

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penyusunan dan analisis penelitian ini diperlukan beberapa referensi sebagai panduan serta tolok ukur seperti yang tertera pada **Tabel 2.1** dibawah ini :

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1	Tisnawati (2010)	Optimasi Pemanfaatan Sumber Daya Air Embung Batu Tulis di Kecamatan Jonggat Kabupaten Lombok Tengah	Program Solver	debit keandalan 80% dengan intensitas tanam adalah sistem pola tanam padi – kedelai 50 % + kacang tanah 50 % – kedelai dengan awal tanam Oktober I. Hasil intensitas tanam maksimum yang didapat dari sebesar 218,84%.
2	Sudirja (2008)	Optimasi Pemanfaatan Sumber Daya Air Untuk	Program Solver	debit keandalan 80% yang memberikan intensitas tanam

(Sumber : Penelitian Terdahulu)

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu (lanjutan)

		Irigasi, Pernakan dan Air Baku Pada Daerah Aliran Sungai Reak		adalah sistem pola tanam padi – kedelai 50 % + kacang tanah 50 % – kedelai dengan awal tanam Oktober I. Hasil itensitas tanam maksimum yang didapat sebesar 218,84%.
3	Mustari (2008)	analisis Optimasi Pemanfaatan Sumber Daya Air Embung Bangka	Program Solver	suplai air yang mampu diberikan dalam satu tahun masing-masing pada Bendung Otak Dese sebesar 6.365,68 m ³ , Bendung Renggung sebesar 31.880,11 m ³ dan Embung Bangka sebesar 6.643,48 m ³ . Serta mampu mensuplai air kehilir sebesar 16.498,08 m.

(Sumber : Penelitian Terdahulu)

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan suatu bagian analisis awal dalam perencanaan bangunan hidro. Hal ini mempunyai pengertian bahwa informasi dan besaran yang diperoleh dalam analisis hidrologi merupakan masukan penting dalam analisis selanjutnya yaitu guna mendapatkan karakteristik dan meteorologi Daerah Aliran Sungai. Hidrologi adalah salah satu aspek yang sangat penting peranannya untuk merencanakan bangunan Hidro, dimana tingkat keberhasilan suatu bangunan air dipengaruhi oleh ketelitian dalam menganalisis hidrologi. Parameter hidrologi yang penting untuk perencanaan jaringan irigasi adalah curah hujan dan evapotranspirasi. Tahapan awal analisis hidrologi, adalah sebagai berikut.

2.2.1.1. Penyiapan data

Data yang dimaksudkan harus merupakan data yang dapat dikumpulkan secara teratur dan teramati, sehingga dapat memberikan data yang benar-benar mengandung informasi yang tepat. Pengumpulan informasi yang tepat. Pengumpulan data ini hendaknya dilakukan dengan instansi tertentu yang terkait dengan pengelolaan lokasi yang akan di Analisis.

2.2.1.2. Curah hujan rerata daerah

Umumnya untuk menghitung curah hujan daerah dapat digunakan standar luas daerah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1987) :

- a. Daerah dengan luas 250 Ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur hujan.
- b. Untuk daerah antara 250 – 50.000 Ha dengan 2 atau 3 titik pengamatan, dapat digunakan dengan rata-rata.
- c. Untuk daerah rata-rata antara 120.000 – 50.000 Ha dengan 2 atau 3 titik pengamatan yang tersebar cukup merata dan curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh faktor topografi, dapat digunakan cara rata-rata aljabar. Jika titik pengamatan itu tidak tersebar merata, maka akan digunakan cara polygon thiessen.

- d. Untuk daerah yang lebih besar dari 500.000 Ha, maka dapat digunakan cara isohiet atau cara potongan antara (*inter-section method*).

