pada Pintu Pengambilan.....	39
Lampiran 6. Hidrograf Aliran Hasil Simulasi HEC-ResSim	40
Lampiran 7. Pengujian Sampel Tinggi Muka Air Pengukuran dan Simulasi	41
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian.....	42

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengelolaan air merupakan suatu hal yang sangat penting dalam pemanfaatan berbagai kebutuhan sehingga perlu dilakukan suatu pengelolaan sumber daya air yang efisien dan perencanaan yang tepat (Mythili, 2013). Pembuatan waduk sebagai salah satu cara yang paling efisien dalam pengelolaan sumber daya air. Optimalisasi operasi waduk memungkinkan adanya perlakuan pada pemanfaatan waduk sebagai tempat penyimpanan air untuk memaksimalkan kebutuhan air pada kekeringan atau musim kemarau (Tukimat, 2014).

Pada pemanfaatan tampungan waduk, harus diketahui bahwa kuantitas air sangat terbatas. Oleh karena itu, pemakaian air harus dilakukan secara optimal sehingga penggunaan air waduk dapat memenuhi berbagai kebutuhannya yang direncanakan salah satunya adalah irigasi (Huda, 2012).

Bendung sebagai alternatif untuk meninggikan muka air sungai yang ditampung pada waduk dan mengendalikan pengeluaran air sesuai dengan kebutuhan sehingga air dapat dimanfaatkan secara optimal efisien (Mangore, 2013).

Bendung Kampili sebagai suatu kawasan dengan sumber air yang potensial dalam upaya pengelolaan sumber daya air yang dibutuhkan petani sebagai air irigasi untuk memenuhi kebutuhan air di area pertanian. Bendung ini selesai dibangun pada tahun 2004 dan berfungsi sebagai bendung irigasi yang mengairi sawah seluas kurang lebih 10.545 ha di Kabupaten Gowa (Anonim, 2019).

Untuk mengetahui kinerja Bendung Kampili dalam memenuhi kebutuhan air irigasi maka perlu dilakukan evaluasi pola operasi bendung yang diterapkan pada satu tahun periode musim tanam dengan data yang lengkap seperti pada tahun 2018. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mensimulasikan pola operasi bendung. Pada simulasi operasi bendung ini diharapkan dapat sebagai acuan untuk mengoptimalkan kebutuhan air irigasi kedepannya di daerah aliran irigasi pada khususnya Daerah Irigasi Kampili, dan umumnya wilayah Kabupaten Gowa.

Dalam mengevaluasi pengelolaan air di bendung diperlukan suatu model hidrologi yang dapat memudahkan untuk simulasi perilaku operasi bendung,

salah satunya adalah model HEC-ResSim. HEC-ResSim merupakan *software* model simulasi sistem bendung yang mempunyai kelebihan diantara model simulasi waduk karena HEC-ResSim memprediksi proses pengambilan keputusan oleh operator waduk mengatur operasi waduk (Evans dan Joan, 2013).

Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian tentang penerapan HEC-ResSim pada sistem operasi Waduk Kampili untuk mengetahui keakuratan HEC-ResSim dalam mensimulasikan operasi bendung pada ketersediaan air dalam memenuhi kebutuhan air irigasi.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Apakah HEC-ResSim mampu mensimulasikan operasi bendung dengan akurat?
2. Apakah ketersediaan air mampu memenuhi kebutuhan air selama periode pertanaman?
3. Apakah pengelolaan operasi Bendung Kampili pada periode 2018 telah efektif?

1.3. Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keakuratan HEC-ResSim dalam mensimulasikan operasi bendung pada ketersediaan air dalam memenuhi kebutuhan air irigasi.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi tentang operasi bendung yang di terapkan di bendung dalam memenuhi kebutuhan irigasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bendung

Bendung adalah suatu bangunan pembatas air yang dibangun melintang sungai untuk meninggikan muka air atau untuk mendapatkan tinggi terjun, sehingga air dapat ditampung dan dialirkan ke tempat yang membutuhkannya (Mangore, 2013).

Bendung berfungsi antara lain untuk meninggikan muka air untuk memperoleh air sungai yang dapat ditampung sesuai dengan kebutuhan dan untuk mengendalikan aliran dan angkutan sedimen sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara optimal, efektif dan efisien (Mangore, 2013).

