

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1. Umum

Irigasi adalah usaha penyediaan, pembagian, pemberian, penggunaan, dan pembuangan air irigasi untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak (PP. Republik Indonesia, 2004).

Irigasi adalah usaha penambahan kekurangan air tanah secara buatan, yaitu dengan menyalurkan air yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman ke tanah yang diolah dan didistribusikan secara sistematis (Sosrodarsono, 1976).

Untuk memperoleh hasil produksi yang optimal pemberian air harus sesuai dengan jumlah dan waktu yang diperlukan tanaman. Dalam irigasi, banyaknya air yang diperlukan untuk pertanian harus diketahui dengan tepat, sehingga pemberian air irigasi dapat seefisien mungkin yang bertujuan untuk memperoleh hasil keuntungan lebih besar.

### 2.2. Evapotranspirasi

#### 2.2.1. Evaporasi

Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi atau penguapan (Sosrodarsono, 1976). Air akan menguap dari tanah, baik tanah gundul atau yang tertutup oleh tanaman dan pepohonan, permukaan tidak tembus air seperti atap dan jalan raya, air bebas dan air mengalir. Evaporasi merupakan faktor penting dalam studi tentang pengembangan sumber-sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan komsumtif (*consumptive use*) untuk tanaman dan lain-lain (Soemarto, 1986).

Faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Soemarto, 1986) :

#### 1. Radiasi matahari.

Evaporasi berjalan terus hampir tanpa henti disiang hari dan kerap kali juga dimalam hari. Perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan energi

berupa panas latent untuk evaporasi. Proses evaporasi akan sangat aktif jika ada penyinaran langsung dari matahari.

2. Angin.

Jika air menguap ke atmosfer maka lapisan batas antara permukaan tanah dan udara menjadi jenuh oleh uap air sehingga proses evaporasi berhenti. Agar proses tersebut berjalan terus lapisan jenuh harus diganti dengan udara kering. Pergantian itu hanya dimungkinkan jika ada angin. Jadi, kecepatan angin memegang peranan penting dalam proses evaporasi.

3. Kelembaban (*humiditas*) relatif.

Faktor lain yang mempengaruhi evaporasi adalah kelembaban relatif udara. Jika kelembaban relatif naik, maka kemampuan udara untuk menyerap air akan berkurang sehingga laju evaporasinya menurun. Penggantian lapisan udara pada batas tanah dan udara dengan udara yang sama kelembaban relatifnya tidak akan menolong untuk memperbesar laju evaporasi.

4. Suhu (temperatur).

Energi sangat dibutuhkan agar evaporasi berjalan terus. Jika suhu udara dan tanah cukup tinggi, proses evaporasi berjalan lebih cepat dibandingkan jika suhu udara dan tanah rendah karena adanya energi panas yang tersedia.

### 2.2.2. Transpirasi

Peristiwa penguapan dari tanaman disebut dengan transpirasi (Sosrodarsono, 1976). Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya, dan masing-masing jenis tanaman berbeda-beda kebutuhannya. Hanya sebagian kecil air yang tinggal di dalam tubuh tanaman, sebagian besar air setelah diserap lewat akar dan dahan di transpirasikan lewat daun. Dalam kondisi lapangan tidaklah mungkin untuk membedakan antara evaporasi dan transpirasi jika tanahnya tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut (evaporasi dan transpirasi) saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Proses transpirasi berjalan sepanjang hari dibawah pengaruh sinar matahari (Soemarto, 1986).

Jumlah kadar air yang hilang dalam tanah oleh evapotranspirasi tergantung pada (Soemarto, 1986) :

- a. Adanya persediaan air yang cukup (hujan,dll).
- b. Faktor-faktor iklim (suhu, kelembaban, dll).
- c. Tipe dan cara kultivasi tumbuhan.

Jumlah air yang ditranspirasikan dapat bertambah besar, misalnya pada pohon besar yang akar-akarnya sangat dalam menembus tanah. Jumlah air yang ditranspirasikan akan lebih banyak dibandingkan jika air itu langsung dievaporasikan sebagai air bebas (*free water*).

