

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. TINJAUAN PUSTAKA

1. Penelitian Terdahulu

Didalam sebuah penelitian dibutuhkan referensi dari hasil-hasil penelitian terdahulu dan relevan dengan penelitian saat ini. Setelah peneliti melakukan study literature terhadap beberapa hasil penelitian, terdapat diantaranya yang serupa dengan penelitian study optimasi pola pengoperasian waduk ini. Penelitian-penelitian tersebut diantaranya sebagai berikut.

I Putu Aldy Pradana Elsaputra (2018), melakukan penelitian dengan judul “Study Alternatif Perencanaan Pola Operasi dan Alokasi Air Waduk Titab”. Penelitian tersebut berkesimpulan Waduk Titab terletak di DAS Sungai Saba, Kecamatan Busungbiu, Kabupaten Buleleng. Waduk Titab dirancang sebagai penyedia air untuk irigasi, air baku dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Waduk ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat buleleng dan sekitarnya sebagai waduk serbaguna sehingga perlu adanya perencanaan operasional waduk yang baik. Waduk yang rampung pada tahun 2015 ini direncanakan akan beroperasi pada tahun 2016. Namun karena terdapat masalah struktur pada bendungan, pengoperasian diundur sampai tahun 2017. Pada awalnya dari pihak pembangun waduk ini sudah menyusun perencanaan pengoperasian waduk, akan tetapi penyusunan tersebut dilakukan ketika waduk belum selesai dibangun. Maka dari itu direncanakan alternatif pola operasi setelah waduk selesai dibangun sebagai pembandingan pola operasi yang telah ada (eksisting). Dari hasil analisa yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan yaitu debit inflow waduk diperoleh dari perhitungan debit aliran rendah dengan metode FJ Mock, kemudian dibangkitkan untuk 30 tahun kedepan dengan metode Thomas Fiering. Hasil dari bangkitan debit inflow, debit maksimal sebesar $23,23\text{m}^3/\text{detik}$.

Dan debit terendah sebesar $1,28\text{m}^3/\text{detik}$. Untuk debit outflow maksimal sebesar $6,24\text{m}^3/\text{detik}$, dan debit terendah sebesar $3,55\text{m}^3/\text{detik}$. Besar kebutuhan air irigasi maksimum untuk awal masa tanam November 1 dengan luas daerah irigasi $3589,64\text{Ha}$, D.I. Saba adalah $3,66\text{m}^3/\text{detik}$, dan untuk daerah irigasi puluran kebutuhan maksimum sebesar $1,02\text{m}^3/\text{detik}$. Besar kebutuhan air baku untuk tahun 2017-2046 pada keadaan normal adalah sebesar $583,50\text{lt}/\text{dt}$. Sedangkan besar kebutuhan air baku pada hari maksimum adalah sebesar $671,02\text{lt}/\text{dt}$. Untuk jam puncak adalah sebesar $1021,12\text{lt}/\text{dt}$. Besar debit andalan 80% yang digunakan adalah sebesar $1,55\text{m}^3/\text{detik}$. Untuk perhitungan potensi PLTA dan dapat membangkitkan daya sebesar $0,74\text{ MW}$, serta energi listrik hingga mencapai $6510,61\text{ MWh}$. Dan dari hasil perbandingan yang telah dibuat, dapat diketahui bahwa alternatif yang lebih baik adalah perhitungan perencanaan simulasi pola operasi hasil study. Alasan dari penelitian ini adalah perencanaan hasil study dilakukan setelah waduk sudah selesai dibangun, sudah dilakukan optimasi kebutuhan air yang diperlukan, dan tingkat keberhasilan waduk dari perencanaan study yaitu rata-rata sebesar $98,50\%$ yang mana tingkat keberhasilan tersebut lebih besar dari perencanaan eksisting.

Muhammad Sagina (2020) melakukan penelitian dengan judul “Study Optimalisasi Pola Pengoperasian Waduk Malahayu di Kabupaten Brebes Untuk Kebutuhan Irigasi”. Dari analisis simulasi pola pengoperasian Waduk Malahayu dengan optimasi beberapa opsi penambahan luas area tanam padi, tebu, dan palawija sebesar 50% selama tahun 2020-2029 (tahun ke 1 sampai 10) air waduk masih bisa digunakan untuk penambahan luas area tanam dengan rasio tingkat pelayanan atau pemenuhan kebutuhan air 15 harian untuk 10 tahun yang akan datang keandalan waduk mencapai sebesar $92,92\%$ sehingga, analisis simulasi pola pengoperasian waduk untuk 10 tahun yang akan datang masih dapat diandalkan fungsinya hingga tahun 2029. Perhitungan kebutuhan air irigasi berdasarkan pola tanam eksisting

didapatkan besar kebutuhan air irigasi maksimum untuk pola tanam eksisting (padi, tebu, dan palawija) sebesar 21811,761 liter/detik, sedangkan kebutuhan air irigasi minimum untuk pola tanam eksisting (padi, tebu, dan palawija) sebesar 0 liter/detik. Perhitungan bangkitan debit tersedia FJ Mock (inflow) selama tahun 2020-2029 (tahun ke 1 sampai 10), didapatkan nilai debit tersedia terbesar 11,206m³/detik dan debit tersedia terkecil adalah 0,000m³/detik.

Nando Prapanca Wonarto, dkk (2016), melakukan penelitian dengan judul “Study Optimasi Waduk Dengan Metode Algoritma Genetik pada Waduk Cileuweung Kabupaten Kuningan Jawa Barat”. Dari penelitian yang dilakukan simulasi operasi waduk didapat outflow rata-rata 1,92 juta m³ dan total outflow 461,65 juta m³, minimum pemenuhan sebesar 0%. Kondisi tampungan waduk minimum adalah 0 juta m³, artinya terdapat kegagalan waduk. Proses optimasi dengan algoritma genetik ini berpusat pada aturan lepasan berdasarkan Tampungan Waduk sebagai kromosom dan peningkatan kebutuhan minimum sebagai fungsi kinerja. Setelah optimasi didapatkan peningkatan nilai rata-rata pemenuhan kebutuhan air yaitu 63,83% dan minimum pemenuhan sebesar 44,57%. Kondisi tampungan waduk minimum adalah 2,55 juta m³, dengan rata-rata tampungan 17,01 juta m³. Jadi waduk lebih optimal dan tanpa kegagalan. Dari proses optimasi yang telah dilakukan diharapkan dapat memberikan Gambaran mengenai pedoman lepasan yang optimal pada pengoperasian Waduk Cileuweung untuk pemenuhan kebutuhan irigasi dan air baku.

2. Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini mengambil topik tentang simulasi pengoperasian Waduk Wadaslintang yang mana penelitian-penelitian serupa juga pernah dilakukan. Namun demikian penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya, adapun perbedaan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Perbedaan
1	I Putu Aldy Pradana Elsaputra (2018), melakukan penelitian tentang “Studi Alternatif Perencanaan Pola Operasi dan Alokasi Air Waduk Titab”.	Perbedaan penelitian terletak pada lokasi penelitian. Pada penelitian terdahulu menghitung produksi pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan menggunakan debit andalan 80%. Sedangkan penelitian sekarang menghitung debit dan volume air waduk untuk kebutuhan Irigasi.
2	Nando Prapanca Wonarto, dkk (2016), melakukan penelitian tentang “Studi Optimasi Operasi Waduk Dengan Metode Algoritma Genetik Pada Waduk Cileuweung Kabupaten Kuningan Jawa Barat”.	Perbedaan penelitian terletak pada lokasi penelitian dan metode yang digunakan pada penelitian terdahulu yaitu metode Algoritma Genetik. Sedangkan penelitian saat ini menggunakan beberapa metode guna untuk menghitung data yang dibutuhkan.
3	Muhammad Sagina (2020), melakukan penelitian tentang “Studi Optimalisasi Pola Pengoprasian Malahayu Kabupaten Brebes untuk kebutuhan Irigasi”.	penelitian terdahulu berlokasi di Waduk Mahalayu Kabupaten Brebes sedangkan penelitian sekarang berlokasi di Waduk Wadaslintang Kabupaten Wonosobo.

B. Landasan Teori

Waduk merupakan salah satu sarana pemanfaatan sumber daya air yang mempunyai fungsi sebagai penyimpanan dan penyedia air, baik sebagai bahan baku air bersih maupun irigasi. Suatu waduk penampung atau konservasi air dapat menahan air pada kelebihan air pada masa-masa aliran

air tinggi untuk digunakan selama masa kekeringan. Berapapun ukuran suatu waduk atau apapun tujuan akhir dari pemanfaatannya, fungsi utama dari suatu waduk ialah untuk menstabilkan aliran air, baik dengan arah pengaturan persediaan air yang berubah-ubah pada suatu sungai alamiah, maupun dengan cara memenuhi kebutuhan yang berubah-ubah dari para konsumen. Dengan kata lain waduk tidaklah menghasilkan air melainkan hanya memungkinkan pengaturan kembali distribusinya terhadap waktu (Linsley, RK, Joseph B. Franzini, 1984).

Berdasarkan kegunaan-kegunaan tersebut maka potensi waduk dalam menampung air (kapasitas waduk, *storage capacity*) dapat dibedakan menjadi 3 bagian (*zone*), yaitu:

1. Kapasitas mati (*dead storage zone*) dipergunakan untuk pengumpulan sedimen.
2. Kapasitas efektif (*effective/ usefull storage*) merupakan kapasitas yang dipergunakan untuk konservasi sumber air (penyediaan air baku, irigasi, dll), sehingga setiap pemanfaatan waduk dalam konservasi waduk dapat memenuhi kapasitas efektif waduk.
3. Kapasitas penahan banjir (*flood control*) merupakan kapasitas waduk yang bertujuan untuk menahan kelebihan air guna mengurangi potensi kerusakan akibat banjir.

Berdasarkan fungsinya, waduk diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu:

1. Waduk Eka guna (*single purpose*)

Waduk ekaguna adalah waduk yang dioperasikan untuk memenuhi satu kebutuhan saja, misalnya untuk kebutuhan air irigasi, air baku atau PLTA. Pengoperasian awaduk ekaguna lebih mudah dibandingkan dengan waduk multiguna, pengoperasian yang dilakukan hanya mempertimbangkan pemenuhan satu kebutuhan.

2. Waduk Multi Guna (*multi purpose*)

Waduk multi guna adalah waduk yang berfungsi untuk memenuhi berbagai kebutuhan, misalnya waduk untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, air baku, dan PLTA. Kombinasi dari berbagai kebutuhan ini dimaksudkan untuk dapat mengoptimalkan fungsi waduk dan meningkatkan kelayakan pembangunan suatu waduk. Dalam buku Gupta (1979), menyebutkan bahwa waduk normalnya dibangun untuk 2 tujuan:

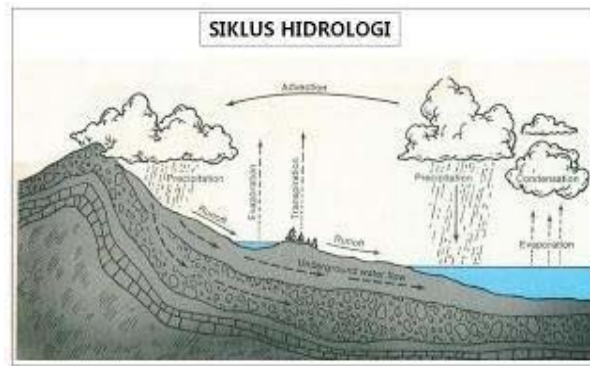
- a. *Flood Control* (Pengendali Banjir)
- b. Usaha konservasi air

Pemanfaatan waduk untuk tujuan *flood control* dilakukan dengan prinsip meredam debit banjir yang terjadi di sungai bagian hilir, sehingga bahaya banjir di daerah hilir dapat teratasi. Sementara itu, pemanfaatan waduk untuk tujuan konservasi air meliputi:

- a. Irigasi;
- b. *Water Supply* (suplay air baku untuk air baku maupun industri)
- c. *Power Generation* (PLTA);
- d. *Navigation*;
- e. Untuk kehidupan seperti rekreasi, sanitasi, dll.

C. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan suatu sistem yang tertutup, dalam arti bahwa pergerakan air pada sistem tersebut selalu tetap berada di dalam sistemnya. Siklus air ini tidak merata, karena perbedaan presipitasi dari tahun ke tahun, dari musim ke musim, dan dari wilayah ke wilayah lain. Kondisi meteorology dan kondisi topografi berpengaruh dalam siklus hidrologi. Gambar siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 2.1. Siklus Hidrologi

(Sumber: M. Sagina : 2020)

Air yang berada di permukaan bumi mengalami penguapan (evaporasi) ke udara dan berkondensasi menjadi awan, setelah melalui berbagai proses kemudian jatuh menjadi hujan (*presipitasi*) atau salju. Tidak semua air yang jatuh sampai ke permukaan bumi namun sebagian dari air yang jatuh menguap terlebih dahulu.

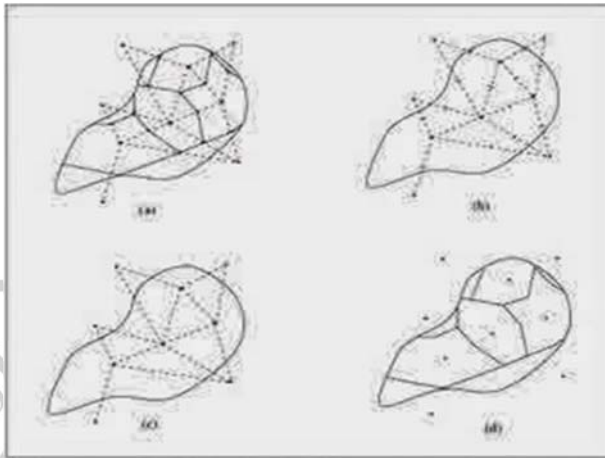
1. Curah Hujan Rata-Rata

Analisis hidrologi, diperlukan perhitungan hujan rata-rata. Karena pada perhitungan curah hujan rata-rata, hujan yang terjadi distribusinya dianggap merata pada suatu daerah sungai yang luas dimana terdapat intensitas yang berbeda-beda. Beberapa metode yang sering digunakan pada perhitungan curah hujan rata-rata yaitu metode aritmatik, metode *polygon thiessen* dan metode *isohyets*. Besarnya curah hujan yang dianalisis akan menggunakan metode *polygon thiessen*. Perhitungan dengan metode ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menghubungkan masing-masing stasiun tujuan dengan garis polygon.
2. Membuat garis berat antara 2 stasiun hingga bertemu dengan garis berat lainnya pada satu titik dalam polygon.
3. Luas area yang mewakili masing-masing stasiun hujan dibatasi oleh garis berat pada polygon.