2.2. Waduk

2.2.1. Pengertian Waduk

Waduk menurut Krisanti (2006) adalah tempat untuk menampung air yang umumnya dibentuk dari sungai dengan tujuan tertentu. Waduk sebenarnya juga sebuah danau yang merupakan suatu volume massa air yang mempunyai komposisi khusus yang berisi berbagai bentuk kehidupan.

Waduk merupakan tempat pada suatu lahan untuk menampung air hujan secukupnya pada musim basah, sehingga air itu dapat dimanfaatkan pada musim kering. Air yang disimpan dalam waduk berasal dari aliran permukaan dan ditambah dengan yang berasal dari air hujan langsung (Notohadiprawiro, 2006).

Waduk kampili adalah anakan dari waduk bili-bili dan terletak di bawah Waduk Bissua. Hal ini membuat waduk kampili termasuk dalam kategori waduk *cascade*. Waduk *cascade* merupakan kumpulan dari berbagai waduk yang dibangun dalam satu DAS dan beroperasi dalam satu sistem yang saling terintegrasi. Pembangunan waduk kaskade merupakan salah satu langkah yang efektif dalam menanggulangi terjadinya bencana banjir (Garno, 2001).

2.2.2. Karakteristik Waduk

Menurut widyawati dan Elok (2018), ciri fisik suatu waduk adalah sebagai berikut:

1. Tampungannya efektif (*usefnul storage*) adalah volume tampungan diantara muka air minimum dan muka air normal.

2. Tampungannya banjir (*Surcharge storage*), adalah volume air diatas muka air normal selama banjir. Untuk beberapa saat debit meluap melalui pelimpah umumnya tidak terkendali dan tidak dapat dipertahankan untuk penggunaan selanjutnya.
 3. Tampungannya mati (*dead storage*) adalah volume air yang terletak di bawah muka air minimum dan air ini tidak dimanfaatkan dalam pengoperasian waduk.
 4. Muka air maximum (*Hight Water Level/HWL*) adalah elevasi maksimum yang dicapai oleh permukaan air waduk.
 5. Muka air minimum (*Low Water Level/ LWL*) adalah elevasi air terendah bila tampungan dilepaskan pada kondisi normal, permukaan ini dapat ditentukan oleh elevasi dari bangunan pelepas yang terendah.
 6. Muka air pada banjir rencana adalah elevasi air selama banjir maksimum direncanakan terjadi (*Flood Water level/ FWL*).
 7. Pelepasan (*release*) adalah volume air yang dilepaskan secara terkendali dari suatu waduk selama kurun waktu tertentu.
 8. Limpasan (*spillout*), dianggap aliran tidak terkendali dari waduk dan hanya terjadi kalau air yang ditampung dalam waduk melebihi tinggi muka air maksimum.
 9. Periode kritis (*critical perode*) adalah perode dimana sebuah waduk berubah dari kondisi penuh ke kondisi kosong tanpa melimpah selama periode tersebut.
- Pola operasi waduk harus disusun untuk pegangan operasi waduk di lapangan. Pola ini dihasilkan dari air keluaran yang optimum dan harus di perbaharui terus menerus sesuai dengan kondisi yang ada. Kaji ulang pola operasi waduk dilakukan, karena pengaruh perubahan data hidrologi dan meteorologi serta perubahan peruntukan pada waduk (Iqbal, 2015).

Dampak dari perubahan iklim dan rusaknya DAS di hulunya akan mengakibatkan perubahan air masukan ke waduk. Demikian juga dengan pergeseran musim dan kekeringan yang semakin panjang sangat mempengaruhi pola tanam padi yang membutuhkan perubahan pola operasi waduk untukantisipasi pada keadaan tersebut (Iqbal, 2015).

2.2.3. Pola Operasi Waduk

Pola operasi waduk ini juga dibutuhkan untuk menjamin air keluar dari waduk pada saat banjir tidak menyebabkan atau memperparah banjir dihilirnya. Sebaliknya, pada musim kemarau dapat mengurangi dampak kekeringan dengan pengaturan penyimpanan air pada akhir musim penghujan (Iqbal, 2015).

Operasi waduk ini dilakukan langkah demi langkah, langkah waktu sebelumnya menjadi dasar langkah waktu selanjutnya yang didasarkan pada neraca air (*water balance*). Hal ini berarti setiap langkah waktu tidak dapat berdiri sendiri dan setiap simulasi dimulai pada kondisi tinggi muka air atau berdasarkan pada besar tampungan tertentu (Iqbal, 2015).