Proses transpirasi berjalan terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari. Pada malam hari pori-pori daun menutup. Pori-pori tersebut terletak di bagian bawah daun, yang disebut *stomata*. Apabila pori-pori ini menutup menyebabkan terhentinya proses transpirasi secara drastis. Tetapi tidak demikian halnya dengan evaporasi. Proses evaporasi dapat berjalan terus selama ada masukan panas. Oleh karena itu bagian yang terbesar dari jumlah evaporasi diperoleh pada siang hari, karena evaporasi dipengaruhi oleh sinar matahari (Soemarto, 1986).

Faktor lain yang mungkin adalah jumlah air yang tersedia cukup banyak. Jika jumlah air tersedia secara berlebih dari yang dibutuhkan tanaman selama proses transpirasi ini, maka jumlah air yang ditranspirasikan akan lebih besar dibandingkan apabila tersedianya air di bawah keperluan. Evaporasi yang mungkin terjadi pada kondisi air tersedia berlebih disebut *evaporasi potensial*. Meskipun demikian kondisi air yang berlebih sering tidak terjadi. Evaporasi tetap terjadi dalam kondisi air tidak berlebih meskipun tidak sebesar evaporasi potensial. Evaporasi ini disebut *evaporasi actual*.

### 2.2.3. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan melalui tanaman (transpirasi). Evaporasi Potensial (Eto) adalah air yang menguap melalui permukaan tanah dimana besarnya adalah jumlah air yang akan digunakan tanaman untuk perkembangannya (Suhardjono, 1994).

Data-data yang diperoleh dari stasiun klimatologi adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994) :

a. Temperatur rata-rata (t).

Rata-rata temperatur udara bulanan di Indonesia antara 24 - 29°C dan tidak terlalu berbeda dari bulan yang satu dengan bulan yang lainnya.

b. Kelembaban relatif (Rh).

Kelembaban relatif atau *relative humidity* (Rh) yang dinyatakan dalam prosentase (%) merupakan perbandingan antara tekanan uap air dengan uap air jenuh. Data pengukuran di Indonesia, menunjukkan besarnya kelembaban relatif berkisar antara 65% sampai 85%. Hal tersebut menunjukkan bahwa Indonesia memiliki daerah

dengan kelembaban relatif yang tinggi daripada musim kemarau (April – September).

c. Kecepatan angin rata-rata (u).

Data kecepatan angin diukur berdasarkan tiupan angin pada ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah. Dari data pengukuran kecepatan angin di Indonesia menunjukkan bahwa besarnya angin rata-rata bulanan berkisar antara 0,5 - 4,5 m/dt atau 15 km/jam.

d. Kecerahan matahari rata-rata (n/N).

Kecerahan matahari merupakan perbandingan antara n dan N disebut rasio keawanan. Nilai N merupakan jumlah potensial matahari bersinar dalam sehari. Untuk daerah di sekitar khatulistiwa besar N adalah sekitar 12 jam setiap harinya, dan tidak jauh berbeda dengan bulan lainnya. Sedangkan nilai n merupakan jam nyata matahari bersinar cerah dalam sehari. Besarnya n ini sangat berhubungan dengan keadaan awan, makin banyak awan makin kecil nilai n tersebut. Harga rata-rata bulanan kecerahan matahari (n/N) di Indonesia berkisar 30% - 85%. Di musim kemarau harga n/N lebih tinggi dibandingkan di musim hujan, akibat banyaknya awan di musim hujan yang memperkecil harga n dan prosentase n/N.

Metode yang digunakan dalam studi ini adalah metode Penman Modifikasi. Dalam analisis studi ini, evapotranspirasi potensial dihitung dengan mengoptimalkan ketersediaan data klimatologi, yaitu suhu udara bulanan, kelembaban udara relatif, kecepatan angin bulanan, dan penyinaran matahari bulanan. Selain itu, penggunaan lebih banyak data terukur membawa hasil perhitungan rumus ini lebih teliti jika dibandingkan rumus yang lain. (Suhardjono, 1994).