Curah hujan daerah harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan, cara-cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan dibeberapa titik sebagai berikut :

- a. Cara rata-rata aljabar

Cara ini adalah perhitungan rata-rata aljabar curah hujan di dalam dan sekitar daerah dipakai persamaan berikut (Sosrodarsono,1987) :

$$\bar{R} = 1/n (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \text{Curah Hujan rata-rata (mm),} \\ n &= \text{jumlah stasiun hujan,} \\ R_1, R_2, \dots, R_n &= \text{Curah hujan di stasiun N (mm).} \end{aligned}$$

- b. Cara Polygon Thiessen

Jika titik-titik pengamatan di dalam daerah itu tersebar merata, maka cara perhitungan curah hujan rata-rata itu dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan . Curah hujan di daerah itu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Sosrodarsono, 1987) :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1+A_2R_2+\dots+A_nR_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \text{Curah hujan rata-rata (mm),} \\ A &= \text{Luas total Areal (m}^2\text{),} \\ R_1, R_2, \dots, R_n &= \text{Curah hujan di stasiun N (mm)} \end{aligned}$$

c. Cara Garis Isohyet

Cara ini dilakukan dengan menggambar contour dengan tinggi curah hujan yang sama (*isohyet*). Kemudian luas bagian diantara isohyet – isohyet yang berdekatan diukur, dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata timbang dari nilai kontur, dengan persamaan berikut ini (Sosrodarsono, 1987) :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1+A_2R_2+\dots+A_nR_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

- \bar{R} = Curah Hujan rata-rata DAS,
 A = Luas total areal (m^2),
 A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang diwakili oleh kontur hujan N,
 R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di stasiun N (mm).

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas maka perhitungan curah hujan rerata pada kajian ini adalah dengan menggunakan Metode Polygon Thiessen.

2.2.1.3. Anaisis Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat dipergunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Curah hujan efektif untuk tanaman padi dan palawija dihitung dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

- P = Peluang curah hujan yang terjadi (%),
 m = Nomor urut (rangking),
 n = Banyaknya pengamatan.

Untuk perhitungan curah hujan dengan probabilitas (P) 80% dan 50% adalah sebagai berikut :

a. Untuk tanaman padi :

$$R_{80} = \frac{m}{n-1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

b. Untuk tanaman palawija :

$$R_{50} = \frac{m}{n-1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Berdasarkan peluang kejadian dihitung curah hujan efektif setengah bulanan dengan rumus sebagai berikut :

a. Untuk tanaman padi

$$Re = 0.7 * \frac{R_{80}}{15} \dots\dots\dots (2.7)$$

b. Untuk tanaman palawija

$$Re = 0.7 * \frac{R_{50}}{15} \dots\dots\dots (2.8)$$

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi diambil 80% dari curah hujan yaitu curah hujan yang probabilitasnya terpenuhi 80% (R_{80}) sedangkan untuk tanaman palawija (R_{50}).

2.2.2. Perhitungan Debit Andalan

Debit Andalan merupakan kemungkinan debit minimum sungai yang dapat dipenuhi ditetapkan dari 80% debit sehingga kemungkinan debit sungai lebih rendah dari debit andalan sebesar 20%. Untuk mendapatkan debit andalan sungai, maka nilai debit yang dianalisis adalah salah satunya dengan metode Mock dengan aturan menurut tahun pengamatan yang diperoleh harus diurut dari yang terbesar sampai yang terkecil. Debit Andalan FJ Mock dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_a = (D_{ro} + B_f) \times F$$

$$D_{ro} = W_s - 1 = 0.6 \times W_s$$

$$B_f = 1 - V_n$$

$$\begin{aligned} W_s &= R - E_p \\ E_i &= E_t - E \end{aligned}$$

Dimana,

- Qa = debit andalan
- Dro = Direct Run Off
- Bf = Base flow
- F = Cacthment area
- Ws = water surplus
- I = Infiltrasi
- Vn = Penyiapan air tanah
- R = Curah hujan
- Ep = Evapotranspirasi potensial ($E_t = E_p - E$)
- Et = Evapotranspirasi terbatas ($E = E_p \times (m/20) \times (18-n)$)
- n = Jumlah Hari Hujan
- m = tutupan lahan

Kriteria dan asumsi yang sering diperhitungkan dalam Metode FJ Mock yaitu :