Parameter yang digunakan dalam penerapan pedoman lepasan operasi waduk berdasarkan tampungan adalah sebagai berikut (Iqbal, 2015) :

1. Tampungan Waduk (%), besarnya tampungan waduk diukur dengan presentase tampungan terhadap kapasitas tampungan aktif
2. Lepasannya Kebutuhan (%), besarnya pemenuhan diukur dengan melihat kondisi/status tampungan waduk. Artinya apabila kondisi tampungan waduk menurun maka prosentase lepasan sesuai kebutuhan juga menurun.
3. Frekuensi pelayanan waduk, besarnya frekuensi layanan yang diberikan oleh bendung dalam memenuhi kebutuhan irigasi diukur dengan nilai presentase dari jumlah hari aliran terpeuhi dibagi dengan total pelayanan bendung kemudian dikalikan 100%.

2.2.4. Simulasi Waduk

Simulasi waduk merupakan suatu proses peniruan dari sesuatu kondisi lapangan dengan penggambaran sifat-sifat karakteristik mengenai kapasitas waduk tersebut guna memenuhi kebutuhan air pada saluran irigasi. Persamaan umum simulasi operasi waduk adalah neraca keseimbangan air (*water balance*) waduk dimana dilihat dari kebutuhan dan ketersediaan air (Widyawati dan Elok, 2018).

Komponen penting dalam simulasi waduk dengan melihat dari neraca airnya yaitu curah hujan dan aliran permukaan sebagai *inflow* dan kebutuhan air sebagai *outflow*. Apabila kapasitas penyimpanan waduk tetap, waduk bisa menjadi kering atau menjadi penuh dan sampai pada limpasan air (Widyawati dan Elok, 2018).

Dalam proses simulasi ditetapkan sebagai masukan ke dalam sistem yaitu curah hujan dan aliran permukaan, sebagai keluaran adalah kebutuhan air irigasi dengan evapotranspirasi dan rembesan (Widyawati dan Elok, 2018).

Langkah waktu yang digunakan tergantung dari keperluan simulasi. Langkah waktu periode pendek, yaitu harian biasanya digunakan untuk simulasi banjir. Untuk simulasi dengan langkah waktu mingguan, sepuluh harian, tengah bulanan dan bulanan. Langkah waktu musiman dan tahunan biasanya digunakan untuk melihat gambaran secara umum kemampuan waduk (widyawati dan Elok, 2018).

Persamaan umum simulasi operasi waduk adalah Neraca Keseimbangan Air (*water balance*). Dalam situasi atau analisa perilaku operasi waduk bertujuan untuk mengetahui perubahan kapasitas tampungan waduk. Persamaan yang digunakan adalah kontinuitas tampungan (*mass storage equation*) yang memberi hubungan antara masukan, keluaran, dan perubahan tampungan (Widyawati dan Elok, 2018).

Menurut Samosir (2015) simulasi aturan waduk ada empat macam aturan operasi waduk yaitu :

1. Simulasi aturan operasi sederhana adalah operasi dengan melepaskan air waduk untuk memenuhi kebutuhan sepanjang masih ada persediaan air di waduk.
2. Simulasi lepasan berdasarkan tampungan, pada aturan operasi waduk dimana lepasan berdasarkan status tampungan waduk, maka dilakukan pembatasan terhadap lepasan apabila tampungan waduk menurun besarnya.
3. Simulasi lepasan *rule curve* tunggal adalah skedul tampungan waduk yang paling ideal untuk diikuti. *Rule Curve* adalah merupakan hasil daripada studi optimasi atau studi simulasi
4. Simulasi lepasan *rule curve* ganda adalah *rule curve* yang terdiri dari kurva atas sebagai batas maksimum tampungan waduk, dan kurva bawah sebagai batas minimum tampungan. Jadi operasi waduk adalah bergerak diantara kedua batas tersebut.

