

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Irigasi**

##### **2.1.1 Pengertian Irigasi**

Irigasi adalah usaha penyediaan, pengaturan dan pembuangan air irigasi untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak (PP No. 20 tahun 2006). Menurut (Sosrodarsono & Takeda, 2003) irigasi yaitu menyalurkan air yang perlu untuk pertumbuhan tanaman ke tanah yang dikelola dan mendistribusinya secara sistematis.

Irigasi merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan dalam bidang pertanian, dengan adanya pengairan yang cukup maka sebagian besar tanaman akan tumbuh subur dan menghasilkan hasil panen yang baik.

Hansen dkk (1986) mengemukakan bahwa pemberian air irigasi dapat dilakukan dengan 5 cara, yaitu: (1) dengan penggenangan, (2) merembeskan air, (3) dengan pengaliran, (4) dengan pembasahan tanah, dan (5) dengan menyiram atau menyemprot (Wiguna, 2019). Jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman dalam satu masa tanam mempengaruhi perhitungan waktu pemberian air irigasi.

##### **2.1.2 Klasisfikasi Jaringan Irigasi**

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum 2007 jaringan irigasi adalah saluran, bangunan, dan bangunan pelengkap yang merupakan satu kesatuan yang diperlukan untuk penyediaan, pembagian, pemberian, penggunaan, dan pembuangan air irigasi (Hanan dkk, 2018).

Jaringan irigasi dibagi menjadi jaringan utama dan jaringan tersier. Jaringan utama meliputi bangunan, saluran primer dan saluran sekunder. Sedangkan jaringan tersier terdiri dari bangunan dan saluran yang berbeda dalam petak tersier.

Mengacu pada direktorat jenderal pengairan 1986 (dalam Rahmat dkk, 2019) cara pengaturan, pengukuran, serta kelengkapan fasilitas, jaringan irigasi dapat di kelompokkan menjadi 3 yaitu:

1. Jaringan Irigasi Teknis

Irigasi teknis adalah jaringan irigasi yang telah memiliki saluran permanen dan sudah memiliki bangunan pembagi yang baik, sehingga air yang masuk ke dalam saluran (*input*) dan air yang masuk pada petak sawah (*output*) dapat diukur.

2. Jaringan Irigasi Semi Teknis

Irigasi semi teknis adalah jaringan irigasi yang sudah memiliki saluran permanen tetapi belum terdapat bangunan pembagi air sehingga air yang masuk petak sawah belum terukur.

3. Jaringan Irigasi Sederhana

Irigasi sederhana atau irigasi belum teknis adalah jaringan irigasi yang belum memiliki saluran permanen dan belum terdapat bangunan pembagi, sehingga air yang lewat saluran ini banyak yang hilang.

Untuk lebih jelasnya pengklasifikasian jaringan irigasi di atas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Jaringan Irigasi

		Klasifikasi Jaringan Irigasi		
		Teknis	Semi Teknis	Sederhana
1	Bangunan Utama	Bangunan permanen	Bangunan permanen atau semi permanen	Bangunan sementara
2	Kemampuan bangunan dalam mengukur dan mengatur debit	Baik	Sedang	Jelek
3	Jaringan Saluran	Saluran irigasi dan pembuang terpisah	Saluran irigasi dan pembuang tidak sepenuhnya terpisah	Saluran irigasi dan pembuang jadi satu
4	Petak Tersier	Dikembangkan sepenuhnya	Belum dikembangkan atau densitas bangunan tersier jarang	Belum ada jaringan terpisah yang dikembangkan
5	Efisiensi secara keseluruhan	Tinggi 50 - 60 % (Ancar-ancar)	Sedang 40 - 50 % (Ancar-ancar)	Kurang < 40 % (Ancar-ancar)
6	Ukuran	Tak ada	Sampai 2.000	Tak lebih dari

Sumber : *Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01, 2013*

Sistem irigasi yang baik mencakup ketersediaan air yang mencukupi, manajemen distribusi air yang baik dan irigasi teknis bersifat permanen. Permanen yang dimaksud meliputi bangunan yang dilewati air dari waduk/bendung ke saluran maupun ke petak sawah. Dengan bangunan yang permanen maka akan meningkatkan efisiensi saluran irigasi dan mengurangi kehilangan air. Hansen (dalam Wiguna, 2019) mengemukakan tiga pertimbangan utama yang mempengaruhi waktu pemberian air irigasi dan berapa besarnya air

yang harus diberikan, yaitu: (a) air yang dibutuhkan tanaman, (b) ketersediaan air untuk irigasi dan (c) kapasitas tanah daerah akar untuk menampung air.

## **2.2 Analisis Kebutuhan Air Irigasi**

Kebutuhan air irigasi adalah besarnya kebutuhan air pada suatu daerah agar tanaman tersebut dapat tumbuh dengan baik dan memberikan hasil yang memuaskan (Gandakoesoemah, 1969). Menurut (Sosrodarsono & Takeda, 2003) kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evaporasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah. Pola dan waktu tanam serta jenis komoditas yang direncanakan merupakan perhitungan kebutuhan air dalam hubungannya dengan estimasi besarnya debit yang harus dipenuhi untuk keperluan irigasi, ditinjau berdasarkan pola dan waktu tanam serta jenis komoditas yang direncanakan. Kebutuhan air irigasi dipengaruhi beberapa faktor seperti klimatologi, kondisi tanah, koefisien tanaman, pola tanam, pasokan air yang diberikan, luas daerah irigasi, sistem golongan, jadwal tanam, dan lain-lain.

Dalam menentukan kebutuhan air irigasi didasarkan pada Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi (KP-01) yang mengacu pada ketetapan Pekerjaan Umum tahun 1986. Menurut (Pekerjaan Umum, 1986) menghitung besarnya kebutuhan air irigasi padi ditentukan oleh faktor-faktor seperti curah hujan efektif, perkolasi dan rembesan, penggunaan air konsumtif, masa penyiapan lahan, penggantian lapis air, efisiensi irigasi dan pola tanam.

Perhitungan kebutuhan air irigasi juga akan bergantung pada pola pembagian air di sawah apakah diambil periode 1 bulanan, 15 harian atau 10

harian, sesuai dengan periode operasi pintu air DI (Daerah Irigasi) yang ada di lapangan. Dengan memperhitungkan tingkat efektifitas dan efisiensi pola pembagian air di pintu air dan juga sesuai dengan pola operasi sistem irigasi, maka perhitungan kebutuhan air irigasi akan dihitung berdasarkan periode 15 harian mengingat periode ini cukup efektif dan efisien untuk dilaksanakan pada pola operasi pintu-pintu air di tingkat DI.

### **2.2.1 Evapotranspirasi**

Evapotranspirasi adalah jumlah air total yang dikembalikan lagi ke atmosfer dari permukaan tanah, badan air dan vegetasi oleh adanya pengaruh faktor-faktor iklim dan fisiologis vegetasi (Asdak, 2002). Sesuai dengan namanya evapotranspirasi merupakan gabungan antara proses-proses evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses penguapan, yaitu perubahan dari zat cair menjadi uap air dari tanah dan badan-badan air (abiotik). Sedangkan transpirasi adalah keluarnya air dari tanaman (biotik) akibat proses respirasi dan fotosintesis yang akhirnya menguap ke atmosfer. Kombinasi dua proses yang saling terpisah dimana kehilangan air dari permukaan tanah melalui proses evaporasi dan kehilangan air dari tanaman melalui proses transpirasi disebut sebagai evapotranspirasi (ET). Evapotranspirasi terjadi pada siang hari ketika keberadaan matahari menyebabkan air dari tanah dan pada tumbuhan menguap. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya evapotranspirasi diantaranya adalah faktor iklim seperti temperatur, kecepatan angin, kelembapan udara, radiasi matahari.

Untuk perhitungan evapotranspirasi pada KP-01 menggunakan metode Penman Modifikasi, sedangkan pada *CROPWAT 8.0* menggunakan metode Penman Monteith yang merupakan pengembangan dari metode Penman

Modifikasi dan hasilnya lebih mendekati nilai setempat dibanding hasil perhitungan menggunakan metode Penman Modifikasi. Dalam mencari nilai evapotranspirasi dihitung menggunakan rumus perhitungan evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) dengan menggunakan Metode Penman Modifikasi. Metode Penman Modifikasi merupakan metode yang direkomendasikan oleh FAO (*Food and Agriculture Organization of United Nation*) sebagai referensi untuk menghitung kebutuhan air padi dan palawija.