- a. P = Curah hujan bulanan (mm)
- b. n = *number*, jumlah hari hujan pada bulan yang bersangkutan
- c. Ep = evapotranspirasi potensial (mm/bln)
- d. m = lahan yang tidak tertutup vegetasi, ditentukan dari peta tata guna lahan sebagai berikut :
 - = 10 - 40%, untuk lahan yang tererosi
 - = 10 - 30%, untuk lahan pertanian yang diolah
- e. **$E/E_p = (m/20) \times (18-n)$**
- f. Tampungannya air tanah, Diasumsikan = 0
- g. Kelembaban air tanah (*soil moisture*), harga maks = 200 mm/bln
- h. Volume air Tanah, mm/bln = Ws-tampungannya air tanah
- i. Infiltrasi (I), = 0.40 dari *water surplus*
 - $0.5 (1+k).I$**
 - $k \times (V_{n-1}) > k$ =faktor retensi tanah, ditaksir :
 - $k = 0.60$ (daerah pegunungan)
 - $k = 0.50$ (daerah rendah)
 - $V_{n-1} = 50$ mm (volume tampungannya pada periode n-1)

j. Volume tampungan (V_n) = (j) + (k)

k. ΔV_n = perubahan volume aliran tanah

$$\Delta V_n = V_n - (V_{n-1})$$

l. Aliran dasar = $1 - \Delta V_n$

m. Aliran permukaan (D_{ro}) = volume air tanah - infiltrasi

n. Aliran sungai = aliran dasar + aliran permukaan

$$o. \text{ Debit} = \frac{A \times 1000 \times \text{aliran sungai}}{86400 \times \text{jlh hari per bulan}}$$

(Kamiana, 2011)

Selanjutnya dihitung tingkat keandalan debit tersebut dapat terjadi, berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus Weibull (Soemarto, 1995).

$$P = \frac{m}{n-1} \times 100\%$$

dengan :

P : Probabilitas terjadinya nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%)

m : Nomor urut kejadian, dengan urutan variasi dari besar dan kecil

n : jumlah data

2.2.3. Kebutuhan Air irigasi

Kebutuhan air irigasi dapat diketahui dengan menghitung kebutuhan air tanaman. Besarnya kebutuhan air untuk tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

a. Evapotranspirasi

Peristiwa perubahan air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi (penguapan). Peristiwa penguapan tanaman disebut transpirasi. Apabila keduanya terjadi bersama-sama disebut evapotranspirasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi adalah suhu, kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara dan sinar matahari yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya.

Evapotranspirasi adalah faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dan merupakan proses penting dalam siklus hidrologi.

Perhitungan evapotranspirasi potensial dihitung dengan metode Penman (modifikasi FAO) dengan data klimatologi terdekat sebagai stasiun referensi. Persamaan Penman modifikasi FAO (Food and Agriculture Organization) adalah sebagai berikut (Sri Harto, 1993):

$$ET_o = c \cdot (W \cdot R_n + (1-W)) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

- ET_o = evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari),
- W = faktor temperatur dan ketinggian,
- R_n = radiasi bersih (mm/hari),
- f(u) = fungsi kecepatan angin,
- e_a = tekanan uap jenuh (mbar),
- e_d = tekanan uap nyata (mbar),
- C = faktor kompensasi temperatur angin dan kelembaban.

Harga-harga :

$$W = \frac{d}{d+y} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan rumus-rumus pendukung lainnya :

$$d = 2(0,00738 \cdot T_c + 0,8072)^{T_c} - 0,0016 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$y = 0,386 \cdot \frac{P}{L} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$P = 1013 - 0,1055 \cdot E \dots\dots\dots(2.13)$$

$$L = 595 - 0,510 \cdot T \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan :

- E = elevasi medan dari muka air laut (m),
- T = temperature rata-rata (C).