Simulasi waduk untuk analisis menghasilkan penelusuran aliran masuk mengikuti standar pola operasi waduk, dapat diringkas sebagai berikut :

1. Kebutuhan rencana tidak terpenuhi jika penyimpanan air pada akhir jangka waktu kurang dari tampungan mati

2. Jika pada akhir langkah waktu waduk penuh, *Outflow* aktual sama dengan nilai *outflow* rencana ditambah jumlah yang limpas. Dalam analisis waduk, *time series*, *inflow*, curah hujan dan penguapan diketahui nilainya. Hal ini memungkinkan adanya parameter yang tidak diketahui, seperti variasi penyimpanan dari waktu ke waktu dan *outflow* aktual dari waduk. Dari hasil analisis *outflow* target dapat diperkirakan sebagai fungsi dari waktu.

Terdapat beberapa modul yang dapat digunakan dalam simulasi waduk diantaranya:

1. Algoritma genetik adalah salah satu metode dari kelompok simulasi untuk optimasi. Prosedur jenis ini cenderung untuk efektif terutama dalam mengeksplorasi berbagai bagian-bagian daripada wilayah yang layak (*feasible*) dan secara gradual bergerak menuju solusi-solusi layak yang terbaik (Iqbal, 2015). Salah satu metode yang cukup menjanjikan dengan mengadopsi sistem alami dalam mengoptimasi yaitu dengan menerapkan *Genetic algorithms* (GA). Kelebihan dari teknik ini adalah kemampuan fleksibilitas dan efektivitasnya dalam mengoptimasi sistem yang bersifat kompleks. Metode *Genetic Algorithms* (GA) menggunakan informasi fungsi tujuan secara langsung dan tidak membutuhkan fungsi turunan atau fungsi tambahan lainnya (Samosir, 2015).
2. Model stokastik ada tiga jenis model stokastik yang masing-masing memasukkan variabilitas hidrologi dan ketidakpastian. Adapun yang termasuk dalam model tersebut yaitu model yang mendefinisikan sejumlah kemungkinan diskrit dari debit aliran sungai dan volume tampungan, masing-masing dengan probabilitasnya, model yang mengidentifikasi produksi air tetap tahunan, distribusinya dalam setahun dan keandalannya, model *chance-constrained* yang mempunyai aturan-aturan yang menyatakan volume tampungan waduk yang tidak diketahui dan distribusi probabilitas lepasan sebagai fungsi linier daripada debit aliran sungai yang *unregulated* (Samosir, 2015).

2.3. Curah Hujan

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses hidrologi, karena jumlah kedalaman hujan (*rainfall dept*) ini yang dialihragamkan menjadi

aliran, baik melalui limpasan permukaan maupun sebagai aliran tanah (*groundwater flow*) (Agustianto, 2014).

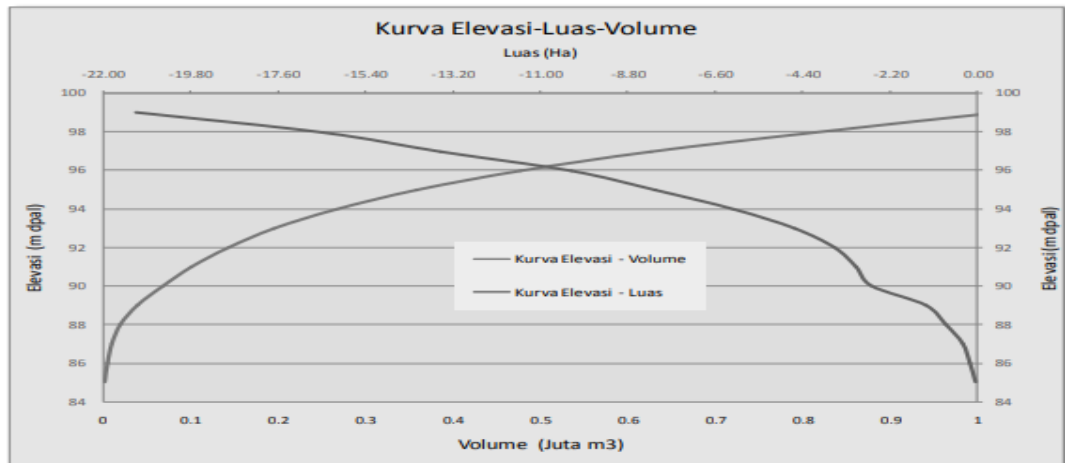
Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat, maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan belum tentu dapat menggambarkan hujan di wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan atau hujan wilayah yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan/atau di sekitar kawasan tersebut. Terdapat tiga macam cara yang umum digunakan dalam menghitung hujan rata-rata kawasan yaitu rata-rata aritmetik, metode *polygon thiessen*, metode *isohyet* (Indarto, 2012).