- Luas sub-area masing-masing stasiun hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata-rata.

Untuk lebih jelasnya, penggunaan metode *polygon thiessen* digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Metode *Polygon Thiessen*

(Sumber: M. Sagina : 2020)

Metode ini baik digunakan untuk daerah yang stasiun hujannya tidak merata. Curah hujan rata-ratanya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.1)$$

dimana:

R = Curah hujan rata-rata (mm).

R₁, R₂, .. R_n = Jumlah hujan masing-masing stasiun yang diamati (mm).

A₁, A₂, .. A_n = Luas sub-area yang mewakili masing-masing stasiun hujan (km²).

2. Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang jatuh di suatu daerah pada periode tertentu dan secara efektif digunakan guna memenuhi kebutuhan tanaman untuk pertumbuhan. Curah hujan yang akan digunakan merupakan curah hujan rata-rata pada suatu daerah.

Curah hujan efektif adalah jumlah hujan yang jatuh selama periode pertumbuhan tanaman dan hujan itu berguna untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Jumlah curah hujan efektif pada areal tanaman tergantung pada intensitas hujan, topografi lahan, sistem pengolahan tanah serta tingkat pertumbuhan tanaman (Oldeman dan Syarifuddin, 1977).

Menurut Oldeman dan Syarifuddin (1977), curah hujan yang jatuh dan efisien untuk pertumbuhan tanaman tergantung pada curah hujan, topografi, sistem penanaman, dan fase pertumbuhan.

Setelah ditemukan nilai curah hujan rata-rata daerah selanjutnya mengurutkan data curah hujan efektif. Menghitung curah hujan efektif dengan peluang terpenuhi dari adanya sistem probabilitas yang dapat dilihat ada persamaan 2.2, sedangkan untuk mencari besarnya curah hujan efektif pada tanaman dapat dilihat dari persamaan 2.3 dan 2.4

$$P = \frac{(m)}{n+1} \times 100\% \quad (2.2)$$

Curah hujan efektif padi, digunakan rumus:

$$Re \text{ Padi} = 0,7 \times \frac{1}{15} \times R80\% \text{ (setengah bulanan)} \quad (2.3)$$

Curah hujan efektif palawija, digunakan rumus:

$$Re \text{ Padi} = 0,7 \times \frac{1}{15} \times R50\% \text{ (setengah bulanan)} \quad (2.4)$$

dimana:

- n = Nomor urut data dari data curah hujan yang telah diurutkan
 m = Jumlah tahun data
 $R80$ = Debit yang terjadi $<R80$ adalah 20%
 $R50$ = Debit yang terjadi $<R50$ adalah 50%

D. Analisis Klimatologi

1. Unsur-unsur Klimatologi

Klimatologi adalah ilmu yang mempelajari tentang proses-proses fisik yang terjadi di atmosfer pada suatu daerah dan berlangsung dalam kurun waktu tertentu. Unsur-unsur pada atmosfer terdapat berbagai ragam, tetapi unsur yang memiliki hubungan dengan perhitungan evapotranspirasi adalah sebagai berikut:

a. Temperatur Udara

Data temperatur udara digunakan pada perhitungan pada umumnya adalah temperature udara rata-rata harian atau bulanan yang didapat dari pencatatan alat ukur (*thermometer*) yang dipasang pada stasiun Meteorologi.

b. Kelembaban Udara

Pada perhitungannya, biasanya dipakai perhitungan kelembaban relative yang digunakan dapat diukur dengan alat *psychrometer*.

c. Penyinaran Matahari

Untuk perhitungan evapotranspirasi jumlah energi radiasi (penyinaran) yang sampai ke permukaan bumi perunit waktu dan luas perlu diketahui. Kualitas energi penyinaran ini disebut Net Radiasi (RN).

d. Kecepatan Angin

Kecepatan angin memiliki pengaruh yang sangat besar dalam dunia pertanian karena jika angin yang berkecepatan tinggi berhembus dapat mengakibatkan kerusakan. Selain itu berpengaruh pada kecepatan evaporasi.

2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah evaporasi dari permukaan lahan yang ditumbuhi tanaman. Berkaitan dengan tanaman evaporasi adalah sama dengan kebutuhan air konsumtif yang didefinisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan oleh tanaman. Dalam praktik hitungan evaporasi dan transpirasi dilakukan secara bersama-sama. (Triatmodjo, Bambang: 2008)

Untuk mendapatkan nilai diatas, dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya adalah metode Blaney-Criddle, persamaan empiris Thornthwaite dan Metode Penman Modifikasi. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode Penman Modifikasi dimana hasil yang didapat lebih realistis karena menggunakan sebagian besar data klimatologi. Perbandingan dari penggunaan beberapa metode ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Klimatologi untuk perhitungan Evapotranspirasi.

No	Metode	Temp (T)	Humidit y(RH)	Son Shine (N)	Kec Angin (H)	Radiant (Ra)	Evaporasi (E)
1	Pan Evaporasi	-	-	-	-	-	√
2	Penman	√	√	√	√	√	-
3	Thornth Waite	√	-	-	-	-	-
4	Blaney Criddle	√	-	-	-	-	-

(Sumber: Triatmodjo, Bambang 2008)

Pada penelitian tugas akhir ini digunakan rumus Metode Penman Modifikasi yang merupakan salah satu cara untuk menghitung nilai dari evapotranspirasi (Eto) yang mana dibutuhkan beberapa data 10 terukur, antara lain: suhu relata ($T = ^\circ\text{C}$), kelembapan relative ($\text{RH} = \%$), kecerahan matahari ($n/N = \%$), kecepatan angin ($U = \text{m/s}$), letak lintang daerah, dan angka koreksi (C). Data tersebut didapatkan dari stasiun BMKG Banjarnegara dimana data tersebut berupa data klimatologi selama 5 tahun yaitu tahun 2010 sampai 2019. Berikut rumus

perhitungan evapotranspirasi (E_{to}) yang dapat dilihat pada persamaan 2.5.

$$E_{to} = c\{W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)\} \quad (2.5)$$

dimana :