Metode Penman Modifikasi :

$$ET_o = C \times (W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)) \quad (2.1)$$

Dimana:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspirasi acuan (mm/hari)

C = Faktor koreksi (Faktor penyesuaian kondisi cuaca akibat siang dan malam)

W = Bobot faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (mengacu tabel Penman hubungan antara temperatur dan ketinggian)

R<sub>n</sub> = Net radiasi equivalen / Radiasi penyinaran matahari (mm/hari)

(1-W) = Faktor berat sebagai pengaruh angin dan kelembapan

f(u) = Faktor yang tergantung dari kecepatan angin/fungsi relatif angin (km/hr)

e<sub>a</sub> = Tekanan uap jenuh pada suhu t °C (mbar)

e<sub>d</sub> = Tekanan uap nyata (mbar)

(e<sub>a</sub>-e<sub>d</sub>) = Perbedaan tekanan uap jenuh dan tekanan uap nyata (mbar)

Beberapa variabel perlu dicari nilainya terlebih dahulu untuk dapat menyelesaikan perhitungan evapotranspirasi dengan rumus diatas, variabel-variabel tersebut yaitu:

1. Karena iklim tidak selalu tetap maka Penman memberikan nilai koreksi atau faktor penyesuaian (C) dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Adjustment* Faktor Koreksi (C) bulanan

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
C	1,1	1,1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1,1	1,1	1,1	1,1

Sumber: Suroso A., 2011

2. Faktor berat yang mempengaruhi penyinaran matahari (W)

Faktor berat W merupakan berat yang mempengaruhi penyinaran matahari pada evapotranspirasi potensial. Faktor berat (W) adalah hubungan antara temperatur dengan ketinggian atau secara matematis dirumuskan:

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (2.2)$$

Keterangan:

W = Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari

$\Delta$  = Gradien perubahan tekanan uap terhadap perubahan temperatur

$\gamma$  = Konstanta *psychometric*

Besarnya nilai W juga dapat diketahui menggunakan Tabel 2.3 yang diambil berdasarkan ketinggian dan temperatur daerah pengamatan.

Tabel 2.3 Hubungan Faktor Penimbang (W) untuk Efek Radiasi

Temperatur °c	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Ketinggian (z) m</b>										
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	0,6	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
3000	0,52	0,52	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75
4000	0,54	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77

Temperatur °c	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
<b>Ketinggian (z) m</b>										
0	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,8	0,82	0,83	0,84	0,85
500	0,72	0,74	0,76	0,76	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
1000	0,73	0,75	0,77	0,79	0,8	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
3000	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
4000	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89	0,90	0,90

Sumber: Hadiusanto dalam Oktawirawan, 2015

### 3. Tekanan uap jenuh (ea)

Nilai tekanan uap jenuh (ea) dipengaruhi oleh temperatur, untuk mencari nilainya menggunakan Tabel tekanan uap jenuh (ea) menurut temperatur udara rata-rata, dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Tekanan uap jenuh (ea) menurut temperatur udara rata-rata

<b>Temperatur (°C)</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>ea (mbar)</b>	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,7	9,3	10	10,7	11,5
<b>Temperatur (°C)</b>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>ea (mbar)</b>	12,3	13,1	14	15	16,1	17	18,2	19,4	20,6	22

<b>Temperatur (°C)</b>	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
<b>ea (mbar)</b>	23,4	24,9	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,7	37,8	40,1
<b>Temperatur (°C)</b>	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
<b>ea (mbar)</b>	42,4	44,9	47,6	50,3	53,2	56,2	59,4	62,8	66,3	69,9

Sumber : *FAO Irrigation And Drainage Paper 24, 1977*

#### 4. Tekanan Uap Sebenarnya (ed)

Nilai tekanan uap sebenarnya (ed) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$ed = ea \times (RH/100) \quad (2.3)$$

Keterangan:

ea = Tekanan uap jenuh (mbar)

ed = Tekanan uap nyata (mbar)

RH = Kelembapan udara relatif (%)

#### 5. Radiasi *Netto* (Rn)

Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hari). Menghitung Rn dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Rn = Rns - Rnl \quad (2.4)$$

Keterangan:

Rn = Penyinaran radiasi matahari (mm/hari)

Rns = Penyinaran matahari yang diserap oleh bumi atau radiasi *netto* gelombang pendek (mm/hari)

Rnl = Radiasi yang dipancarkan oleh bumi atau radiasi *netto* gelombang panjang (mm/hari)

- a. Penyinaran matahari yang diserap oleh bumi ( $R_{ns}$ )

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \times R_s \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\alpha$  = Presentase radiasi dipantulkan, pada metode ini diambil  $\alpha = 0,25$

$R_s$  = Radiasi gelombang pendek atau radiasi yang sampai ke bumi

(mm/hari)

$$R_s = (0,25 + 0,54 (n/N)) \times R_a \quad (2.6)$$

Keterangan:

$n/N$  = Intensitas penyinaran matahari (%)

$n$  = Lamanya penyinaran matahari (jam/hari)

$N$  = Lamanya penyinaran matahari menurut astronomi dalam suatu

Hari

$R_a$  = Nilai penyinaran matahari teoritis yang sampai pada lapisan

bagian atas atmosfer tergantung pada garis lintang (mm/hari)

dapat dilihat pada Tabel 2.4 Radiasi extra terestrial

Besarnya nilai  $R_a$  dalam satuan ekuivalen evaporasi mm/hari dapat dicari pada Tabel 2.5 sebagai berikut:

Tabel 2.5 Radiasi Extra Terrestrial (mm/hari)

Lintang Utara	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
0°	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2°	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
4°	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
6°	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
8°	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
10°	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
12°	12,8	13,9	15,1	15,7	15,7	15,5	15,5	15,6	15,2	14,4	13,3	12,5

Lintang Selatan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
0°	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2°	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4°	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6°	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8°	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10°	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12°	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5

Sumber : *FAO Irrigation And Drainage Paper 24, 1977*

b. Radiasi *Netto* Gelombang Panjang (Rn1)

Menghitung nilai radiasi yang di pancarkan oleh bumi (Rn1) dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Rn1 = f(T) \times f(ed) \times f(n/N) \quad (2.7)$$

Keterangan:

$f(ed)$  = Fungsi tekanan uap air

$$f(ed) = 0,34 - 0,044(ed)^{0,5} \quad (2.8)$$

Dimana:

ed = Tekanan uap nyata (mbar)

$f(n/N)$  = Fungsi rasio lama penyinaran matahari

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9(n/N) \quad (2.9)$$

Dimana:

n/N = Rasio lama penyinaran matahari

$f(n/N)$  = Fungsi rasio lama penyinaran matahari

$f(T)$  = Fungsi Temperatur

Dimana nilai koreksi akibat temperatur  $f(T)$ , dapat dilihat pada Tabel

2.6.

Tabel 2.6 Pengaruh Temperatur Udara  $f(T)$  pada radiasi gelombang

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

Sumber: Hadiyanto dalam Oktawirawan, 2015

6. Fungsi kecepatan angin ( $f(U)$ )

$$f(U) = 0,27 \times \left(1 + \frac{U_2}{100}\right) \quad (2.10)$$

Keterangan:

$f(U)$  = Fungsi pengaruh kecepatan angin (km/hari)

$U_2$  = Kecepatan angin di ketinggian 2 meter, selama 24 jam (km/jam)

7. Koefisien albedo dapat ditentukan dengan sifat permukaan seperti pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Koefisien Albedo

<b>Jenis Permukaan</b>	<b>Albedo (a)</b>
Air Terbuka	0,05 - 0,15
Batuan	0,12 - 0,15
Pasir	0,10 - 0,20
Tanah Kering	0,14
Tanah Basah	0,08 - 0,09
Hutan	0,05 - 0,20
Rumput	0,10 - 0,33
Rumput Kering	0,15 - 0,25
Salju	0,9
Es	0,40 - 0,50
Tanaman	0,2

## 2.2.2 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah dasar selama periode tertentu yang di ukur dengan satuan tinggi milimeter diatas permukaan horizontal. Curah hujan dapat diartikan sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Jumlah curah hujan merupakan volume air yang terkumpul di permukaan bidang datar dalam suatu periode tertentu (harian, mingguan, bulanan dan tahunan).

### 2.2.2.1 Curah Hujan Rata-Rata

Menurut (Sosrodarsono & Takeda, 2003) analisis curah hujan rata-rata dimaksudkan untuk memperoleh besar curah hujan daerah yang diperlukan untuk perhitungan curah rencana. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam perhitungan curah hujan daerah. Metode tersebut diantaranya adalah metode rata-rata aljabar, metode poligon Thiessen, dan metode Isohyet.

#### a. Cara Rata – Rata Aljabar

Cara perhitungan rata-rata aljabar adalah cara yang paling sederhana. Metode ini biasanya digunakan untuk daerah yang datar, dengan jumlah pos curah hujan yang cukup banyak dan dengan anggapan bahwa curah hujan di daerah tersebut cenderung bersifat seragam. Curah hujan daerah metode rata-rata aljabar dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2.11)$$

Dimana:

R = Curah hujan daerah (mm)

n = Jumlah titik – titik (pos pengamatan)

$R_1, R_2, R_n$  = Curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

Hasil yang diperoleh dengan cara ini tidak berbeda jauh dari hasil yang didapatkan dengan cara lain, jika titik pengamatan itu banyak dan tersebar merata di seluruh daerah itu. Keuntungan cara ini ialah bahwa cara ini adalah obyektif yang berbeda dengan umpama cara isohyet, dimana factor subyektif turut menentukan (Sosrodarsono & Takeda, 2003).

#### 2.2.2.2 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan bagian dari curah hujan yang efektif dalam suatu proses hidrologi yang bisa untuk dimanfaatkan misalnya pemakaian oleh tanaman (Kementerian Pekerjaan Umum KP-01, 2013).

Curah hujan efektif ditentukan besarnya  $R_{80}$  yang merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80% atau dengan kata lain dilampauinya 8 kali kejadian dari 10 kali kejadian. Dengan kata lain bahwa besarnya curah hujan yang lebih kecil dari  $R_{80}$  mempunyai kemungkinan hanya 20%.