2.4. Ketersediaan Air

Analisis ketersediaan air menghasilkan perkiraan ketersediaan air di suatu wilayah sungai, secara spasial dan waktu. Air yang tersedia pada suatu lokasi tidak pernah tetap jumlahnya melainkan selalu berubah ubah dari waktu ke waktu. Pada musim hujan terjadi debit banjir yang besar, dan pada musim kemarau air mengalir dengan debit aliran rendah yang kecil. Agar dapat menyatakan ketersediaan air secara sempurna maka data debit aliran haruslah bersifat runtut waktu (*time series*). Data runtut waktu menjadi masukan utama dalam model simulasi wilayah sungai, dan menggambarkan secara lengkap variabilitas data debit aliran (BPSDM, 2017).

Untuk menyatakan ketersediaan air hanya dengan menggunakan sebuah angka, maka angka tersebut adalah rata-rata dari data debit yang ada. Cara ini tidak memberi informasi mengenai variabilitas data. Menyajikan data sebagai 12 angka yang menyatakan rata-rata bulanan lebih memberikan informasi mengenai variabilitas data dalam setahun, akan tetapi belum memberi informasi mengenai berapa debit yang dapat diandalkan. Angka yang menunjukkan variabilitas ketersediaan air sekaligus menunjukkan seberapa besar debit yang dapat diandalkan adalah debit andalan (BPSDM, 2017).

Dari karakteristik fisik waduk tersebut didapatkan hubungan antara elevasi dan volume tampungan yang disebut juga lengkung kapasitas waduk. Lengkung kapasitas tampungan waduk merupakan data yang menggambarkan volume tampungan air di dalam waduk pada setiap ketinggian muka air (BPSDM, 2017).



Gambar 2-1. Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk merupakan grafik yang menghubungkan luas daerah genangan dengan volume tampungan terhadap elevasinya. Berhubung fungsi utama waduk adalah untuk menyediakan tampungan, maka ciri fisik utama yang terpenting adalah kapasitas tampungan. Lengkung kapasitas dapat dibentuk dengan cara mengukur luas yang diapit oleh tiap garis kontur di dalam kedudukan waduk dengan planimeter. Komulatif dari lengkung luas dan elevasi tersebut merupakan lengkung kapasitas waduk. Pertambahan tampungan antara dua elevasi dihitung dengan mengalikan luas rata-rata pada elevasi tersebut dengan perbedaan kedua elevasinya. Akumulasi seluruh pertambahan di bawah suatu elevasi tertentu merupakan volume tampungan waduk pada elevasi tersebut (Putra, 2011).

2.5. Kebutuhan Air

2.5.1. Kebutuhan Air Baku

Kebutuhan air meliputi kebutuhan air untuk domestik dan non domestik, industri, pemeliharaan sungai, perikanan, peternakan dan irigasi. Kebutuhan domestik didefinisikan sebagai kebutuhan rumah tangga sedangkan kebutuhan non domestik meliputi kebutuhan air untuk niaga, pemerintahan, pariwisata, industri kecil dan sebagainya. Kebutuhan ini dihitung untuk kondisi saat ini dan tahun prediksi dengan kelipatan lima tahun (Sulistiono dkk, 2014).

2.5.2. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air bagi tanaman didefinisikan sebagai tebal air yang dibutuhkan untuk memenuhi jumlah air yang hilang melalui evapotranspirasi suatu tanaman sehat, tumbuh pada areal yang luas, pada tanah yang menjamin cukup lengas tanah,

kesuburan tanah, dan lingkungan hidup tanaman cukup baik sehingga secara potensial tanaman akan memproduksi secara baik. Kebutuhan air tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor evaporasi, transpirasi yang kemudian dihitung sebagai evapotranspirasi. Pemberian air secara golongan adalah untuk efisiensi, memperkecil kapasitas saluran pembawa, dan seringkali untuk menyesuaikan pelayanan irigasi menurut variasi debit yang tersedia pada tempat penangkap air, misalnya bendung pada sungai (Purwanto, 2006).