- E_{to} = Index Evapotranspirasi
- C = Faktor penyesuaian kondisi akibat cuaca siang dan malam
- W = Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari
- $f(U)$ = Fungsi kecepatan angin
- e_a = Tekanan uap jenuh (mbar)
- $1-W$ = Elevasi daerah (m)
- E_d = Tekanan uap nyata (mbar)
- R_n = Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari (mm/hari)

Data terukur yang digunakan dalam perhitungan menggunakan Metode Penman Modifikasi dengan uraian sebagai berikut :

- a. Faktor penyesuaian kondisi akibat cuaca siang dan malam (C)

Pada malam hari dan siang hari tentunya terdapat perbedaan kecepatan angin yang terjadi dikarenakan iklim yang tidak selalu tetap maka metode Penman Modifikasi memiliki angka koreksi yang besarnya mempertimbangkan kecepatan angin pada siang hari dan malam hari. Angka koreksi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Angka Koreksi (C) Bulanan

Bulan	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUNI
C	1,1	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9
Bulan	JULI	AGS	SEP	OKT	NOV	DES
C	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1

(Sumber: Limantara, 2018)

- b. Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (W)

Penyinaran matahari berhubungan dengan adanya suhu dan elevasi dimana memiliki nilai faktor yang pemberat untuk efek radiasi pada evapotranspirasi potensial (Eto). Dalam mencari nilai faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (W) tersedia pada Tabel 2.3. Selain itu, apabila suhu yang tidak ada pada Tabel maka harus dilakukan dengan cara interpolasi terlebih dahulu menyesuaikan dengan suhu yang ada.

Berikut ini faktor yang mempengaruhi penyiraman matahari (W) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor yang Mempengaruhi Penyinaran Matahari (W)

Temperatur (T), °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Ketinggian (z), m										
0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69
500	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70
1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71
2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73
Temperatur (T), °C	22	24	26	28	30	32	34	36	48	40
Ketinggian (z),m										
0	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85
500	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
1000	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
2000	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

(Sumber: Maidar, 2014).

c. Fungsi kecepatan angin $f(U)$

Menghitung fungsi kecepatan angin (U) berdasarkan nilai kecepatan angin (U) yang; diperoleh dari stasiun klimatologi. Perhitungan (U) menggunakan persamaan 2.6 berikut:

$$f(U) = 0,27x \left(\frac{1}{100} + U \right) \quad (2.6)$$

dimana:

$f(U)$ = Fungsi kecepatan angin

R_s = Radiasi matahari

U = Kecepatan (km/hari)

d. Tekanan uap jenuh (e_a)

Tekanan uap jenuh terhadap suhu udara rata-rata memiliki nilai yang berpengaruh oleh temperatur. Dalam mencari nilai tekanan uap jenuh (e_a) dapat menggunakan Tabel 2.4. Selain itu, apabila temperatur yang digunakan tidak ada pada Tabel maka harus dilakukan dengan menggunakan persamaan interpolasi untuk kemudian menghasilkan nilai tekanan uap jenuh (e_a). Berikut ini nilai tekanan uap jenuh (e_a) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai Tekanan Uap Jenuh (e_a) Menurut Temperatur Udara Rata-Rata

Temperatur (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ea (mbar)	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,7	9,8	10	10,7	11,5	12,3
Temperatur (°C)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ea (mbar)	13,1	14	15	16,1	17	18,2	19,4	20,6	22	23,4	24,9
Temperatur (°C)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
ea (mbar)	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,7	37,8	40,1	42,4	44,9	47,6
Temperatur (°C)	33	34	35	36	37	38	39				
ea (mbar)	60,3	53,2	56,2	49,4	62,8	66,3	69,9				

(Sumber: Maidar, 2014)

e. Tekanan uap nyata (ed)

Dalam mencari nilai tekanan uap sebenarnya atau nyata (ed) dapat menggunakan rumus perhitungan yang dapat dilihat pada persamaan 2.7.

$$ed = ea x + \left(\frac{RH}{100} \right) \quad (2.7)$$

dimana:

ed = Tekanan uap nyata (mbar)

ea = Tekanan uap jenuh (mbar)

RH = Kelembaban udara (%)

f. Perbedaan tekanan uap

Dengan adanya nilai tekanan uap (ea) dan tekanan uap nyata (ed) akan menghasilkan perbedaan tekanan uap (ea-ed)

g. Nilai faktor pemberat (1-W)

Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (W) dalam hubungan suhu dan ketinggian (W) akan menghasilkan nilai faktor pemberat (1-W)

h. Radiasi lapisan atas atmosfer (Ra)

Berdasarkan nilai lapisan atas atmosfer (Ra) yang dimana dalam hubungannya dengan letak lintang (mm/hari) pada daerah Indonesia sendiri, antara 5⁰LU sampai 10⁰LS. Letak lintang diketahui dari masing-masing stasiun pengamatan. Apabila terdapat letak lintang yang tidak tersedia pada Tabel, maka dapat dilakukan dengan cara interpolasi. Besaran nilai (Ra) dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Besaran Nilai Angot (Ra) Dalam Hubungannya dengan Letak Lintang (mm/hari)

	Lintang Utara (LU ^o)				Lintang Selatan (LS)				
	5	4	2	0	2	4	6	8	10
JAN	13,0	14,3	14,7	15,0	15,3	15,5	15,8	16,1	16,1
FEB	14,0	15,0	15,3	15,5	15,7	15,8	16,0	16,1	16,0
MAR	15,0	15,5	15,6	15,7	15,7	15,6	15,6	15,5	15,3
APR	15,1	15,5	15,3	15,3	15,1	14,9	14,7	14,4	14,0
MEI	15,3	14,9	14,6	14,4	14,1	13,8	13,4	13,1	12,6
JUN	15,0	14,4	14,2	13,9	13,5	13,2	12,8	12,4	12,6
JUL	15,1	14,6	14,3	14,1	13,7	13,4	13,1	12,7	11,8
AGS	15,3	15,1	14,9	14,8	14,8	14,3	14,0	13,7	12,2
SEP	15,1	15,3	15,3	15,3	15,3	15,1	15,0	14,9	13,3
OKT	15,7	15,1	15,3	15,4	15,4	15,6	15,7	15,8	14,6
NOV	14,3	14,5	14,8	15,1	15,1	15,5	15,8	16,0	15,6
DES	14,6	14,1	14,4	14,8	14,8	15,4	15,7	16,0	16,0
MIN	13,0	14,1	14,2	13,9	13,5	13,2	12,8	12,4	11,8
MAKS	15,7	15,5	15,6	15,7	15,7	15,8	16,0	16,1	16,1
RATA2	14,8	14,9	14,9	14,9	14,8	14,8	14,8	14,7	14,2

(Sumber: Ariyani, 2015)

i. Radiasi gelombang pendek (R_s)

Nilai penyinaran matahari (n/N) dan nilai radiasi lapisan atas atmosfer (R_a) menghasilkan suatu radiasi gelombang pendek atau radiasi matahari yang sampai ke bumi. Perhitungan radiasi gelombang pendek (R_s) menggunakan persamaan 2.8 berikut:

$$R_s = (0,25 + 0,5 \times \frac{n}{N}) \times R_a \quad (2.8)$$

dimana:

R_s = Radiasi gelombang pendek (mm/hari)

n/N = Penyinaran matahari (%)

R_a = Radiasi lapisan atas atmosfer (mm/hari)

j. Radiasi bersih gelombang pendek (R_{ns})

Nilai radiasi gelombang pendek matahari yang berdasarkan nilai radiasi matahari yang sampai ke bumi (R_s) dan nilai albedo (α) atau presentasi radiasi yang dipantulkan. Perhitungan radiasi bersih gelombang pendek (R_{ns}) menggunakan persamaan 2.9 berikut:

$$R_{ns} = (1 - a) \times R_s \quad (2.9)$$

dimana:

R_{ns} = Radiasi bersih gelombang pendek (mm/hari)

R_s = Radiasi gelombang pendek (mm/hari)

a = Nilai Albedo, untu tanaman acuan pada rumun Penman

Modifikasidigunakan $a = 0,25$

Tabel 2.6 Nilai Fungsi Pengaruh Temperatur $f(T)$

Temperatur (°C)	0	2	4	6	8	10	12	13	14	16
$f(T)$	11	11,4	11,7	12	12,	12,7	13,1	13,5	14,2	14,6
Temperatur (°C)	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f(T)$	14,2	14,6	15	15,4	15,9	16,3	16,7	17,2	17,7	18,1

(Sumber: Maidar, 2014)

k. Fungsi pengaruh tekanan uap $f(ed)$

Dalam mencari nilai suatu fungsi pengaruh tekanan uap yang berdasarkan nilai tekanan uap nyata (ed). Nilai fungsi pengaruh tekanan uap $f(ed)$ dapat dilihat pada Persamaan 2.10.

$$f(ed) = 0,34 - 0,044\sqrt{ed} \quad (2.10)$$

dimana:

$f(ed)$ = Tekanan uap (mbar)

ed = Tekanan uap nyata (mbar)

l. Fungsi pengaruh presentase penyinaran matahari $f(n/N)$

Dalam mencari suatu fungsi pengaruh presentase penyinaran matahari yang berdasarkan nilai rata-rata penyinaran matahari (n/N). Nilai fungsi pengaruh tekanan uap $f(n/N)$ dapat dilihat pada Persamaan 2.11.

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9 \times \frac{n}{N} \quad (2.11)$$

dimana:

$f(n/N)$ = Fungsi pengaruh persentase penyinaran matahari (%)

n/N = Rata-rata penyinaran matahari (%)

m. Radiasi bersih gelombang pasang (Rnl)

Nilai radiasi gelombang panjang matahari yang berdasarkan nilai pengaruh temperature $f(T)$, nilai pengaruh tekanan uap $f(ed)$, dan nilai pengaruh presentase penyinaran matahari $f(n/N)$. Perhitungan radiasi bersih gelombang Panjang (Rnl) menggunakan Persamaan 2.12 berikut:

$$Rnl = f(T) \times f(ed) \times f(n/N) \quad (2.12)$$

dimana:

Rnl = Radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)

$f(T)$ = Nilai pengaruh temperature (°)

$f(ed)$ = Nilai pengaruh tekanan uap (mbar)

$f(n/N)$ = Nilai pengaruh persentase penyinaran matahari (%)

n. Radiasi bersih (R_n)

Pada nilai radiasi bersih gelombang pendek matahari (R_{ns}) radiasi bersih gelombang panjang (R_{nl}) akan menghasilkan nilai bersih (R_n). Perhitungan radiasi bersih (R_n) menggunakan Persamaan 2.13 berikut:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2.13)$$

dimana:

R_n = Radiasi bersih (mm/hari)

R_{ns} = Radiasi bersih gelombang pendek (mm/hari)

R_{nl} = Radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)

E. DEBIT ALIRAN SUNGAI

Debit aliran sungai berpengaruh pada ketersediaan air. Ketersediaan air adalah jumlah air (debit yang diperkirakan terus menerus ada disuatu lokasi atau bendungan air lainnya) di suatu sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu (Direktorat,1980). Untuk pemanfaatan air, perlu diketahui informasi ketersediaan air andalan (debit, hujan).

Prosedur analisis debit andalan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data. Apabila data debit dalam jumlah cukup panjang, maka analisis ketersediaan air dapat dilakukan dengan melakukan analisis frekuensi terhadap data debit tersebut. Apabila tidak tersedia data debit jangka panjang, maka dapat dilakukan dengan simulasi hujan-aliran.

1. Penelusuran Data Debit berdasar Data Hujan

Apabila data debit tidak tersedia analisis ketersediaan air dapat dilakukan dengan menggunakan model hujan aliran. Di suatu daerah aliran sungai, pada umumnya data hujan tersedia dalam jangka waktu panjang, sementara data debit adalah pendek. Untuk itu dibuat hubungan antara data debit dan data hujan dalam periode waktu yang sama. Selanjutnya berdasarkan hubungan tersebut dibangkitkan data debit

berdasar pada hujan yang tersedia. Dengan demikian akan diperoleh data debit dalam periode waktu yang sama dengan data hujan.

Ada beberapa periode untuk menstimulasikan data hujan menjadi data debit, diantaranya model FJ Mock. Model Dr. FJ Mock ini paling sering digunakan terutama pada daerah dengan curah hujan tinggi sampai sedang, seperti daerah Sumatera, Kalimantan, Jawa, dan Bali. Dengan menggunakan model ini, dapat dihasilkan debit aliran simulasi bulanan. Pada penggunaannya, perlu dilakukan kalibrasi dengan pengamatan debit jangka pendek minimal satu tahun untuk mengetahui ketepatan nilai parameter sebagai input pada model. Berikut ini uraian perhitungan debit tersedia model FJ Mock, sebagai berikut.

a. Evapotranspirasi Terbatas (E_t)

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi actual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah. Berikut rumus perhitungan dari evapotranspirasi terbatas (E_t) dapat dilihat pada Persamaan 2.14.

$$E_t = E_{to} - \left(E_{to} \times \frac{m}{20} \times (18 - n) \right) \quad (2.14)$$

dimana:

E_t = Evapotranspirasi Terbatas (mm/hari)

E_{to} = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

n = Jumlah hari hujan

m = Faktor lahan terbuka (%)

m = 0% untuk lahan dengan hutan lebat

m = 0% pada akhir musim hujan, dan penambahan 10% setiap bulan kering untuk lahan dengan hutan sekunder.

m = 10% - 40 % untuk lahan yang terisolasi.

m = 30% - 50% untuk lahan pertanian yang diolah (sawah, ladang, perkebunan, dsb).

b. Kandungan air tanah (DS)

Air hujan yang mencapai permukaan tanah akan menghasilkan kandungan air tanah. Air hujan didapatkan dari parameter curah hujan yang nantinya sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi. Nilai kandungan air tanah (DS) akan sama dengan nilai kelebihan air atau surplus air (WS).