Sedangkan :

$$R_n = R_{ns} - R_{n1} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\alpha = 6\% \text{ (areal genangan)}$$

$$\alpha = 25\% \text{ (areal irigasi)}$$

$$\alpha = 25\% \text{ (catchment area)}$$

$$R_s = (0.25 + 0.28 \frac{n}{N}) \cdot R_a \dots\dots\dots (2.17)$$

$$R_{n1} = f(T) \cdot f(ed) \cdot f(\frac{n}{N}) R_a \dots\dots\dots (2.18)$$

$$ea = 7,01 \cdot 1,062^T \dots\dots\dots (2.19)$$

$$ed = R_h \cdot ea \dots\dots\dots (2.20)$$

$$c = 0.68 + 0.0095 \times R_h \max + 0.018125 \times R_s - 0.068 \times U_2 c + 0.43 \cdot 10^{-4} \times R_h \max \times R_s \times U_2 c \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan:

R_{n1} = radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari),

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

R_s = radiasi gelombang pendek (mm/hari),

R_a = radiasi teraksial ekstra (mm/hari) yang dipengaruhi oleh letak lintang daerah,

R_h = kelembaban udara (%),

n/N = lama penyinaran matahari terukur (%).

harga fungsi-fungsi:

$$f(u) = 0,27 \cdot (1 + \frac{1}{100}) \dots\dots\dots (2.22)$$

$$f(T) = 11,25 \cdot 1,0133^T \dots\dots\dots (2.23)$$

$$f(ed) = 0,34 - 0,044 (ed)^{0,5} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$f(\frac{n}{N}) = 0,10 + 0,90 \cdot \frac{n}{N} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dengan :

U = kecepatan angin dalam km/hari.

Reduksi pengurangan temperatur karena ketinggian elevasi daerah pengaliran diambil menurut persamaan:

$$T_c = T - 0,006 \times \delta E \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan:

- T_c = temperatur terkoreksi ($^{\circ}\text{C}$),
 T = temperatur rata-rata ($^{\circ}\text{C}$),
 δE = beda tinggi elevasi stasiun dengan lokasi tinjauan (m).

Koreksi kecepatan angin karena perbedaan elevasi pengukuran diambil menurut persamaan:

$$U_{2c} = U_2 \left(\frac{L_i}{L_p} \right)^{\frac{1}{7}} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan:

- U_{2c} = kecepatan angina di lokasi perencanaan (km/hari),
 U_2 = kecepatan angin di lokasi pengukuran (km/hari),
 L_i = elevasi lokasi perencanaan (m),
 L_p = elevasi lokasi pengukuran (m).

Koreksi terhadap lama penyinaran matahari lokasi perencanaan adalah:

$$\frac{n}{N_c} = \frac{n}{N} - 0,01 \delta E \dots\dots\dots (2.28)$$

Dengan :

- $\frac{n}{N_c}$ = Penyinaran matahari terkoreksi (%),
 $\frac{n}{N}$ = Lama penyinaran matahari terukur (%)
 a, b = Konstanta yang tergantung letak suatu tempat diatas bumi.

Untuk :

- Virginia, Amerika Serikat $a = 0,22$ $b = 0,54$,
 Canberra, Australia $a = 0,25$ $b = 0,54$,

Negri Belanda

a = 0,20 b = 0,48.

Untuk daerah tropik dan subtropik dapat diambil nilai untuk a = 0,28 dan b = 0,48.

Tabel 2.2 Nilai Ra berdasarkan letak lintang dalam mm/hari

Ls	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16	16
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.6	12	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2

Sumber: Soemarto, 1987

b. Penggunaan Konsumtif (*Consumptive Use*)

Penggunaan konsumtif untuk tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan menggantikan air yang hilang akibat evapotranspirasi. penggunaan konsumtif dapat dihitung dengan persamaan :

$$ET_c = k \times ET_o \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan :

ET_c = kebutuhan air tanaman (mm/hari),

K = Koefisien tanaman,

ET_o = Evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari).