Filosofi operasi air adalah upaya pelepasan air untuk memenuhi kebutuhan air di hilir waduk. Salah satu kebutuhan air di hilir waduk adalah kebutuhan air irigasi. Tingkat kebutuhan ini dipengaruhi oleh pola tanam dan jadwal tanam pada daerah irigasi yang ditinjau. Dari berbagai jadwal tanam yang ada harus dipilih yang paling optimal dengan tingkat kebutuhan yang relatif rendah dan dapat dilaksanakan di lapangan. Pengelolaan air irigasi untuk memenuhi kebutuhan daerah irigasi harus memenuhi kriteria antara lain tepat waktu, kualitas dan kuantitas atau dengan kata lain yang lebih luas bahwa air irigasi harus memenuhi kriteria dapat diandalkan, fleksibel dan dapat diprediksikan (Sulistiono dkk, 2014).

Kebutuhan air irigasi merupakan kebutuhan besarnya jumlah air yang digunakan dalam pertanian baik dari pengelolaan lahan, kehilangan air hingga kebutuhan konsumtif tanaman. Menurut Widyawati dan Elok (2018) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan air irigasi yaitu :

a. Jenis Tanaman dan Variasi Tanaman

Pada umumnya jenis tanaman yang ditanam di daerah irigasi adalah palawija dan padi. Sedangkan variasi tanam biasanya digolongkan menjadi tiga musim tanam yang dilakukan dalam setahun. Pada suatu pola tanam disusun berdasarkan jenis serta variasi tanaman dan debit air yang tersedia.

b. Areal Tanam

Areal tanam merupakan luas lahan yang dijadikan sebagai lahan pertanian pada daerah aliran irigasi. Luas areal tanam dapat mempengaruhi tingkat kebutuhan air irigasi.

c. Perkolasi

Perkolasi adalah genangan air yang mengalir ke bagian bawah pada suatu lapisan tanah hingga mencapai permukaan air tanah. Sifat-sifat tanah yang berada

padaluasan tanam sangat tergantung pada laju perkolasi. Pada pengelolaan tanah lempung dengan karakteristik yang baik dapat mencapai 1-3 mm/hari. Sedangkan pada tanah yang lebih bertekstur lebih ringan dibanding tanah lempung, laju perkolasinya akan lebih tinggi. Untuk menentukan laju perkolasi yang baik, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan.

d. Penggantian Lapisan Air

Water layer replacement (WRL) atau biasa disebut penggantian lapisan air adalah proses pengantian air irigasi baru dengan air genagan di sawah yang sebelumnya. Hal ini dilakukan sebagai salah satu upaya megurangi efek reduksi pada tanah dan memaksimalkan pertumbuhan tanaman. Hal ini dapat dilakukan sesuai standar perncanaan irigasi 1986, KP-01. Besar kebutuhan air untuk pengantian lapisan air adalah 50 mm/bulan atau 3,3 mm/hari selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi.

e. Curah hujan efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman serta untuk memenuhi kebutuhan air akibat evapotranspirasi tanaman, perkolasi dan lain-lain. Volume air hujan yang dibutuhkan oleh suatu tanaman berbeda berdasarkan jenis tanamannya. Tidak semua hujan air yang turun dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Oleh karena itu perlu dihitung curah hujan efektif.

Curah hujan efektif ditentukan berdasarkan besarnya R_{80} yang merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80%. Dengan kata lain bahwa besarnya curah hujan yang lebih kecil dari R_{80} mempunyai kemungkinan hanya 20%.

Menurut Anryana (2019), untuk menghitung besarnya curah hujan efektif tanaman padi berdasarkan R_{80} dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Re = 70\% \times \frac{1}{n} R_{15} \quad (1)$$

Keterangan:

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

R_{15} = curah hujan dengan 15 harian (mm/hari)

n = jumlah data

f. Penyiapan Lahan

Perhitungan kebutuhan air selma penyiapan lahan harus memperhatikan pola tanam, usia tanman sampai panen, lama penyinaran, jenis tanaman,efisiensi irigasi dan lain-lain.

$$IR = M \left[\frac{e^k}{e^{k-1}} \right] \quad (2)$$

Keterangan:

IR = Kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/hari)

e^k = Koefisien waktu penyiapan lahan dibagi kebutuhan air penjenuhan

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan

g. Evapotranspirasi

Pada penelitian ini rumus untuk menghitung evapotranspirasi digunakan rumus standar FAO. Persamaan standar FAO digunakan untuk menghitung laju evapotranspirasi potensial berdasarkan rumus perhitungan evapotranspirasi potensial (Eto) dengan menggunakan metode Penman Modifikasi yang diambil dari data sekunder yang digunakan pada operasi bendung.

h. Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air untuk tanaman adalah suatu kebutuhan konsumtif untuk tanaman dengan tebal air yang dibutuhkan untuk memnuhi jumlah air pada areal tanam yang hilang akibat evapotranspirasi suatu tanaman, tanah untuk menjamin cukup lengas tanah, kesuburan tanah, dan lingkungan hidup tanaman cukup baik sehingga tanaman dapat berproduksi dengan baik. Kebutuhan air suatu tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor evaporasi, transpirasi yang kemudian dihitung sebagai evapotranspirasi (Purwanto, 2006).

Kebutuhan air konsumtif adalah kebutuhan air untuk tanaman yang juga dipengaruhi oleh koefisien tanaman. Kebutuhan air konsumtif dirumuskan sebagai berikut:

$$Etc = Eto \times kc \quad (3)$$

Keterangan:

Etc = kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

Eto = evapotranspirasi (mm/hari)

kc = koefisien tanaman.

i. Kebutuhan Air Irigasi

Salah satu kebutuhan air di hilir waduk adalah kebutuhan air irigasi. Tingkat kebutuhan air irigasi ini dipengaruhi oleh jadwal tanam dan pola tanam pada daerah irigasi yang ditinjau. Dalam beberapa jadwal tanam yang ada, perlu dipilih yang paling optimal dengan tingkat kebutuhan yang relatif rendah dan dapat dilaksanakan di lapangan. Kriteria yang harus dipenuhi dalam pengelolaan air irigasi antara lain tepat waktu, kuantitas dan kualitas atau dengan kata lain bahwa air irigasi harus memenuhi kriteria dapat diandalkan, fleksibel dan bisa diprediksikan.

Menurut Kafiansyah dkk (2017), Persamaan yang digunakan untuk mengetahui kebutuhan air sawah (NFR) sesuai KP – 02 (2013:123), dapat diperkirakan dengan rumus:

$$NFR = Etc + P + WRL - Re \quad (4)$$

Keterangan:

NFR = kebutuhan air sawah (mm/hari)

Etc = kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

P = kehilangan air karena perkolasi (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)

j. Efisiensi irigasi (EI)

Efisiensi irigasi merupakan faktor penentu yang paling utama pada sebuah sistem jaringan irigasi. Pemberian air pada pintu pengambilan perlu memperhitungkan efisiensi irigasi dengan kemungkinan adanya air yang hilang di saluran irigasi dengan berbagai faktor sehingga air yang di alirkan ke petak sawah tidak mencukupi. Dengan demikian pemberian air pada pintu pengambilan dapat lebih besar dari kebutuhan air di sawah.

k. Kebutuhan air irigasi di waduk

Menurut Yosanto dan Rini (2013), kebutuhan air irigasi pada pintu pengambilan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$DR = \frac{NFR}{8,64 \times EI} \quad (5)$$

Keterangan:

DR = kebutuhan air di pintu pengambilan (l/dt/ha)

NFR = kebutuhan air disawah (mm/hari)

EI = efisiensi irigasi (%)

2.6. Aplikasi HEC-ResSim

HEC-ResSim adalah salah satu model simulasi waduk yang telah dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* dari *US Army Corps of Engineers* untuk membantu insinyur dan perencana dalam memprediksi perilaku sistem waduk dalam studi manajemen air, dan untuk membantu operator reservoir merencanakan pelepasan secara *real time* harian dan operasi darurat (Evans dan Joan, 2013).

HEC-ResSim mempunyai kelebihan unik di antara model simulasi waduk karena HEC-ResSim mereproduksi proses pengambilan keputusan yang harus digunakan oleh operator waduk manusia untuk mengatur rilis. Program ini merepresentasikan perilaku fisik sistem waduk dengan kombinasi perhitungan hidraulik untuk aliran melalui struktur kontrol, dan perutean hidrologi untuk mewakili jeda dan pelemahan aliran melalui segmen aliran. Program dapat HEC-ResSim mewakili tujuan operasi dan kendala dengan sistem asli logika berbasis aturan yang telah dikembangkan secara khusus untuk mewakili proses pengambilan keputusan operasi reservoir (Evans dan Joan, 2013)

Dalam sistem waduk sebagai jaringan yang terdiri dari empat jenis elemen persimpangan, jangkauan rute, pengalihan, dan waduk. Setiap elemen didefinisikan dengan informasi yang cukup untuk menjadi realistis secara fisik tanpa detail berlebihan yang menghambat waktu komputasi (Evans dan Joan, 2013).