Dalam perkembangannya, terdapat beberapa rumus Penman yang telah disederhanakan guna memudahkan dalam perhitungan. Rumus Penmann dalam menghitung evapotranspirasi potensial membutuhkan lebih banyak data terukur, yaitu suhu udara bulanan rerata ( $t_r$ , °C), kelembaban relatif bulanan rerata (RH, %), kecerahan matahari bulanan (n/N, %), kecepatan angin bulanan rerata (u, m/s), dan letak lintang daerah yang ditinjau. Perhitungan ETo berdasarkan rumus Penmann yang telah disederhanakan adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994) :

$$ETo = c \times ETo^* \dots\dots\dots (2-1)$$

$$ETo^* = W (0,75 R_s - R_{n1}) + (1 - W). f(u). (ea - ed) \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan :

W = faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi

Rs = radiasi gelombang pendek, dalam satuan evaporasi ekuivalen (mm/hari)

$$R_s = (0,25 + 0,54 n/N) R_a \dots\dots\dots (2-3)$$

Ra = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer atau angka angot (mm/hari)

R<sub>n1</sub> = radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)

$$R_{n1} = f(t).f(ed).f(n/N) \dots\dots\dots (2-4)$$

f(t) = fungsi suhu

$$f(t) = \sigma Ta^4 \dots\dots\dots (2-5)$$

f(ed) = fungsi tekanan uap

$$f(ed) = 0,34 - (0,44.ed^{0,5}) \dots\dots\dots (2-6)$$

f(n/N) = fungsi kecerahan

$$f(n/N) = 0,1 + (0,9.n/N) \dots\dots\dots (2-7)$$

f(U) = fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2 meter (m/detik)

$$f(U) = 0,27 (1 + 0,864 U) \dots\dots\dots (2-8)$$

(ea-ed) = perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya

$$ed = ea \cdot RH \dots\dots\dots (2-9)$$

ea = tekanan uap sebenarnya yang besarnya berhubungan t

RH = kelembaban udara relatif (%)

Setelah harga ET<sub>0</sub>\* didapat, maka besar harga evapotranspirasi potensial (ET<sub>0</sub>) dapat dihitung dengan rumus berikut. (Suhardjono, 1994).

$$ET_0 = c \times ET_0^* \dots\dots\dots (2-10)$$

dengan :

c = angka koreksi Penman yang besarnya mempertimbangkan perbedaan cuaca

Prosedur perhitungan ET<sub>0</sub> berdasar rumus Penman adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data suhu bulanan rata-rata (t)
2. Menghitung besaran (ea), (W), (W - 1) dan f(t) dari tabel yang berdasarkan nilai (t)
3. Menghitung data kelembaban relatif (RH)
4. Menghitung besaran ed berdasarkan nilai ea dan RH
5. Menghitung f(ed) dari tabel berdasarkan nilai ed
6. Menghitung data letak lintang daerah yang ditinjau
7. Menghitung besaran (Ra) berdasarkan letak lintang
8. Menghitung data kecerahan matahari (n/N)

9. Menghitung besaran  $R_s$  dari perhitungan berdasarkan nilai  $R_a$  dan  $(n/N)$
10. Menghitung besaran  $f(n/N)$  berdasarkan nilai  $(n/N)$
11. Menghitung data kecepatan angin rata-rata bulanan ( $U$ )
12. Menghitung besaran  $f(U)$  berdasarkan nilai ( $U$ )
13. Menghitung besar  $R_{n1} = f(t).f(ed).f(n/N)$
14. Menghitung besar angka koreksi ( $c$ ) dari tabel
15. Menghitung besar  $ET_0^*$ , dengan rumus (2-2)
16. Perhitungan  $ET_0$  dengan rumus (2-1)

### 2.3. Analisis Curah Hujan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air yang salah satunya seperti alokasi air irigasi adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada satu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah. Curah hujan ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Cara-cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik adalah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1976):

- a. Metode Rerata Aljabar
- b. Metode Thiessen
- c. Metode Isohiet

Pada umumnya untuk menghitung curah hujan daerah dapat digunakan standar luas daerah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1976: 51):

1. Daerah dengan luas 250 Ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.
2. Daerah dengan luas 250 Ha sampai 50.000 Ha dengan dua atau tiga titik pengamat hujan dapat digunakan cara rerata aljabar.
3. Daerah dengan luas 120.000 Ha sampai 500.000 Ha yang mempunyai titik pengamat yang tersebar cukup merata dan dimana data curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi kondisi topografi, dapat digunakan cara rerata aljabar. Jika titik-titik pengamatan tidak tersebar merata maka digunakan cara Thiessen.
4. Daerah dengan luas lebih besar dari 500.000 Ha dapat digunakan cara Isohiet.