Bila dinyatakan dengan rumus adalah sebagai berikut:

$$R_{80} = \frac{m}{n + 1} \rightarrow m = R_{80} \times (n + 1) \quad (2.12)$$

$R_{80}$  = curah hujan sebesar 80%

Dimana:

$n$  = jumlah data

$m$  = rangking curah hujan yang dipilih

Curah hujan efektif untuk padi adalah 70% dari curah hujan tengah bulanan yang terlampaui 80% dari waktu periode tersebut. Untuk curah hujan

efektif palawija ditentukan dengan periode bulanan (terpenuhi 50%) dikaitkan dengan tabel ET tanaman rata-rata bulanan dan curah hujan rata-rata bulanan (*USDA(SCS), 1696*).

Untuk padi:

$$Re \text{ Padi} = 0,7 \times R_{80}/15 \text{ (untuk setengah bulanan)} \quad (2.13)$$

Untuk palawija:

$$Re \text{ Palawija} = 0,5 \times R_{80}/15 \text{ (untuk setengah bulanan)} \quad (2.14)$$

Dimana:

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

R<sub>80</sub> = curah hujan dengan kemungkinan terjadi sebesar 80%

### 2.2.3 Penyiapan Lahan (LP)

Penyiapan lahan (*Land Preparation*) untuk padi dimaksudkan untuk penjenuhan tanah dan penstabil lapisan air sebelum penanam dimulai dan juga sebagai penyeimbang akibat adanya kehilangan yang diakibatkan oleh evaporasi dan perkolasi. Faktor-faktor penting yang menentukan kebutuhan air untuk penyiapan lahan adalah:

- a. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan penyiapan lahan.
- b. Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan

Untuk perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor, G. A. W., & Zijlstra (1968). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam ltr/dtk selama

periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus yang terdapat pada persamaan 2.15.

$$IR (Lp) = \frac{Me^k}{(e^k - 1)} \quad (2.15)$$

Dimana:

IR (Lp) = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hr)

e = Bilangan eksponen (2,7183)

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

$$M = E_o + P \quad (2.16)$$

Dimana:

E<sub>o</sub> = Evaporasi air terbuka yang diambil 1,1 E<sub>to</sub> selama penyiapan lahan (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

k = Konstanta

$$K = M \times T/S \quad (2.17)$$

T = Jangka waktu penyiapan lahan (hr)

S = Kebutuhan air untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm

Untuk petak tersier, jangka waktu yang dianjurkan untuk penyiapan lahan adalah 1,5 bulan. Bila penyiapan lahan terutama dilakukan dengan peralatan mesin, jangka waktu 1 bulan dapat dipertimbangkan. Kebutuhan air untuk pengolahan lahan sawah (*puddling*) bisa diambil 200 mm. Ini meliputi penjenuhan (*presaturation*) dan penggenangan sawah, pada awal transplantasi akan ditambahkan lapisan air 50 mm lagi. Angka 200 mm di atas mengandaikan bahwa

tanah itu bertekstur berat, cocok digenangi dan bahwa lahan itu belum bero (tidak ditanami) selama lebih dari 2,5 bulan. Jika tanah itu dibiarkan bero lebih lama lagi, ambillah 250 mm sebagai kebutuhan air untuk penyiapan lahan. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan termasuk kebutuhan air untuk persemaian (KP-01 2013). Lama periode pengolahan tanah 30 hari dan angka pengolahan tanah dapat diketahui menggunakan Tabel 2.8 berikut:

Tabel 2.8 Kebutuhan air irigasi selama pengolahan lahan

<b>E<sub>o</sub> + P (mm/hari)</b>	<b>T = 30 hari</b>		<b>T = 45 hari</b>	
	<b>S = 250 mm</b>	<b>S = 300 mm</b>	<b>S = 250 mm</b>	<b>S = 300 mm</b>
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 : *Perencanaan Jaringan Irigasi KP - 01, 2013*

#### 2.2.4 Penggunaan Air Konsumtif Tanaman (Etc)

Kebutuhan air konsumtif tanaman didefinisikan sebagai jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk memenuhi kehilangan air melalui evapotranspirasi pada suatu periode untuk dapat tumbuh dan produksi secara normal. Besarnya kebutuhan air tanaman dihitung menggunakan rumus :

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (2.18)$$

$E_{Tc}$  = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

$E_{To}$  = Evapotranspirasi tanaman (Penmann Modifikasi) (mm/hari)

$K_c$  = Koefisien tanaman. Nilai koefisien tanaman berbeda-beda tergantung jenis tanaman dan fase pertumbuhan.

#### a. Koefisien Tanaman ( $K_c$ )

Koefisien tanaman ( $K_c$ ) di berikan untuk menghubungkan  $E_{To}$  dengan  $E_{Tc}$  dan dipakai dalam rumus Penman Modifikasi. Koefisien yang dipakai tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan tanamannya. Besarnya nilai suatu koefisien tanaman ini merupakan faktor yang digunakan untuk mencari besarnya air yang habis terpakai untuk tanaman periode 15 harian. Koefisien tanaman yang digunakan adalah koefisien tanaman padi dengan berdasarkan nilai koefisien FAO. Koefisien tanaman berdasarkan Rumus Penman dimodifikasi dengan metode Nedeco/Prosida dan metode FAO dapat dilihat pada Tabel 2.9 dan 2.10.

Tabel 2.9 Harga Koefisien Tanaman Padi

Bulan sejak ditanam	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	0,00	1,05	0,00
3,5	1,12	-	0,95	-
4,0	0,00	-	0,00	-

Sumber : Perencanaan Jaringan Irigasi KP - 01, 2013

Tabel 2.10 Harga Koefisien Tanaman Palawija

Bulan Sejak ditanam	Kedelai	Jagung	Kacang Tanah	Bawang	Kacang Hijau
0,5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
1,0	0,75	0,59	0,51	0,51	0,64
1,5	1,00	0,96	0,66	0,69	0,89
2,0	1,00	1,05	0,85	0,90	0,95
2,5	0,82	1,02	0,95	0,95	0,88
3,0	0,45	0,95	0,95	-	-
3,5	-	-	0,95	-	-
4,0	-	-	0,95	-	-
4,5	-	-	0,95	-	-
5,0	-	-	0,55	-	-

Sumber : *Perencanaan Jaringan Irigasi KP - 01, 2013*

### 2.2.5 Perkolasi dan Rembesan (P)

Perkolasi diartikan sebagai kecepatan air yang meresap ke bawah atau ke samping tanah. Perkolasi merupakan faktor yang menentukan kebutuhan air tanaman (Etc = evaporasi konsumtif). Laju perkolasi pada petak sawah sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik area tanah persawahan tersebut.

Pada tanah-tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3 mm/hari. Pada tanah-tanah yang lebih ringan laju perkolasi bisa lebih tinggi (Soemarto, 1987).

Perembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah. Pada tanaman ladang, perkolasi air ke dalam lapisan tanah bawah hanya akan terjadi setelah pemberian air irigasi.

Tabel 2.11 Harga Perkolasi dari berbagai jenis tanah

<b>Macam Tanah</b>	<b>Perkolasi (mm/hari)</b>
<i>Sandy Loam</i>	3-6
<i>Loam</i>	2-3
<i>Clay</i>	1-2

Sumber: Soemarto, 1987

### 2.2.6 Pergantian Lapisan Air (WLR)

Penggantian lapisan air dilakukan setelah kegiatan pemupukan yang telah dijadwalkan. Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, maka penggantian lapisan air tersebut dilakukan sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm/bulan (sebanyak 1,67 mm/hari selama 1 bulan), diberikan sebulan setelah tanam dan dua bulan setelah transplantasi atau pemindahan tanaman.

### 2.2.7 Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah angka perbandingan dari jumlah debit air irigasi yang dipakai di sawah dengan jumlah debit air irigasi yang dialirkan dari intake dan dinyatakan dalam persen (%). Untuk tujuan-tujuan perencanaan, dianggap seperempat atau sepertiga dari jumlah air yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah. Kehilangan ini disebabkan oleh kegiatan eksploitasi, evaporasi dan rembesan selama pengalirannya menuju sawah. Efisiensi irigasi secara keseluruhan rata-rata berkisar antara 59 % - 73 %. Oleh karena itu kebutuhan air bersih di sawah (*NFR, Net Field Requirement*) harus dibagi efisiensi irigasi (*Ef*) untuk memperoleh jumlah air yang dibutuhkan di intake. Mengacu pada pedoman

Ditjen Pengairan (1986) umumnya kehilangan air di jaringan irigasi dapat dibagi-bagi sebagai berikut:

- 12,5 - 20 % di petak tersier, antara bangunan sadap tersier dan sawah
- 5 -10 % di saluran sekunder
- 5 -10 % di saluran utama

Sehingga dalam studi ini kehilangan air diasumsikan sebagai berikut:

- Saluran tersier = 20 %, sehingga efisiensi  $\approx$  80 %
- Saluran sekunder = 10 %, sehingga efisiensi  $\approx$  90 %
- Saluran utama = 10 %, sehingga efisiensi  $\approx$  90 %

Efisiensi secara keseluruhan dihitung sebagai berikut :

$$EI = e_t \times e_s \times e_p \quad (2.19)$$

Dengan:

$e_t$  = Efisiensi jaringan tersier

$e_s$  = Efisiensi jaringan sekunder

$e_p$  = Efisiensi jaringan primer

Sehingga efisiensi irigasi secara keseluruhan dalam studi ini ditetapkan sebesar 65 % atau 0,65.

### 2.2.8 Pola Tanam

Pola tanam merupakan perpaduan antara kebutuhan air dengan ketersediaan air irigasi, kita berusaha mengatur waktu, tempat jenis dan luas penanaman saat musim hujan dan kemarau di sertai penggunaan air yang efisien untuk mendapat produksi semaksimal mungkin.