Dengan menggabungkan waduk, jangkauan, persimpangan, dan pengalihan, pengguna HEC-ResSim mampu membangun jaringan yang mampu mewakili apa pun dari waduk tunggal pada aliran tunggal ke sistem yang sangat maju dan saling terhubung. antarmuka pengguna program memungkinkan pengguna untuk menggambar jaringan baik sebagai tongkat, atau sebagai peta yang digambar di atas grafik yang direferensikan secara geografis (Evans dan Joan, 2013).

Jenis elemen paling sederhana adalah persimpangan. Persimpangan mewakili pertemuan aliran atau titik di mana aliran eksternal memasuki sistem.

Aliran keluar dari persimpangan hanyalah jumlah dari aliran ke persimpangan. Arus di persimpangan dapat dikonversi ke tahapan melalui penggunaan kurva penilaian. Jangkauan rute mewakili aliran alami dalam sistem, dan kelambatan serta pelemahan aliran dalam jangkauan dihitung dengan salah satu dari berbagai metode rute hidrologi standar yang tersedia. Kehilangan melalui rembesan dapat ditentukan untuk setiap jangkauan rute (Evans dan Joan, 2013).

Pengalihan adalah elemen yang lebih kompleks yang mewakili pengambilan air dari aliran alami. Kuantitas penarikan dapat ditentukan sebagai jumlah konstan atau sebagai fungsi dari beberapa parameter seperti waktu atau aliran. Air yang dialihkan dapat dialihkan dan dikembalikan dengan pengalihan atau seluruhnya dapat dikeluarkan dari sistem (Evans dan Joan, 2013).

Waduk adalah elemen paling kompleks dari jaringan waduk dan terdiri dari kolam dan bendungan. HEC-ResSim mengasumsikan bahwa kolam adalah level (tidak memiliki perilaku *routing*) dan perilaku hidrauliknya sepenuhnya ditentukan oleh tabel area penyimpanan-ketinggian. Kompleksitas nyata dari jaringan reservoir HEC-ResSim dimulai dengan bendungan (Evans dan Joan, 2013).

2.7. Uji Data Berpasangan

Uji-t berpasangan (*paired t-test*) adalah salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan tidak bebas (berpasangan). Ciri-ciri yang paling sering ditemui pada kasus yang berpasangan adalah satu individu (objek penelitian) mendapat 2 buah perlakuan yang berbeda. Walaupun menggunakan individu yang sama, peneliti tetap memperoleh 2 macam data sampel, yaitu data dari perlakuan pertama dan data dari perlakuan kedua (Montolalu, 2018)

Hipotesis dari kasus ini dapat ditulis:

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Menurut Montolalu (2018) rumus yang di gunakan dalam uji-t berpasangan yaitu sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left\{ \sum D^2 - \frac{(\sum D)^2}{n} \right\}} \quad (6)$$

dan

$$t = \frac{\frac{\sum D}{n}}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (7)$$

Keterangan:

t = nilai t hitung

D = selisih pengukuran 1 dan 2

S = standar deviasi selisih pengukuran 1 dan 2

n = jumlah sampel.

Interpretasi:

1. Untuk menginterpretasikan uji t-test terlebih dahulu harus ditentukan:
 - Nilai signifikansi α
 - Df (degree of freedom) = $N - k$, khusus untuk paired sample t-test df = $N - 1$
2. Bandingkan nilai T_{hitung} dengan $T_{tabel} = \alpha; n-1$
3. Apabila:
 - $T_{hitung} > T_{tabel} \rightarrow$ berbeda secara signifikan (H_0 ditolak)
 - $T_{hitung} < T_{tabel} \rightarrow$ tidak berbeda secara signifikan (H_0 diterima)

H_a berarti bahwa selisih sebenarnya dari kedua rata-rata tidak sama dengan nol.