Berikut rumus perhitungan untuk kandungan air tanah (DS) dapat dilihat pada Persamaan 2.15.

$$DS = P - Et \quad (2.15)$$

dimana:

DS = Kandungan air tanah (mm/hari)

Et = Evapotranspirasi terbatas (mm/hari)

P = Curah hujan (mm/hari)

c. Infiltrasi (In)

Air hujan yang mencapai permukaan tanah akan menghasilkan kandungan air tanah. Air hujan nantinya akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan (*direct run off*), dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Berikut rumus perhitungan untuk nilai infiltrasi (In) dapat dilihat pada Persamaan 2.16.

$$In = WS \times I \quad (2.16)$$

dimana:

In = Infiltrasi (mm/hari)

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

I = Koefisien infiltrasi diambil 0,2 – 0,5

d. Kandungan air tanah ke-n (Vn)

Air hujan mencapai permukaan tanah akan menghasilkan kandungan air tanah. Air hujan nantinya sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan

(*direct run off*), dan sebagian lagi akan masuk kedalam tanah (infiltrasi). Dalam menentukan nilai *ground water* atau kandungan air tanah diperlukan koefisien infiltrasi dan faktor resesi aliran tanah. Berikut rumus perhitungan untuk nilai penyimpanan atau kandungan air tanah (V_n) dapat dilihat pada Persamaan 2.17.

$$V_n = I_n \times 0,5 \times (1 + K) + K \times V_{n-1} \quad (2.17)$$

dimana:

V_n = Kandungan air tanah ke-n (mm/hari)

I_n = Infiltrasi (mm/hari)

K = Koefisien resesi aliran air tanah diambil 0,4 – 0,7 (%)

e. Perubahan kandungan air tanah (DV_n)

Air hujan yang mencapai permukaan tanah akan menghasilkan kandungan air tanah. Dalam menentukan nilai *ground water storage* berdasarkan perubahan dari selisih kandungan air tanah bulan yang ditinjau dengan kandungan air tanah bulan sebelumnya. Berikut rumus perhitungan untuk nilai perubahan kandungan air tanah (DV_n) dapat dilihat pada Persamaan 2.18.

$$DV_n = V_n - (V_{n-1}) \quad (2.18)$$

dimana:

DV_n = Perubahan kandungan air tanah (mm/hari)

V_n = Kandungan air tanah (mm/hari)

f. Aliran Dasar (BF)

Nilai infiltrasi dan nilai perubahan volume kandungan air tanah sangat berpengaruh pada besarnya aliran dasar. Berikut rumus perhitungan untuk nilai aliran dasar (BF) dapat dilihat pada Persamaan 2.19.

$$BF = I_n - DV_n \quad (2.19)$$

dimana:

BF = Nilai aliran dasar (mm/hari)

DV_n = Perubahan kandungan air tanah ke n (mm/hari)

In = Infiltrasi (mm/hari)

g. Limpasan langsung (DR)

Saat air hujan yang mencapai permukaan tanah, sebagian air masuk ke dalam tanah karena kelebihan air yang terjadi akan muncul adanya limpasan langsung. Berikut rumus perhitungan untuk nilai limpasan langsung atau aliran langsung (DR) dapat dilihat pada Persamaan 2.20.

$$DR = WS - In \quad (2.20)$$

dimana:

DR = Limpasan langsung (mm/hari)

WS = Surplus air (mm/hari)

In = Infiltrasi (mm/hari)

h. Limpasan (RO)

Berikut rumus perhitungan untuk nilai limpasan atau aliran (RO) dapat dilihat pada Persamaan 2.21.

$$RO = BF - DR \quad (2.21)$$

dimana:

RO = Limpasan (mm/hari)

BF = Aliran dasar (mm/hari)

DR = Limpasan langsung (mm/hari)

i. Debit aliran rata-rata (Q)

Berikut rumus perhitungan untuk besarnya aliran sungai rata-rata (Q) dapat dilihat pada Persamaan 2.22.

$$Q = RO \times A \quad (2.22)$$

dimana:

Q = Debit aliran rata-rata (m^3/s)

RO = Limpasan (mm/hari)

A = Luas daerah aliran sungai (km^2)

2. Debit Inflow Bangkitan Metode Thomas-Fiering

Terdapat tiga model yang digunakan dalam perhitungan-perhitungan hidrologi yaitu model deterministik, model probabilitistik, dan model stokastik. Model stokastik mampu mengisi kekosongan diantara kedua model tersebut, yaitu mempertahankan sifat-sifat peluang yang berhubungan dengan runtun waktu kejadiannya. Termasuk dalam model stokastik adalah proses perpanjangan runtun data. Berikut adalah kegunaan pembangkitan data debit sungai adalah:

- a. Untuk memenuhi kebutuhan tampungan waduk dengan data sintesis.
- b. Untuk membantu perancangan waduk akibat data kurang panjang
- c. Untuk simulasi pengoperasian waduk

Pembangkitan data menggunakan metode Thomas Fiering dapat digunakan untuk memecahkan persoalan kurang panjangnya data hidrologi. Filosofi data bangkitan atau data sintetis adalah membuat data baru berdasarkan catatan pendek, untuk mendapatkan catatan panjang. Diharapkan metode Thomas-Fiering dapat menjadi jawaban bagi ketersediaan data. Sehingga persoalan kurang panjangnya data hidrologi dapat teratasi dengan pembangkitan data menggunakan model Thomas Fiering ini. Keunggulan metode Thomas Fiering adalah dapat meramalkan data untuk beberapa tahun kedepan. Rumus yang digunakan dalam metode Thomas Fiering yaitu sebagai berikut (Fiering and Jackson, 1993).

$$Q_{i+1j} = Q_j + b_j (Q_{ij-1} - Q_{j-1}) + t_i S_{dj} (1-r_j)^2 \quad (2.23)$$

dimana :

Q_{i+1j} = debit hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke (i + 1)

Q_{ij-1} = debit pada tahun ke 1, pada bulan sebelumnya (j-1)

r_j = korelasi antara debit bulan sebelumnya (j-1) dan bulan
 j_{bj} = koefisien regresi antara debit bulan j dan j-1

F. KEBUTUHAN AIR IRIGASI

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk mencukupi kebutuhan air untuk tanamandan keperluan bercocok tanam pada petak sawah ditambah kehilangan air pada suatu jaringan irigasi. Selain itu untuk memenuhi kebutuhan air di areal persawahan juga untuk memenuhi kebutuhan air untuk pereluan peternakan dan perikanan. Kebutuhan air irigasi bergantung pada faktor-faktor berikut, yaitu pola tata tanam, kebutuhan untuk penyiapan air, kebutuhan air konsumtif untuk tanaman, perkolasi, kebutuhan air untuk penggantian lapisan air, curah hujan efektif, efisiensi air irigasi, dan luas lahan irigasi. (Anton Priyonugroho, 2006). Besarnya kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan *Net Field Requirement*. (NFR) yang dapat dilihat pada Persamaan 2.24.

$$NFR = ETc + P - Re + WLR \quad (2.24)$$

dimana:

NFR = Kebutuhan air irigasi (mm/hari)
 P = Kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)
 WLR = Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (mm/hari)
 Etc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)
 Re = Hujan efektif (mm/hari)

1. Pola Tata Tanam

Dalam menciptakan suatu lahan yang produksi, perlu adanya pola penanaman. Untuk membuat pola tanam perlu memperhatikan iklim yang ada serta dipilih menyesuaikan musim. Dalam penelitian ini, pola tata tanam yang digunakan yaitu pola tata tanam eksisting. Awal tanam dimulai bulan Januari dengan pola tanam padi, tebu, palawija. Pola tata tanam eksisting tersebut dipilih karena yang menghasilkan luas lahan

panen paling optimal sehingga intensitas tanamannya akan menghasilkan panen yang maksimal. Ketersediaan air untuk jaringan irigasi dipengaruhi dengan adanya pola tata tanam satu tahun.