Hal –hal yang perlukan dalam perencanaan pola tanam:

1. Pola tanam harus bisa mengoptimalkan pemakaian air dari sumber air yang tersedia.
2. Pola harus praktis dan cocok berdasarkan kemampuan dan lingkungan yang ada.
3. Pola tanam harus membawa keuntungan semaksimal mungkin bagi petani.

Untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman, penentuan pola tanam merupakan hal yang perlu dipertimbangkan. Tabel dibawah ini merupakan contoh pola tanam yang dapat dipakai.

Tabel 2.12 Pola Tanam

<b>Ketersediaan air untuk jaringan irigasi</b>	<b>Pola tanam dalam satu tahun</b>
Tersedia air cukup banyak	Padi - Padi - Palawija
Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi - Padi - Bera Padi - Palawija - Palawija
Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi - Palawija - Bera Palawija - Padi - Bera

Sumber: S.K. Sidharta, *Irigasi dan Bangunan Air*, 1997

### 2.2.9 Kebutuhan Bersih Air Disawah (NFR)

Kebutuhan Air disawah (*Net Field Requirement/NFR*) adalah Kebutuhan air yang dibutuhkan untuk tanaman untuk pertumbuhan yang optimal pada suatu jaringan irigasi tanpa kekurangan air. Besarnya kebutuhan air irigasi pada setiap tanaman berbeda sesuai dengan jenis dan tingkat pertumbuhannya. Berikut adalah analisis kebutuhan air irigasi untuk padi dan palawija:

a. Kebutuhan bersih air di sawah untuk padi

Padi merupakan jenis tanaman yang membutuhkan banyak air dalam pertumbuhannya. Pada usaha tanam padi, kegiatan di sawah dimulai dari penggarapan tanah, yang memerlukan jumlah air yang besar. Disamping itu perlu sejumlah air untuk masa persemaian atau pembibitan. Berkaitan dengan hal tersebut, maka kebutuhan air bersih untuk padi di sawah (*paddy water requirements*) dihitung berdasarkan pada persamaan 2.20.

$$\text{NFR} = \text{ETc} + \text{P} + \text{WLR} - \text{Re} \quad (2.20)$$

Dimana:

NFR = *Netto Field Water Requirement* (kebutuhan bersih air disawah (mm/hari))

ETc = Penggunaan air konsumtif tanaman (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

WLR = Penggantian lapisan air (mm/hari)

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

Re = Curah hujan efektif (mm/hari)

b. Kebutuhan air irigasi di pintu pengambilan (*Intake*)

Kebutuhan pengambilan air irigasi di pintu pengambilan merupakan jumlah kebutuhan air di sawah yang ditentukan dengan memperhitungkan faktor efisiensi irigasi secara keseluruhan dan luas areal irigasi. Kebutuhan pengambilan air irigasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{DR} = \frac{\text{NFR}}{\text{EI} \times 8,64} \quad (2.21)$$

Dimana:

DR = Kebutuhan air di pintu pengambilan (lt/dt/ha)

NFR = Kebutuhan bersih air di sawah (mm/hari)

EI = Efisiensi rigasi = 65% atau 0,65

$\frac{1}{8,64}$  = Angka Konversi dari mm/hari ke lt/dt/ha

### 2.3 Analisis Kebutuhan Air Irigasi dengan Program *CROPWAT* 8.0

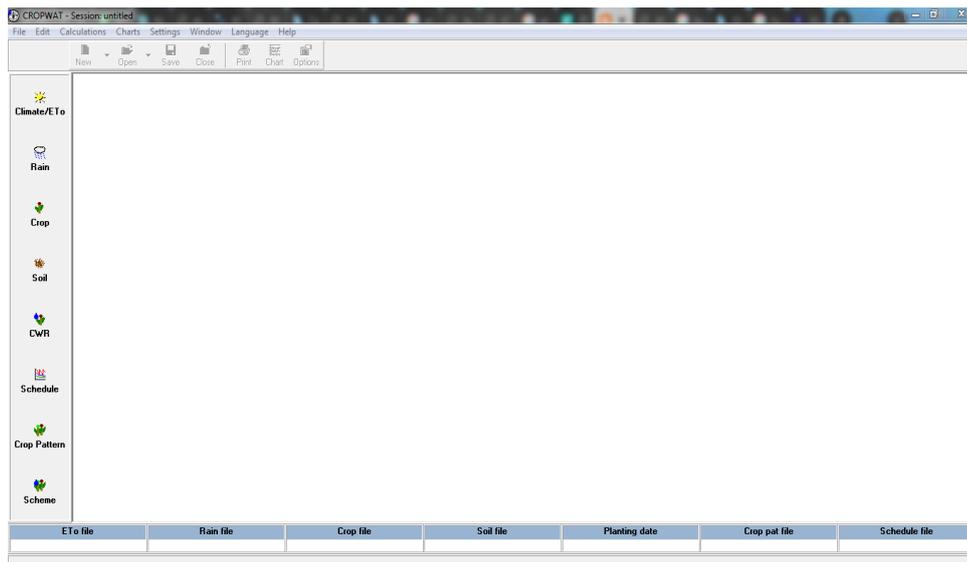
*CROPWAT* adalah *decision support system* yang dikembangkan oleh Divisi *Land and Water Development* FAO (*Food and Agriculture Organization*). *CROPWAT* merupakan program berbasis *windows* yang mengacu pada metode Penman-Monteith, untuk merencanakan dan mengatur irigasi berdasarkan tanah, iklim dan data tanaman. *CROPWAT* dimaksudkan sebagai alat yang praktis untuk menghitung laju evapotranspirasi potensial, evapotranspirasi aktual, kebutuhan air irigasi satu jenis tanaman maupun beberapa jenis tanaman dalam satu hamparan, serta merencanakan pemberian air irigasi.

Data yang diperlukan untuk mengoperasikan *CROPWAT* adalah data klimatologi bulanan (temperatur maksimum-minimum atau rata-rata, penyinaran matahari, kelembaban, kecepatan angin dan curah hujan). Data tanaman tersedia dalam program secara terbatas dan dapat ditambahkan atau dimodifikasi sesuai dengan kondisi setempat.

Beberapa studi didapatkan bahwa model Penmann-Monteith memberikan pendugaan yang akurat sehingga FAO merekomendasikan penggunaannya untuk pendugaan laju evapotranspirasi standar dalam menduga kebutuhan air bagi tanaman (Tumiar, dkk, 2012).

Penggunaan program *CROPWAT version 8.0* ini hanya sebatas sampai menghitung kebutuhan air irigasi saja dan tidak sampai diluar dari hal tersebut.

Berikut merupakan gambar tampilan awal dari Program *CROPWAT 8.0* :



Gambar 2.1 Tampilan Awal dari Program *CROPWAT* 8.0

### 2.3.1 Data Input Program *CROPWAT* 8.0

Data yang dapat dicari pada *CROPWAT* diantaranya adalah sebagai berikut:

#### 1. Data *Climate*

Pada data *Climate/ETo* dari tabelnya menyajikan tabel data *Country*, *Station*, *Altitude*, *Latitude*, *Longitude*, temperatur minimum, temperature maksimum, kelembaban, kecepatan angin, lama penyinaran, radiasi untuk menentukan nilai evapotranspirasi tanaman potensial (*ETo*) melalui persamaan Penman- Monteith.

Proses perhitungan data klimatologi dalam *CROPWAT* 8.0 secara otomatis menggunakan metode Penman Monteith. Rumus perhitungan evapotranspirasi potensial (*Eto*) dengan menggunakan rumus Penman Monteith adalah sebagai berikut:

$$E_{To} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2.22)$$

Keterangan :

$E_{To}$  = Evapotranspirasi acuan (mm/hari),

$R_n$  = Radiasi netto pada permukaan tanaman ( $MJ/m^2/hari$ ),

$G$  = Kerapatan panas terus-menerus pada tanah ( $MJ/m^2/hari$ ),

$T$  = Temperatur harian rata-rata pada ketinggian 2 m ( $^{\circ}C$ ),

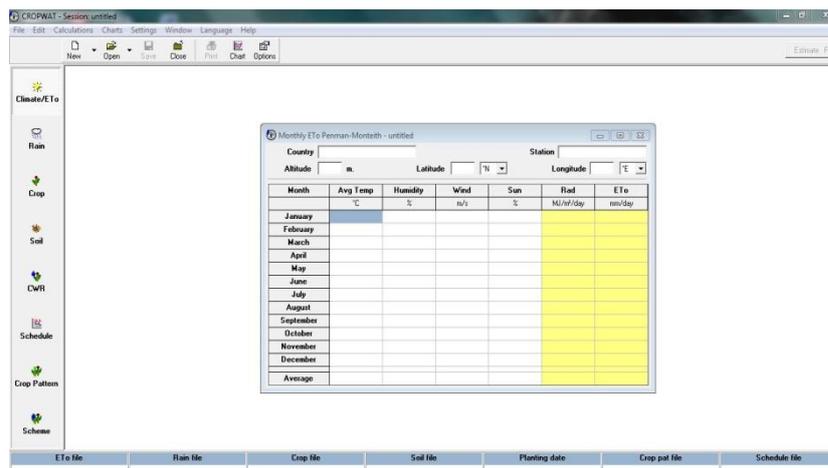
$U_2$  = Kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/s),

$e_s$  = Tekanan uap jenuh (kPa),

$e_a$  = Tekanan uap aktual (kPa),

$\Delta$  = Kurva kemiringan tekanan uap ( $kPa/^{\circ}C$ ),

$\gamma$  = Konstanta psychrometric ( $kPa/^{\circ}C$ ).