Besarnya koefisien tanaman setiap jenis tanaman yang berbeda-beda yang besarnya berubah setiap priode pertumbuhan. Lebih rinci hasil kofisien tanaman (k) untuk masing-masing jenis tanaman, dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut ini :

Tabel 2.3 Koefisien Tanaman

Periode tengah Bulanan	Padi		Palawija		
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Kedelai	Kacang Tanah	Jagung
1	1,10	1,10	0,50	0,50	0.5
2	1,10	1,10	0,75	0,51	0.59
3	1,05	1,10	1,00	0,66	0.96

Tabel 2.3 Koefisien Tanaman (lanjutan)

4	1,05	1,10	1,00	0,85	1.05
5	0,95	1,00	0,82	0,95	1.02
6	0,00	1,00	0,45	0,95	0.95
7	-	-	-	0,95	-
8	-	-	-	0,55	-
9	-	-	-	0,55	-

Sumber : KP-01

c. Infiltrasi Dan Perkolasi

Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam tanah (daerah tidak jenuh), sedangkan perkolasi adalah masuknya air dari daerah tidak jenuh ke dalam daerah jenuh, pada proses ini air tidak dimanfaatkan oleh tanaman. Harga ketetapan untuk perkolasi yang besarnya sangat bergantung pada tekstur dan kemiringan tanah, biasanya diambil 1-3 mm/hari. Untuk tujuan perencanaan, tingkat perkolasi standar 2,0 mm/hari, dipakai untuk mengestimasi kebutuhan air pada daerah produksi padi (KP-01, 1986).

Laju infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kedalaman genangan dan tebal lapis jenuh, kelembaban tanah, pemadatan oleh hujan, tanaman penutup, intensitas hujan, dan sifat-sifat fisik tanah. Faktor yang mempengaruhi perkolasi, Tekstur tanah, Permeabilitas tanah Letak permukaan air tanah, Tebal lapisan tanah bagian atas, Perkolasi adalah kehilangan air yang dipengaruhi oleh keadaan fisik dilapangan.

Perkolasi ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perkolasi vertikal dan horizontal. Menurut hasil penelitian di lapangan, perkolasi vertikal lebih kecil dari pada perkolasi horizontal, angkanya berkisar antara 3 sampai 10 kali, hal ini terutama untuk sawah-sawah dengan keadaan lapangan yang mempunyai kemiringan besar yaitu sawah- sawah dengan teras-teras. Akan tetapi perkolasi horizontal ini, masih dapat dipergunakan lagi oleh petak sawah dibawahnya sehingga perkolasi horizontal tidak diperhitungkan sebagai kehilangan.

Di Jepang menurut hasil penelitian di lapangan, angka-angka perkolasi untuk berbagai jenis tanah disawah dengan lapisan tanah bagian atas (top soil) lebih tebal dari 50 Cm adalah sebagai berikut (Rice Irrigation in Japan, OTCA 1973) Macam Tanah Perkolasi Perkolasi Vertikal (mm/hari) Sandy loam 3 - 6 Loam 2-3 Clay Loam 1-2.

Sedangkan Pemerintah Indonesia telah membuat standar pemakaian angka perkolasi seperti disajikan dalam tabel berikut : Jenis Tanah Angka Perkolasi Padi (mm/hari) Palawija (mm/hari) Tekstur Berat Tekstur Sedang Tekstur Ringan 1 2 5 2 4 10 Sumber : standar Perencanaan Irigasi KP. 01 Tingkat perkolasi pada berbagai tekstur tanah.

Di Indonesia menurut penelitian di lapangan, angka perkolasi ini seperti untuk Proyek Irigasi Sempor adalah 0,70 mm/hari. Didaerah daratan pantai utara pulau Jawa dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan berkisar 1 mm/hari. Di NTB digunakan angka 2mm/hari. • Untuk menentukan besarnya perkolasi secara tepat, satu satunya cara yang diperlukan adalah dengan mengadakan pengukuran di lapangan.

d. Penggantian Lapisan Air

Saat memproduksi padi, untuk melakukan pemupukan dan penyiangan dilakukan praktek penurunan muka air sawah, sehingga lapisan air harus diganti. Penggantian lapisan genangan air dapat dilakukan sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (3,30 mm/hari) selama setengah bulan, selama sebulan dan dua bulan setelah pemindahan (*transpalantasi*). Kebutuhan ini tidak berlaku untuk tanaman palawija (KP-01, 1986).

e. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan

Kebutuhan air untuk pengolahan lahan sawah (*puddling*) bisa diambil 200 mm. ini meliputi penjenuhan (*peresaturation*) dan penggenangan sawah, pada awal transplantasi akan ditambahkan lapisan air 50 mm lagi. Angka 200 mm tersebut mengandaikan

bahwa tanah tersebut bertekstur berat, cocok digenangi dan bahwa lahan itu belum bera (tidak ditanami) selama lebih dari 2,5 bulan. Jika tanah itu dibiarkan bera lebih lama lagi, ambilah tinggi genangan air 250 mm sebagai kebutuhan untuk penyiapan lahan. (Anonim,1986).

Kebutuhan air selama penyiapan lahan digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1986). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam liter/detik selama periode penyiapan lahan. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$IR = \frac{M \cdot e^k}{e^k - 1} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$M = E_o + P \dots \dots \dots (2.31)$$

$$K = \frac{MT}{S} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$E_o = 0,1 \times ET_o \dots \dots \dots (2.33)$$

- IR = kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/hari),
M = kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporosi dan perkolasi disawah yang sudah dijenuhkan (mm/hari),
E_o = evaporasi air terbuka selama penyiapan lahan(mm/hari),
P = perkolasi,
K = koefisien tanaman,
T = jangka waktu penyiapan lahan (hari),
S = kebutuhan air, untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm, yakni 200 + 50 = 250 mm.

Secara keseluruhan, kebutuhan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan dengan harga ketetapan sebesar 250 mm perbulan atau sebesar 8,33 mm/hari.

f. Kebutuhan air di sawah

Kebutuhan air (*water requirement*) untuk tanaman dapat di hitung menurut waktu penanaman dan jenis tanaman. Pola tanam yang direncanakan adalah palawija-palawija-bero, dan palawija-palawija-palawija. Besarnya kebutuhan air disawah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Anonim,1986) :

$$NFR = (ETc - Reff) \times \frac{1}{8,64} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dengan :

- NFR = kebutuhan air disawah (mm/hari),
- ETc = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari),
- Reff = hujan efektif (mm/hari),
- 8,64 = faktor konversi dari mm/hari ke ltr/dt/ha.

g. Efisiensi irigasi

Efisiensi merupakan persentase perbandingan antara jumlah air yang dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan. Agar air yang sampai pada tanaman tepat jumlahnya seperti yang direncanakan, maka air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan harus lebih besar dari kebutuhan.

Kehilangan air yang diperhitungkan untuk operasi irigasi meliputi :

- a. Kehilangan ditingkat tersier, meliputi kehilangan air di saluran sekunder,
- b. Kehilangan ditingkat sekunder, meliputi kehilangan air ditingkat sekunder,
- c. Kehilangan ditingkat primer, meliputi kehilangan air ditingkat primer.

Besarnya efisiensi irigasi dapat ditentukan pada Tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Nilai Efisiensi Irigasi

Lokasi	Efisiensi irigasi (%)
Tingkat tersier	80
Tingkat sekunder	90
Tingkat primer	90
Total	65

Sumber : KP-01, 1986

Mengacu pada Direktorat Jendral Pengairan (1986) maka efisiensi irigasi secara keseluruhan diambil 90% dan tingkat tersier 80%. Angka efisiensi irigasi keseluruhan tersebut dihitung dengan cara mengkonversi efisiensi di masing-masing tingkatan yaitu, $0,9 \times 0,9 \times 0,8 = 0,648 \approx 65\%$.

Secara matematis kebutuhan air irigasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Untuk tanaman padi

$$I = \frac{ETc+E+P+W+G-Re}{\text{Efisiensi}} \dots\dots\dots(2.35)$$

2. Untuk tanaman palawija

$$I = \frac{ETc-Re}{\text{Efisiensi}} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dengan:

- I = kebutuhan air irigasi total terhitung di bangunan utama (mm/hari),
- ETc = kebutuhan air konsumtif (mm/hari),
- W = genangan air di petak tanaman/sawah (mm/hari),
- G = penggantian genangan air/kebutuhan persemaian (mm/hari),
- P = perkolasi (mm/hari),

E_o = evaporasi air terbuka (mm/hari),
 $Reff$ = curah hujan efektif (mm/hari).