Tabel 2.7 Pola Tanam

Ketersediaan air untuk jaringan irigasi	Pola tanam satu tahun
1. Tersedia air cukup banyak	Padi-Padi-Palawija
2. Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi-Padi-Bera Padi-Palawija-Palawija
3. Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi-Palawija-Bera Palawija-Padi-Bera

(Sumber: ISBN, Irigasi dan Bangunan Air, 2022)

2. Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Air yang dibutuhkan selama masa penyiapan lahan untuk menggenangi sawah hingga mengalami kejenuhan sebelum transplantasi dan pembibitan. Dalam mengetahui besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan perlu memperhatikan beberapa faktor, seperti jenis tanaman yang akan ditanam, pola tanam, efisiensi irigasi, lama penyinaran matahari, serta kebutuhan air akibat evaporasi dan perkolasi. Perhitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan digunakan dengan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra, 1968 dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$IR = \frac{M \times e^k}{e^k - 1} \quad (2.25)$$

$$K = \frac{MT}{S} \quad (2.26)$$

$$M = E_o + P \quad (2.27)$$

dimana:

IR = Kebutuhan air untuk pengolahan lahan (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

- K = Konstanta
- E_o = Evaporasi air terbuka yang diambil 1.1 E_{To} selama penyiapan lahan (mm/hari)
- E_{To} = Evaporasi Potensial (mm/hari)
- T = Jangka Waktu Penyiapan Lahan (hari)
- S = Kebutuhan Air (untuk penjemuran tanah lempung sebesar 200mm + 50 mm untuk lapisan genangan), 250 mm
- e = Bilangan Eksponen yaitu 2,7182

Kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan yang dihitung menurut rumus diatas dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan

M = $E_o + P$ mm/hari	T = 30 hari		T = 30 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi, KP-01)

3. Perkolasi

Perkolasi adalah proses Bergeraknya air melalui lapisan tanah dari lapisan tidak jenuh kedalam daerah yang jenuh. Besarnya perkolasi salah satunya dipengaruhi oleh tekstur tanah. Laju perkolasi sangat bergantung pada sifat-sifat tanah. Pada tanah-tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan (*puddling*) yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3mm/hari. Pada tanah-tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi (Standar Perencanaan Irigasi KP-01). Dari hasil-hasil penyelidikan tanah pertanian, besarnya laju perkolasi serta tingkat kecocokan tanah untuk pengolahan lahan dapat ditetapkan dan dianjurkan pemakaiannya. Guna menentukan laju perkolasi, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan. Laju perkolasi dengan berbagai jenis atau tekstur tanah dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Harga Perkolasi Menurut Jenis Tanah

Jenis Tanah	Perkolasi vertikal (mm/hari)
<i>Sandy Loam</i>	3 – 6
<i>Loam</i>	2 – 3
<i>Clay</i>	1 – 2

(Sumber: Soemarto, 1987)

4. Kebutuhan Air untuk Mengganti Lapisan Air (WLR)

Penggantian lapisan air diperlukan untuk mengurangi efek reduksi pada tanah dan pertumbuhan tanaman. Besarnya kebutuhan air untuk mengganti lapisan air adalah 50mm/bulan (atau 3,3 mm/hari selama 1,5 bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi. Hal tersebut ditetapkan berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi, KP-01.

5. Kebutuhan Air Konsumtif

Kebutuhan air untuk tanaman di sawah adalah kebutuhan air konsumtif dengan memasukkan nilai koefisien tanaman pada perhitungan. Pemakai konsumtif merupakan jumlah air pada suatu area

pertanaman yang digunakan untuk transpirasi, diuapkan dari tanah dan permukaan air serta diintersepsi oleh tanaman. Besarnya nilai Etc, dapat dilihat pada Persamaan 2.28 berikut ini:

$$Etc = Eto \times Kc \quad (2.28)$$

dimana:

Etc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

Eto = Evapotranspirasi (mm/hari)

Kc = Koefisien tanaman

6. Koefisien Tanaman (Kc)

Faktor koefisien tanaman berpengaruh untuk mengetahui besarnya air yang habis terpakai tanaman pada masa pertumbuhan. Dengan memasukkan efisiensi tanaman penggunaan konsumtif tanaman (Kc) merupakan fungsi dari evapotranspirasi potensial tanaman. Koefisien untuk tanaman padi dan palawija dapat dilihat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2.10 Harga Koefisien Tanaman Padi

Bulan	Nedeco/Prosida		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0,5	1,20	1,20	1,10	1,10
1,0	1,20	1,27	1,10	1,10
1,5	1,32	1,33	1,10	1,05
2,0	1,40	1,30	1,10	1,05
2,5	1,35	1,30	1,10	0,95
3,0	1,24	0	1,05	0
3,5	1,12		0,95	
4,0	0		0	

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi KP-01)

Tabel 2.11 Harga Koefisien Tanaman Palawija

1,5 bulan No.	Jangka tumbuh/ hari	Tanaman					
		Kedelai	Jagung	Kacang tanah	Bawang	Buncis	Kapas
1	1,20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2	1,20	0,75	0,59	0,51	0,51	0,64	0,5
3	1,32	1,0	0,96	0,66	0,69	0,89	0,58
4	1,40	1,0	1,05	0,85	0,90	0,95	0,75
5	1,35	0,82	1,02	0,95	0,95*	0,88	0,91
6	1,24	0,45*	0,95*	0,95			1,04
7	1,12			0,95			1,05
9	1,12			0,55*			1,05
10							0,78
11							0,65
12							0,65

(Sumber: Standar Perencanaan Irigasi, KP-01)

7. Kebutuhan Air pada Pintu Pengambilan (DR)

Besarnya kebutuhan air pada pintu pengambilan berdasarkan pada nilai kebutuhan air bersih untuk tanaman yang nantinya dapat diketahui total besarnya nilai kebutuhan air pada intake. Dalam mengetahui total kebutuhan air diintake dibutuhkan adanya luasan area irigasi yang digunakan sebagai acuan utama dalam penggunaan air embung untuk kebutuhan irigasi (Febri Aditya, 2021). Berikut ini persamaan untuk mengetahui kebutuhan pada pintu pengambilan dan total kebutuhan di intake yang dapat dilihat pada Persamaan 2.29 dan 2.30.