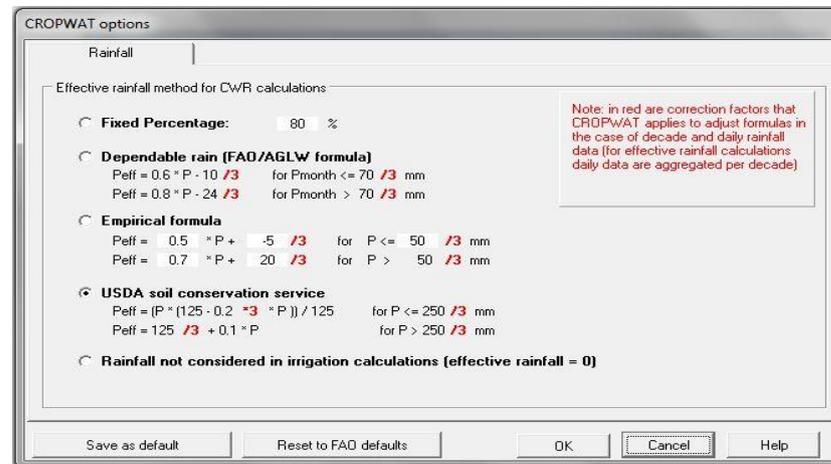


Gambar 2.2 Tampilan Kotak Informasi Isian *Climate/Eto*

## 2. Data Rain

Data *Rain* atau curah hujan pada cropwat menyajikan tabel data curah hujan dalam mm, serta hujan efektif dalam mm dari bulan januari sampai

dengan bulan desember. Sehingga di dapat total hujan dan hujan efektif selama satu tahun. Dalam *CROPWAT* 8.0 terdapat empat metode untuk menghitung hujan efektif diantaranya sebagai berikut:



Gambar 2.3 Tampilan Informasi Metode Perhitungan Hujan Efektif

- Nilai Persentase Tertentu (*Fixed Percentage*)

$$P = a \times P_{total} \quad (2.23)$$

Pada metode fixed percentage penetapan hujan efektif didasarkan pada nilai presentase tertentu dari hujan bulanan (*fixed percentage*) dengan nilai  $a = 0,7-0,9$ .

- Hujan Andalan (*Dependable Rain*)

Hujan Andalan yaitu hujan dengan peluang terlewat 80% menggambarkan kondisi tahun kering. Secara empiris menurut FAO hujan efektif ditentukan dengan:

$$P_e = 0,6(P - 10) , \text{ untuk } P_{tot} < 70 \text{ mm} \quad (2.24)$$

$$P_e = 0,6(P - 24) , \text{ untuk } P_{tot} > 70 \text{ mm} \quad (2.25)$$

Keterangan :

$P_e$  = Hujan Efektif (mm/bulan)

$P$  = Curah hujan bulanan (mm/bulan)

- Rumus Empiris

Rumus empiris dikembangkan berdasarkan penelitian secara lokal, untuk Indonesia peluang hujan terlewati adalah 75%. Sehingga dapat dinyatakan dengan:

$$P_e = a (P + b) , \text{ untuk } P_{\text{tot}} < z \text{ mm} \quad (2.26)$$

$$P_e = c (P + d) , \text{ untuk } P_{\text{tot}} > z \text{ mm} \quad (2.27)$$

Keterangan :

$P_e$  = Hujan Efektif

$a, b, c, d, z$  = Koefisien korelasi

- *USDA Soil Conservation Service Method*

Perhitungan hujan efektif dengan menggunakan metode ini dihitung berdasarkan rumus berikut ini :

$$P_e = P_{\text{tot}} \times \frac{125 - 0,2P_{\text{tot}}}{125} , \text{ untuk } P_{\text{total}} < 250 \text{ mm} \quad (2.28)$$

$$P_e = 125 + 0,1 \times P_{\text{tot}} , \text{ untuk } P_{\text{total}} > 250 \text{ mm} \quad (2.29)$$

Keterangan :

$P_e$  = Hujan Efektif (mm)

$P_{\text{tot}}$  = hujan total (mm)

Berikut merupakan gambar tampilan kotak isian *Rain* pada *CROPWAT* 8.0 dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Monthly rain - untitled

Station  Eff. rain method **USDA S.C. Method**

	Rain	Eff rain
	mm	mm
January		
February		
March		
April		
May		
June		
July		
August		
September		
October		
November		
December		
Total		

Gambar 2.4 Tampilan Kotak Isian Hujan Efektif

### 3. Data *Crop*

Data *Crop* atau data tanaman berupa periode pertumbuhan tanaman, koefisien tanaman ( $K_c$ ), kedalaman perakaran tanaman, deplesi kritis, faktor resopons hail, tinggi tanaman, tanggal penanaman, dan luas areal tanam.

- Periode pertumbuhan tanaman

- a. Periode pembibitan

Waktu yang dibutuhkan untuk perkecambahan dan perkembangan bibit awal.

- b. Periode pengolahan tanah

Waktu yang dibutuhkan untuk pengolahan tanah termasuk pada waktu perlumpuran dan penggenangan.

- c. Periode Awal

Waktu yang dibutuhkan tanaman dari proses pemindahan bibit ke sawah hingga penutupan lahan sekitar 10%.

- d. Periode perkembangan

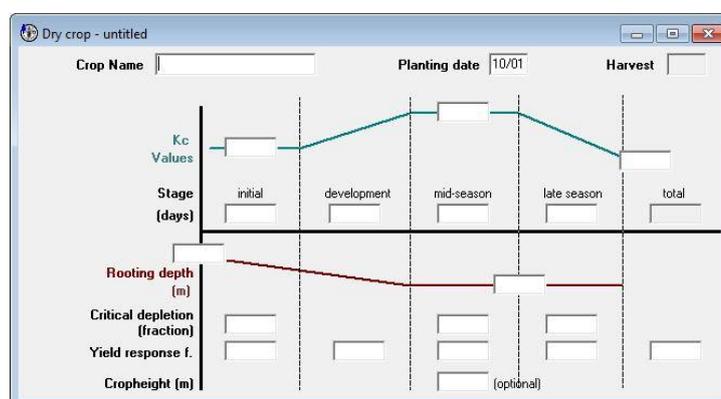
Tahap ini berlangsung dari penutupan lahan 10% hingga penutupan lahan penuh efektif. Tahap ini ditandai dengan proses pembungaan.

e. Periode pertengahan musim

Periode ini berlangsung dari penutupan lahan penuh efektif hingga periode awal kedewasaan tanaman (penguningan).

f. Periode akhir

Periode ini berlangsung dari awal kedewasaan (penguningan) hingga panen.



Gambar 2.5 Tampilan Kotak Isian *Crop*/Tanaman

- Koefisien Tanaman (Kc)

Koefisien tanaman sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman dan nilainya bervariasi selama tahap pertumbuhan tanaman karena dipengaruhi oleh penutup tanah, tinggi tanaman dan perubahan luas daun sebagai perkembangan tanaman. *CROPWAT* 8.0 menggunakan koefisien tanaman sebanyak dua selama tahap pertumbuhan tanaman padi, yaitu Kc basah dan Kc kering. Kc basah digunakan pada saat adanya penggenangan air di permukaan tanah, sedangkan Kc kering digunakan ketika tidak ada air di

atas tanah. Koefisien tanaman dibutuhkan pada tahap awal, tengah dan akhir. Koefisien tanaman padi yang umum digunakan pada tahap pertumbuhan padi ada pada tabel berikut ini.

Tabel 2.13 Koefisien Tanaman Padi (Kc)

<b>Tahap</b>	<b>Kc</b>
Awal ( <i>Initial</i> )	1,1 - 1,15
Perkembangan ( <i>development</i> )	1,1 - 1,15
Pertengahan ( <i>middle</i> )	1,1 - 1,3
Akhir ( <i>late</i> )	0,95 - 1,05

Sumber: FAO-ID No 33, 1979

Nilai Kc rata-rata diduga melalui interpolasi linier pada nilai Kc tiap fase pertumbuhan tanaman. Nilai Kc dihitung sebagai:

$$\overline{Kc} = Kc \times \text{Areal yang tertutup tanaman} \quad (2.30)$$

Keterangan :

$\overline{Kc}$  = Koefisien tanaman rata-rata

Kc = Koefisien tanaman

Sehingga jika areal yang digunakan sebesar 50% total area maka nilai Kc menjadi  $\frac{1}{2}$  dari nilai Kc yang ada pada data.