Persamaan tambahan untuk menyelesaikan persamaan diatas adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan lahan (netto)} = \text{Total kebutuhan air tanaman} - Reff \dots (2.37)$$

$$\text{Kebutuhan lahan} = \frac{\text{Kebutuhan lahan dalam mm/hari}}{8,64} \dots (2.38)$$

$$\text{Kebutuhan saluran} = \frac{\text{Kebutuhan lahan dalam l l dt l ha}}{\text{efisiensi (0,65)}} \dots (2.39)$$

h. Kebutuhan air di intake

Kebutuhan air irigasi pada pintu pengambilan dapat dihitung dengan persamaan (Anonim, 1986) :

$$DR = \frac{NFR}{EFF} \dots (2.40)$$

Dengan :

DR = kebutuhan air di intake rata-rata (lt/dt/ha),
 NFR = kebutuhan air irigasi (mm/hari),
 Eff = efisiensi irigasi.

Harga kebutuhan air irigasi diperoleh dari data klimatologi dengan menggunakan rumus-rumus empiris yang ada, selain itu dapat ditentukan dari hasil percobaan dan pengamatan di lapangan.

2.2.4. Optimasi

Perencanaan sumber daya air dapat diselesaikan dengan teknik optimasi dan simulasi. Teknik optimasi adalah proses sistematis yang tak terlepas dari algoritma optimasi untuk mendapatkan hasil yang terbaik tanpa mempertimbangkan semua kemungkinan yang ada. Dalam teknik optimasi dirancang suatu model sedemikian rupa sehingga dapat menemukan manajemen kebijakan yang paling baik atau optimal (Jayadi, 2000).

Permasalahan dalam pengelolaan sumber daya air pada dasarnya berkaitan erat dengan usaha untuk memperoleh hasil dan manfaat yang optimum. Untuk mencapai hasil tersebut salah satu cara dapat dilakukan dengan teknik optimasi (Legono dkk, 1998).

Optimasi dilakukan dengan memformulasikan permasalahan yang ada menjadi persamaan matematik. Dalam teknik optimasi, terdapat fungsi tujuan (*objective function*) dan kendala (*constraint*) yang diekspresikan dalam persamaan matematik sebagai fungsi variabel keputusan (*decision variables*).

Pengertian program linier adalah mencakup perencanaan kegiatan- kegiatan untuk mencapai suatu hasil yang maksimal, yaitu hasil yang mencerminkan tercapainya sasaran tertentu yang paling baik sesuai model matematis, diantaranya alternatif-alternatif model matematis yang mungkin dengan menggunakan fungsi linier. Model pemrograman linier adalah sebuah model matematik yang mempunyai bentuk standar sebagai berikut:

a. Fungsi Tujuan

$$\text{Memaksimumkan } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \dots\dots\dots(2.41)$$

b. Fungsi Kendala

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n &\leq \text{atau} \geq b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n &\leq \text{atau} \geq b_2 \\ a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + \dots + a_{3n}X_n &\leq \text{atau} \geq b_3 \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n &\leq \text{atau} \geq b_m \dots\dots\dots(2.42) \end{aligned}$$

Dengan :

- Z = fungsi tujuan
- C_j = parameter nilai tujuan (j=1,2,...,n)
- X_j = perubahan putusan (j=1,2,...,n)
- a_{ij} = parameter kendala (koefisien kendala)
- b_i = batasan sumber daya ke-i (i=1,2,...,m)

Banyak teknik optimasi yang dapat digunakan dalam mengoptimalkan sumber daya air yang ada seperti program linier, program non linier, program dinamik, program Solver, Lindo dan lain-lain. Program Solver merupakan program yang paling populer digunakan diantara teknik optimasi diatas, karena sifatnya yang sederhana dalam formulasinya maupun penyelesaiannya, selain itu solver sudah terdapat pada program *Microsoft Excel* tinggal memunculkan sub program Solver tersebut.