$$\text{Kebutuhan air pada pintu pengambilan } DR = \frac{NFR}{e} \quad (2.29)$$

$$\text{Total kebutuhan air irigasi di intake} = \frac{DR \times A}{1000} \quad (2.30)$$

dimana:

Total kebutuhan air irigasi di intake (m^3/s)

NFR = Kebutuhan air irigasi (l/s/ha)

DR = Kebutuhan air pada pintu pengambilan (l/s/ha)

e = Efisiensi irigasi (0,65)

A = Luas area irigasi (Ha)

G. NERACA AIR (*WATER BALANCE*)

Perhitungan neraca air digunakan untuk mengetahui aliran air yang masuk dan keluar pada suatu sistem. Perhitungan neraca air biasanya dilakukan untuk:

1. Menghitung persediaan air pada permukaan tanah dan sub permukaan tanah.
2. Menaksir pola penggunaan air yang tersedia.
3. Membantu untuk menyeimbangkan jumlah air yang lebih dan kekurangan air.
4. Sebagai dasar pada perhitungan perencanaan optimasi pada manajemen sumber daya air.

Namun perlu diperhatikan bahwa pada perhitungan neraca air sebenarnya terdapat beberapa parameter yang sulit diukur dilapangan, terutama yang berhubungan dengan parameter pada air tanah, tetapi pada perumusannya sering dilakukan penyederhanaan sesuai dengan kondisi lapangan setempat. (Febri Aditya, 2021).

Waduk merupakan sebuah sistem dari suatu input dan output. Waduk memiliki model neraca air waduk sebagai berikut:

$$I = O \pm AS \quad (2.31)$$

dimana:

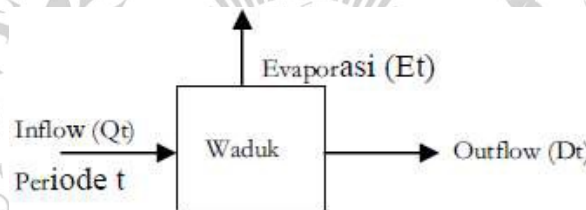
I = *Inflow* / masukan.

O = *Outflow* / keluaran.

ΔS = *Change in storage* / perubahan simpanan air.

H. SIMULASI TAMPUNGAN WADUK

Waduk merupakan bangunan air yang berfungsi untuk menyimpan air sementara pada waktu kelebihan air dan dikeluarkan pada waktu terjadinya kekurangan air. Bentuk persamaan tampungan yang sering digunakan untuk operasi waduk adalah persamaan kontinuitas yang member hubungan antara masukan, keluaran, dan perubahan tampungan yang disebut analisis perilaku (model simulasi) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Model Simulasi

(Sumber: Mawiti Infantri Yekti, 2020)

Persamaan tersebut dinyatakan pada persamaan 2.32.

$$S(t+1) = S_t + Q_t - D_t - E_t - L_t \quad (2.32)$$

dengan, $0 < S_t \leq C$

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 (Debit *inflow*) pada interval waktu t .

D_t = Aliran keluar (Debit *outflow*) selama interval waktu t .

- E_t = Evaporasi selama interval waktu t .
 L_t = Kehilangan air di waduk (bisa diabaikan).
 C = Tampungannya efektif.

Dalam proses simulasi ditetapkan sebagai masukan (*input*) kedalam sistem adalah debit *inflow* waduk dan tampungan waduk dari hujan yang terjadi (Presipitasi), dan sebagai keluaran (*output*) adalah kebutuhan air irigasi, kebutuhan air baku ditambah dengan evaporasi.

Dari simulasi tampungan waduk, maka didapat peluang kegagalan dan keadaan waduk. Persamaan peluang kegagalan yang paling umum dipakai adalah perbandingan jumlah satuan waktu pada saat waduk kosong dengan jumlah satuan total yang digunakan dalam proses analisis

$$P_e = \frac{P}{N}$$

Sedangkan definisi keandalan yang berhubungan adalah:

$$R_e = 1 - P_e \dots \dots \dots (2.34)$$

dimana:

- P_e = Peluang kegagalan.
 P = Jumlah satuan waktu pada saat waduk kosong.
 N = Jumlah periode simulasi
 R_e = Peluang keandalan.

Sehingga keadaan waduk adalah R_e %, dengan jumlah kegagalan yang diijinkan sebanyak P_e %. Kegagalan waduk ditentukan oleh prosentase jumlah keberhasilan dari total periode simulasi. Sedangkan keandalan waduk ditentukan dengan prosentase jumlah keberhasilan dari total periode simulasi.

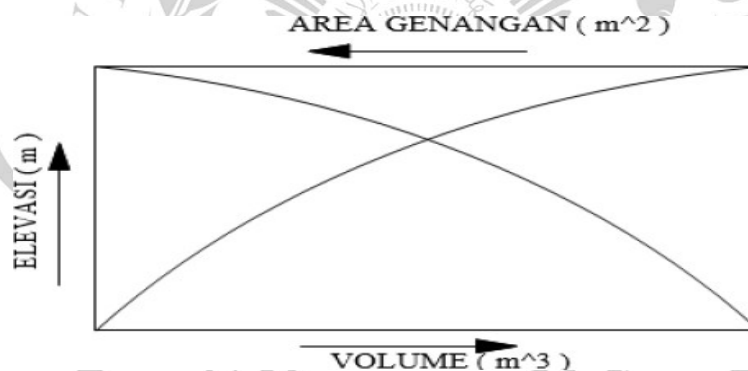
1. Rule Curve

Rule Curve adalah ilmu yang menunjukkan keadaan waduk pada akhir periode pengoperasian yang harus dicapai pada suatu nilai *outflow* tertentu (Mc. Mahon, 1978). *Rule Curve* pengoperasian waduk adalah kurva atau gravik yang menunjukkan hubungan antara elevasi muka air waduk, debit *outflow* dan waktu dalam satu tahun (Indrakarya, 1993). *Rule Curve* ini

digunakan sebagai pedoman pengoperasian waduk dalam menentukan pelepasan yang diijinkan dan sebagai harapan memenuhi kebutuhan. Pada aturan operasi reservoir dimana lepasan berdasarkan status tampungan waduk, maka dilakukan pembatasan terhadap lepasan apabila tampungan waduk menurun besarnya.

2. Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk diperlukan untuk menentukan volume total waduk berdasarkan pada data topografi yang ada. Lengkung kapasitas waduk merupakan grafik yang berhubungan luas daerah genangan dengan volume tampungan terhadap elevasinya. Berhubung fungsi utama waduk adalah untuk penyediaan tampungan, maka cirri fisik utama yang terpenting adalah kapasitas tampungan. Hubungan antara luas genangan, volume waduk terhadap kedalamannya disajikan pada kurva lengkung kapasitas waduk seperti Gambar dibawah ini.



Gambar 2.4 Lengkung Kapasitas Waduk

(Sumber : Soedibyo, 2003)