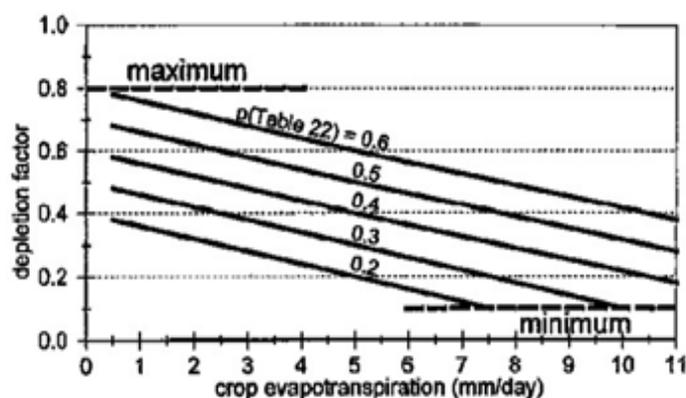
- Kedalaman Perakaran Tanaman (D)

Kedalaman perakaran merupakan tanaman untuk mengambil air tanah guna memenuhi kebutuhan air tanaman selama periode pertumbuhan. *CROPWAT* 8.0 memerlukan dua nilai perkiraan kedalaman perakaran selama masa pertumbuhan, yaitu kedalaman perakaran tahap awal dan kedalaman perakaran pada tahap pengembangan pertengahan musim. Kedalaman perakaran tahap awal sekitar 0,1-0,3 meter sebagai

kedalaman tanah efektif. Pada tahap pengembangan kedalaman perakaran bervariasi antara 0,5-1 meter. Pada *CROPWAT* 8.0 kedalaman perakaran yang digunakan adalah 0,1 meter pada tahap awal dan 0,6 meter pada tahap perkembangan.

- Deplesi Kritis ( $p$ )

Deplesi kritis adalah tingkat kelembapan tanah kritis dimana kekeringan pertama terjadi mempengaruhi evapotranspirasi tanaman dan produksi tanaman. Nilai deplesi kritis dinyatakan sebagai bagian dari total air tersedia (TAW) dengan variasi nilai 0,2-0,6. Nilai deplesi kritis yang lebih rendah digunakan untuk tanaman sensitif dengan sistem perakaran terbatas dan kondisi evapotranspirasi tinggi. Nilai deplesi kritis yang lebih tinggi digunakan untuk tanaman perakaran dalam dengan tingkat penguapan rendah. Penggunaan faktor deplesi kritis untuk tanaman padi adalah 0,2 sesuai dengan ketetapan FAO yang dijelaskan dalam paper *Irigasi dan Drainase no 56*. Perbandingan faktor deplesi terhadap evapotranspirasi tanaman dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik Hubungan Faktor Deplesi dengan Evapotranspirasi Tanaman

Sumber: *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*

- Faktor Respons Hail ( $K_y$ )

Kemungkinan penurunan produksi tanaman dihitung berdasarkan pada derajat depleksi lengas tanah untuk pemenuhan kebutuhan evapotranspirasi tanaman. Kemungkinan penurunan tersebut dihitung dengan persamaan:

$$\left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] = K_y \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right] \quad (2.31)$$

$$\left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] = 1 - \left[\frac{Y_a}{Y_m}\right]_1 \times \left[\frac{Y_a}{Y_m}\right]_2 \times \dots \times \left[\frac{Y_a}{Y_m}\right]_i \quad (2.32)$$

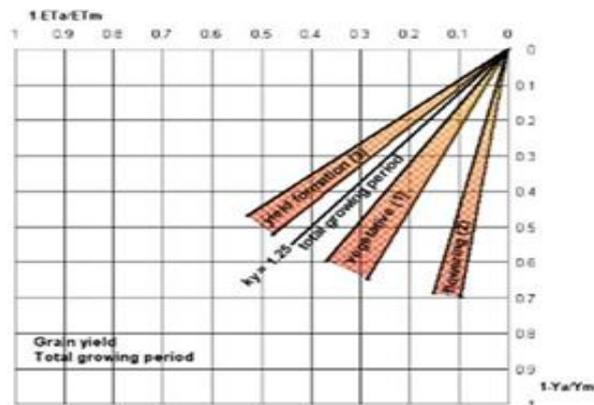
Dimana,

$i$  = Fase pertumbuhan tanaman

$K_y$  = Faktor reduksi hasil tanaman

$Y_a, ET_a$  = Hasil dan evapotranspirasi tanaman aktual

$Y_m, ET_m$  = Hasil dan evapotranspirasi tanaman potensial



Gambar 2.7 Grafik Hubungan antara Evapotranspirasi dengan Hasil

Produksi ( $K_y$ )

Sumber: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56

- Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman yang dibutuhkan dalam *CROPWAT* 8.0 bersifat sesuai dengan jenis tanaman. Untuk tanaman padi tinggi tanaman dipilih satu meter.

- Tanggal Penanaman

- Luas Areal Tanam (0-100% dari luas total areal)

Area pembibitan merupakan daerah yang mencakup pembibitan padi untuk perkecambahan dan perkembangan bibit awal yang menempati sebagian kecil daerah total yang di budidayakan, yaitu sekitar 5-15%. Ketepatan standar daerah pembibitan pada *CROPWAT* 8.0 sekitar 10% dari luas wilayah.

#### 4. Data *Soil*

Data *Soil* berisi data tanah yang dibutuhkan dalam Penentuan jadwal irigasi (*schedulling*), antara lain:

- Tipe tanah yang meliputi total air tersedia, kedalaman perakaran maksimum, deplesi lengas tanah awal (% dari kadar lengas total tersedia).
- Ketebalan pemberian air yang dikehendaki.

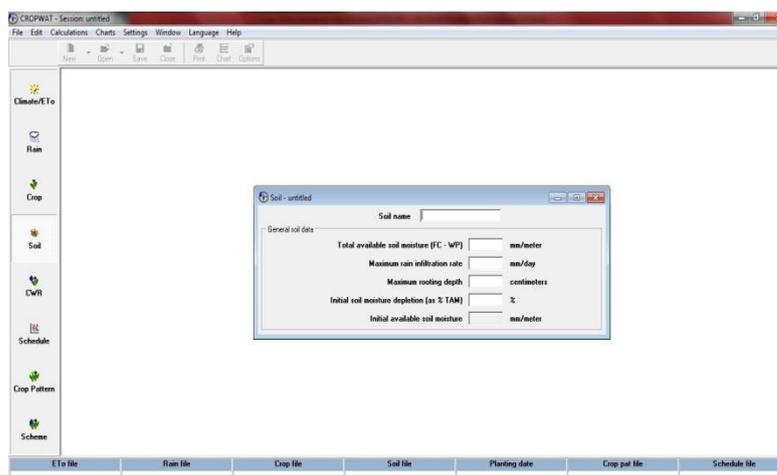
Dalam *CROPWAT* 8.0 juga tersedia data berupa tipe-tipe tanah yang telah disesuaikan dengan keadaan tanah pada umumnya dapat dilihat pada tabel 2.14.

Tabel 2.14 Tipe-tipe tanah yang terdapat dalam database FAO secara umum

<i>Parameter</i>	<i>Black Clay Soil</i>	<i>Red Sandy Loam</i>	<i>Red Sandy</i>	<i>Red Loamy</i>
<i>Total available soil moisture (FC-WP), mm/m</i>	200	140	100	180
<i>Maximum rain infiltration rate, mm/hari</i>	30	30	30	30
<i>Maximum rooting depth, cm</i>	900	900	900	900
<i>Initial soil moisture depletion (%TAM)</i>	50	0	0	0
<i>Initial available soil moisture, mm</i>	100	140	100	180
<i>Rice:</i>				
<i>Drainable porosity, %</i>	10			
<i>Critical depletion for puddle cracking, mm/hari</i>	0,6			
<i>Water availability at planting, mmWD</i>	5			
<i>Maximum waterdepth, mm</i>	120			

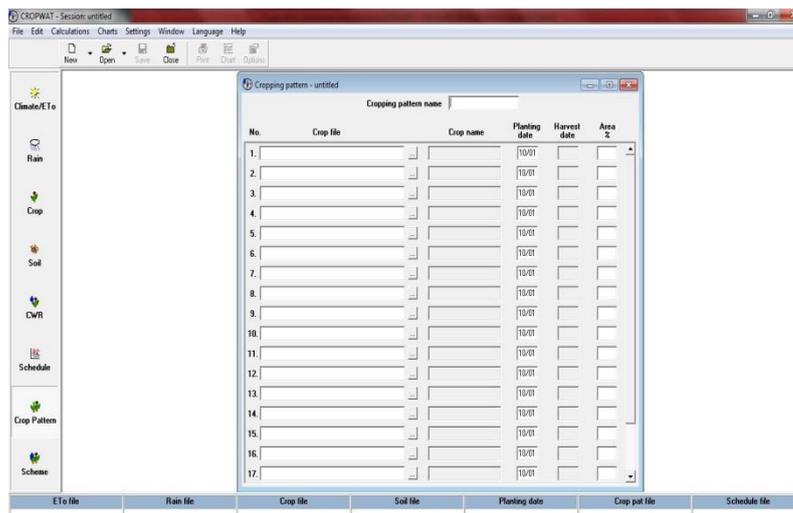
Sumber: Program CROPWAT 8.0

Berikut tampilan kotak isian data *soil* pada CROPWAT 8.0 dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Gambar 2.8 Tampilan Kotak Isian Data *Soil*/tanah

## 5. Data Pola Tanam

Yaitu data pola tanam yang berlaku di lokasi studi yang terkait dengan tanggal awal tanam dan luas areal. Tampilan kotak isian data pola tanam dapat dilihat pada Gambar 2.9.

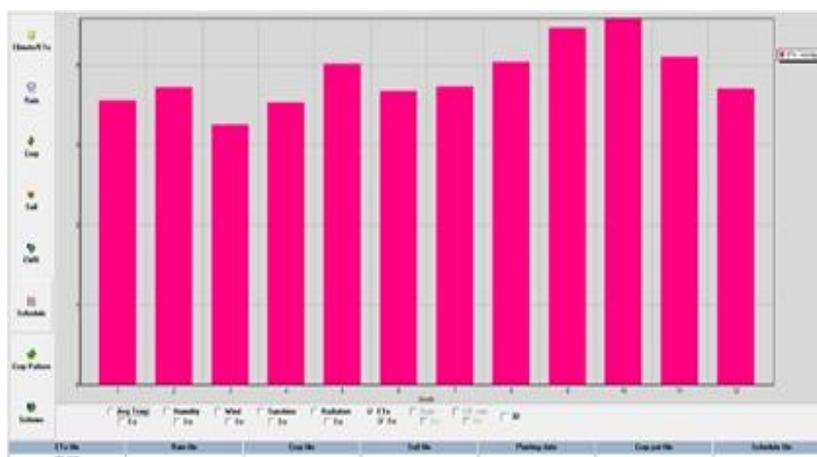


Gambar 2.9 Tampilan Kotak Isian Data Pola Tanam

### 2.3.2 Data Output Program *CROPWAT 8.0*

Data yang dihasilkan dari analisis program *CROPWAT 8.0* berupa tabel dan grafik. Hasil analisa dapat dilihat dalam bentuk interval harian, 10 harian atau bulanan. Data yang dihasilkan simulasi *CROPWAT 8.0* antara lain:

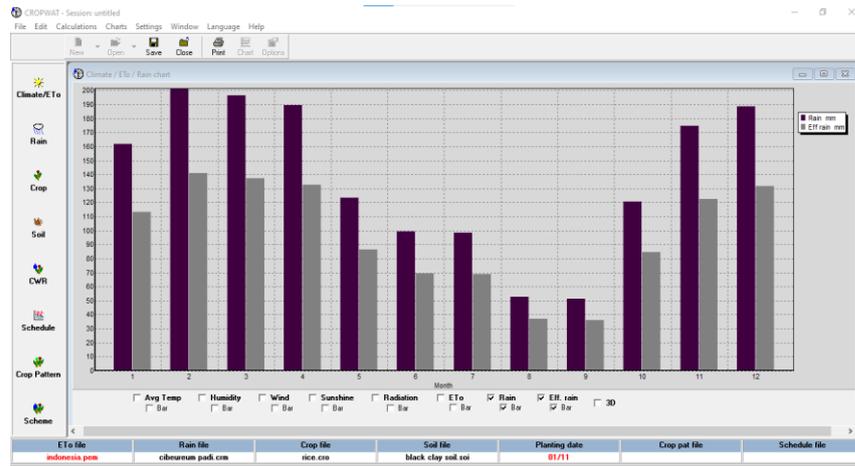
1. Evapotranspirasi tanaman potensial, ETo (mm/periode)



Gambar 2.10 Tampilan Grafik untuk Hasil Evapotranspirasi Potensial (Eto)

2. Kc tanaman, nilai rata-rata dari koefisien tanaman untuk setiap periode

3. Curah hujan efektif (mm/periode), jumlah air yang masuk ke dalam tanah



Gambar 2.11 Tampilan Grafik Curah Hujan Efektif

4. Kebutuhan air tanaman, CWR atau ET<sub>m</sub> (mm/periode) dan kebutuhan air irigasi, IWR (mm/periode)

Kebutuhan air tanaman (*Crop Water Requirement, CWR*) dihitung dengan persamaan berikut:

$$CWR = ETo \times Kc \times \text{Luas Areal Tanam} \quad (2.33)$$

Keterangan:

CWR = Kebutuhan Air Tanaman

Eto = Evapotranspirasi acuan

Kc = Koefisien Tanaman

Setelah simulasi jadwal irigasi selesai, selanjutnya *CROPWAT 8.0* mengestimasi kebutuhan air irigasi bulanan untuk areal irigasi berdasarkan pola tanam, persamaan yang digunakan:

$$IWR = \frac{1}{ep \times t} \times \left[ 0,11 \times A_{\text{scheme}} \times \sum_{i=1}^i (Et_{\text{crop}} - P_{\text{eff}}) \times \frac{A_{\text{crop}}}{A_{\text{scheme}}} \right] \quad (2.34)$$

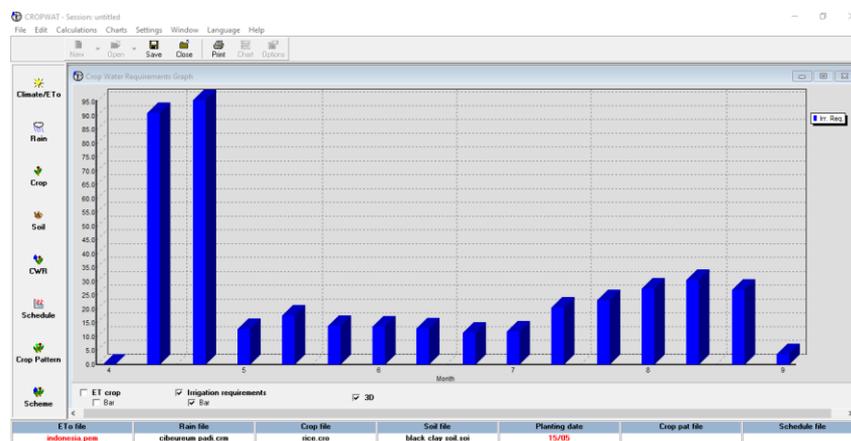
Keterangan:

$IWR$	=	Kebutuhan air irigasi bulanan, (liter/detik)
$E_p$	=	Efisiensi irigasi, ( $\leq 1$ , tak berdimensi)
$t$	=	Faktor waktu operasional, ( $\leq 1$ , tak berdimensi)
$i$	=	Indeks tanaman dalam pola tanam
$A_{crop}$	=	Luas tanaman (ha)
$A_{scheme}$	=	Total luas area irigasi (ha)
$ET_{crop}$	=	Evapotranspirasi tanaman, (mm/hari)
$P_{eff}$	=	Hujan efektif, (mm/hari)



Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Oct	1	Nurs	1.20	0.67	6.1	0.8	5.1
Oct	2	Nurs/LPr	1.08	5.49	54.9	1.4	103.7
Oct	3	Nurs/LPr	1.06	5.76	63.3	5.3	223.0
Nov	1	Init	1.10	5.67	56.7	10.3	46.4
Nov	2	Deve	1.10	5.39	53.9	14.2	39.6
Nov	3	Deve	1.09	5.05	50.5	14.8	35.7
Dec	1	Deve	1.08	4.71	47.1	14.7	32.4
Dec	2	Mid	1.08	4.38	43.8	15.5	28.4
Dec	3	Mid	1.07	4.32	47.5	17.6	29.9
Jan	1	Mid	1.07	4.26	42.6	20.1	22.6
Jan	2	Late	1.06	4.17	41.7	22.2	19.5
Jan	3	Late	1.02	3.77	41.5	23.7	17.8
Feb	1	Late	0.96	3.32	33.2	26.1	7.1
Feb	2	Late	0.93	3.00	9.0	8.4	0.0
					<b>591.9</b>	<b>195.2</b>	<b>611.2</b>

Gambar 2.12 Tampilan Tabel Hasil Kebutuhan Air Tanaman (Etc) dan Kebutuhan Air Irigasi



Gambar 2.13 Tampilan Grafik Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman (Etc) dan Kebutuhan Air Irigasi

5. Total air tersedia, TAM (mm)

Total lengas tersedia (*Total Available Moisture*, TAM) dihitung dengan:

$$TAM = (\text{Kapasitas Lapangan} - \text{Titik Layu}) \times \text{Kedalaman Akar} \quad (2.35)$$

Dimana,

$$TAM = \text{Total lengas tersedia (mm)}$$

6. Air yang siap digunakan tanaman, RAM (mm)

Lengas tanah yang tersedia (*Readily Available Moisture*, RAM)

dihitung dengan:

$$RAM = TAM \times P \quad (2.36)$$

Dimana,

$$P = \text{Depleksi Kritis}$$

7. Evapotranspirasi tanaman , Etc (mm)
8. Perbandingan evapotranspirasi aktual dengan evapotranspirasi maksimum, Etc atau ETm (%)
9. Defisit lengas tanah harian (mm)

Neraca air pada lahan dihitung dengan persamaan :

$$SMD_t = SMD_{t-1} + ETc - Pe - IR + RO + DP \quad (2.37)$$

Keterangan:

$SMD_t, SMD_{t-1}$  = Depleksi lengas tanah pada dekade t dan t-1 (mm)

Etc = Evapotranspirasi tanaman aktual (mm)

Pe = Hujan efektif (mm)

IR = Ketebalan irigasi (mm)

RO = *Run Off* (mm)

DP = Perkolasi kedalam (mm)

10. Interval irigasi (hari) dan ketebalan aplikasi irigasi (mm)
11. Kehilangan irigasi (mm), air irigasi yang tidak tersimpan di dalam tanah (seperti aliran permukaan atau perkolasi dalam)
12. Estimasi penurunan produksi tanaman akibat stress air tanaman (apabila Etc atau ET<sub>m</sub> dibawah 100%)
13. Pengaturan alokasi air irigasi dalam jaringan

### **2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Program *CROPWAT 8.0***

#### **a. Kelebihan Program *CROPWAT 8.0***

- Aplikasi ini mempermudah pekerjaan dalam menghitung kebutuhan air tanaman dan bagaimana penjadwalan pengairan untuk tanaman yang ingin diketahui kebutuhan airnya secara tepat dan teliti.
- Program ini memungkinkan pengembangan jadwal irigasi untuk kondisi manajemen yang berbeda dan perhitungan pasokan skema air untuk berbagai pola tanaman. Juga dapat digunakan untuk mengevaluasi praktek- praktek irigasi petani dan untuk menilai kinerja tanaman yang berhubungan dengan kebutuhan air.
- Memudahkan dan mempercepat proses input data baik data cuaca, curah hujan maupun pemanenan pada komoditas tanaman pertanian.
- Tersimpannya *database* dengan terstruktur sehingga akan memudahkan dalam mengubah atau membuka data yang lama.
- Program ini merupakan cara perhitungan yang paling efektif karena program ini mempunyai *human error* yang paling kecil.
- Lebih praktis, cepat dan mudah. Selain itu *CROPWAT 8.0* merupakan program gratis yang dapat digunakan oleh setiap orang.

b. Kekurangan Program *CROPWAT* 8.0

- Pada program *CROPWAT* 8.0 hasil data yang hanya berkisar dua angka dibelakang koma sehingga nilai yang dihasilkan sangat bergantung pada pembulatan yang dilakukan.
- Proses memasukkan data harus teliti karena akan memengaruhi hasil menjadi berbeda akibat salah perhitungan.
- Program ini hanya tersedia dalam beberapa bahasa tidak semua bahasa padahal akan lebih baik apabila aplikasi ini tersedia dalam berbagai bahasa agar lebih mudah dalam segi pemahaman dan pengpersian pengguna.
- Program ini masih digunakan hanya oleh kalangan tertentu belum menyeluruh, misal para petani biasa belum bisa menggunakannya.

## 2.4 Potensi Ketersediaan Air

Ketersediaan air merupakan jumlah debit air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air irigasi, ketersediaan air irigasi sering sulit untuk diatur dan diprediksi dengan akurat. Hal ini karena ketersediaan air irigasi mengandung unsur variabilitas ruang (*spatial variability*) dan variabilitas waktu (*temporal variability*) yang sangat tinggi dan dipengaruhi oleh masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang terjadi (Triatmodjo, 2006).

### 2.4.1 Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk irigasi, kemungkinan terpenuhi ditetapkan 80% (kemungkinan bahwa debit sungai lebih rendah dari debit andalan

adalah 20%). Debit andalan ditentukan untuk periode setengah bulanan. Debit minimum sungai dianalisis atas dasar debit harian sungai.

Probabilitas atau kendala yang dimaksud berhubungan dengan probabilitas atau nilai kemungkinan yang terjadinya sama atau melampaui dari yang diperkirakan. Kendala 80% atau kemungkinan debit sungai lebih rendah dari debit andalan adalah 20%.

Tahapan yang digunakan untuk menentukan besarnya debit andalan adalah sebagai berikut:

- a. Data debit tahunan rata-rata diurutkan dari besar ke kecil.
- b. Dari data debit tahunan yang telah diurutkan tersebut, dicari probabilitas untuk tiap-tiap debit.
- c. Dari hasil perhitungan no.2, kemudian dicari besarnya debit andalan yang dibutuhkan. Debit andalan dihitung berdasarkan data debit yang telah tercatat dengan periode yang memadai.

Setelah didapatkannya besarnya debit di lokasi studi, maka untuk menentukan ketersediaan air dengan peluang keandalan tertentu (debit andalan) dapat dilakukan dengan pendekatan analisis peluang dengan Metode Weibull seperti yang terdapat pada persamaan 2.38.

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (2.38)$$

Keterangan :

- P = Probabilitas terjadinya kumpulan nilai (misalnya: debit) yang diharapkan selama periode pengamatan (%)
- m = Peringkat data
- n = Jumlah data debit

Rumus ini pada mulanya dikembangkan oleh Weibull (1930), kemudian digunakan oleh Gumbel (1945), Chow (1953), Vels (1952), US Geological Survey dan lain-lain. Metode ini dapat digunakan untuk sekelompok data tahunan atau partial, sehingga Metode Weibull ini yang sering digunakan untuk analisis peluang dan periode ulang (Soewarno: 1995). Perhitungan debit andalan berdasarkan bulan (basic month), dengan cara mengurutkan data dari besar ke kecil dengan perhitungan probabilitas.

## **2.5 Cara Pemberian Air Irigasi**

Untuk memperoleh tanaman dengan pertumbuhan yang optimal guna mencapai produktivitas yang tinggi, maka penanaman harus memperhatikan pembagian air secara merata ke semua petak tersier dalam jaringan irigasi. Sumber air tidak selalu dapat menyediakan air irigasi yang dibutuhkan, sehingga harus dibuat rencana pembagian air yang baik.

### **2.5.1 Sistem Golongan**

Sistem golongan adalah memisah-misahkan periode-periode pengolahan (penggarapan) dengan maksud menekan kebutuhan air maksimum. Pada musim kemarau keadaan air mengalami penurunan atau kritis, maka pemberian air tanaman akan diberikan kepada tanaman yang telah direncanakan. Cara ini dilakukan apabila jumlah air yang tersedia cukup terbatas, sementara kebutuhan air sangat besar. Pada saat-saat dimana air tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman dengan pengaliran menerus, maka pemberian air tanaman dilakukan dalam sistem pemberian air secara golongan bergilir, dengan maksud menggunakan air lebih efisien. Sawah dibagi menjadi golongan-golongan saat permulaan pekerjaan sawah bergiliran menurut golongan masing-masing.

Beberapa kelebihan dan kekurangan yang terjadi pada sistem golongan:

Kelebihan:

- Berkurangnya kebutuhan pengambilan puncak
- Kebutuhan pengambilan bertambah secara berangsur-angsur pada awal waktu pemberian air irigasi (pada periode penyiapan lahan), seiring dengan makin bertambahnya debit sungai; kebutuhan pengambilan puncak dapat ditunda.

Kekurangan:

- Timbulnya komplikasi sosial
- Operasional lebih rumit
- Kehilangan air akibat eksploitasi sedikit lebih tinggi, dan
- Jangka waktu irigasi untuk tanaman pertama lebih lama, akibatnya lebih sedikit waktu tersedia untuk tanaman kedua.
- Daur/siklus gangguan serangga, pemakaian insektisida.

Agar kebutuhan pengambilan puncak dapat dikurangi, maka areal irigasi harus dibagi-bagi menjadi sekurang-kurangnya 3 sampai 6 Golongan. Pengaturan-pengaturan umum terhadap golongan-golongan adalah sebagai berikut:

- 1) Tiap jaringan induk dibagi menjadi 6 golongan yaitu golongan I, II, III, IV, V, VI. Tiap golongan dadakan sampai seluruh petak-petak tersier dengan cara menggolongkan baku-baku sawah yang seharusnya hampir sama menjadi masing-masing golongan.
- 2) Tiap golongan I, II, III, IV, V, VI digilir.
- 3) Untuk keperluan pengolahan tanahnya (garapan), masing-masing golongan menerima air selama dua periode 15 harian mulai dari golongan I.

4) Tanaman padi gadu yang masih ada di sawah diberi air dengan cukup.

Tiap golongan harus diberi batas yang tetap. Tiap-tiap tahun pengaturan golongan digilir, sehingga keuntungan atau kerugian bagian dapat terbagi secara merata. Sistem golongan dikerjakan sebagai berikut dengan contoh pengerjaan dari golongan I sampai III:

Tabel 2.15 Pengerjaan Sistem Golongan

Periode	Golongan I	Golongan II	Golongan III
Hari ke 1-15	Garap tanah untuk pembibitan	-	-
Hari ke 16-30	Bibit dan garap tanah untuk tanaman padi	Garap tanah untuk pembibitan	-
Hari ke 31-45	Pemindahan tanaman	Bibit dan garap tanah untuk tanaman padi	Garap tanah untuk pembibitan
Hari ke 46-60	Tanaman padi	Pemindahan tanaman	Bibit dan garap tanah untuk tanaman padi
Hari ke 61-dst	Tidak ada pembagian air	Tanaman padi	Pemindahan tanaman

Sumber: Hendra Kusnadi, 2018

## 2.6 Neraca Air (*Water Balance*)

Neraca air irigasi diartikan sebagai perbandingan antara jumlah ketersediaan air dan jumlah kebutuhan airnya pada irigasi. Peninjauan neraca air untuk irigasi ini didasarkan dari 2 kondisi musim yaitu kemarau dan hujan. Neraca ini sangat berperan penting karena dapat diketahui suatu potensi SDA yang dimiliki daerah maupun tingkatan kekritisannya air daerah tersebut. Apabila air dibangun *intake* telah melimpah yang ditandai dengan debit tersedia yang melebihi kapasitas, maka dapat memenuhi kebutuhan air pada daerah irigasi. Dan sebaliknya apabila bangunan *intake* minim air oleh debit tersedia yang kurang

maka perlu dilakukan cara agar tetap dapat memenuhi kebutuhan air pada daerah irigasi dengan cara mengurangi luas area irigasi, serta melakukan beberapa modifikasi pola tanam, golongan maupun rotasi (Handika, 2015). Keseimbangan air atau faktor K dapat ditentukan jika persediaan air cukup maka faktor  $K=1$  sedangkan pada persediaan air kurang maka faktor  $K<1$ . Rumus untuk menghitung faktor K:

$$K = \frac{\text{debit tersedia di intake}}{\text{debit yang dibutuhkan}} \quad (2.39)$$

Dari faktor K yang didapatkan akan terlihat kondisi kebutuhan air untuk irigasi apakah *surplus* dan *defisit*.