Berdasarkan data curah hujan selama 10 tahun pada empat stasiun curah hujan yang mewakili Daerah Irigasi Kalisemas, dilakukan analisa data curah hujan yang diamati dari setiap titik (*point rainfall*) / pos stasiun hujan menjadi curah hujan wilayah

/daerah (*areal rainfall*) adalah dengan menggunakan Metode Rerata Aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Sosrodarsono, 1976):

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2-11)$$

dengan :

$\bar{R}$  = *areal rainfall* / curah hujan daerah (mm)

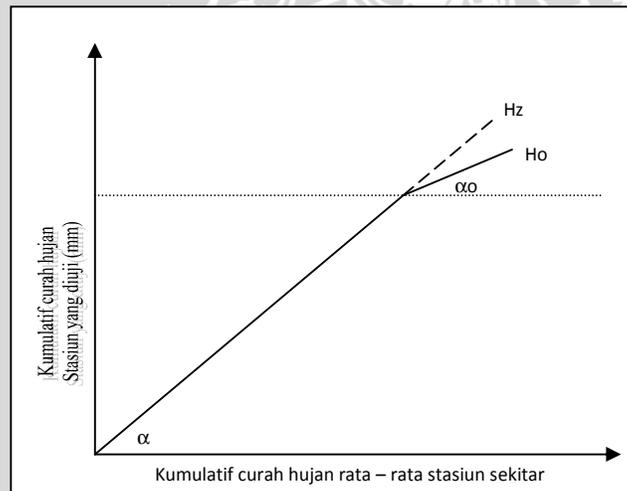
$R_1, R_2, \dots, R_n$  = *point rainfall* / besarnya curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

$n$  = jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan

### 2.3.1. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Perubahan lingkungan tempat dimana penakar hujan dipasang dapat mengakibatkan penyimpangan data hujan yang diukur. Perubahan ini biasanya terjadi karena beberapa hal, misalnya : terlindung oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung yang tinggi, perubahan cara penakaran dan pencatatannya, pemindahan alat ukur dan sebagainya. Sehingga data hujan menjadi tidak konsisten. (Soemarto, 1986 )

Hal tersebut dapat diselidiki dengan menggunakan lengkung massa ganda seperti terlihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1. Analisis Kurva Massa Ganda (sumber : Sri Harto Br, 2000)**

Data yang tidak konsisten dapat ditunjukkan oleh penyimpangan garisnya dari garis lurus. Penyimpangan kemiringan kurva massa ganda disebabkan oleh banyak hal, misalnya (Soewarno, 1995 ) :

1. Prosedur pengukuran atau pengamatan.
2. Metode pengolahan.
3. Perubahan lokasi pos.

Jika terjadi penyimpangan, maka data hujan dari stasiun yang diuji harus dikoreksi sesuai dengan perbedaan kemiringan garisnya, dengan rumus sebagai berikut :

$$H_z = F_k \times H_o \quad (2-12)$$

$$F_k = \tan \alpha / \tan \alpha_o \quad (2-13)$$

dengan :

$H_z$  = data hujan yang diperbaiki

$H_o$  = data hujan hasil pengamatan

$F_k$  = faktor koreksi

$\tan \alpha$  = kemiringan garis sebelum ada perubahan

$\tan \alpha_o$  = kemiringan garis sesudah ada perubahan

### 2.3.2. Analisis Curah Hujan Andalan

Tanah yang berada dalam kondisi alamiah selalu mengandung air. Penting bagi tanaman bahwa air dalam tanah harus senantiasa berada dalam keadaan yang mudah untuk diabsorpsi atau diserap (Sosrodarsono, 1976). Menjaga agar ketersediaan air di dalam tanah selalu berada dalam keadaan yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman maka diperlukan adanya pemberian air irigasi atau yang berasal dari alam yaitu air hujan.

Curah hujan andalan adalah curah hujan yang diandalkan tersedia setiap beberapa tahun sekali, sesuai dengan kala ulang yang diambil. Curah hujan rancangan adalah jumlah curah hujan yang diperlukan untuk menyusun suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir. Besarnya adalah sebesar curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan.

Cara menghitung curah hujan andalan adalah melalui ketentuan sebagai berikut :

- curah hujan bulanan dari stasiun A diurutkan mulai yang terkecil sampai yang terbesar.
- berdasarkan oleh perhitungan yang dilakukan oleh Harza Engineering Crop International,  $R_{80}$  dapat diartikan bahwa dari 10 kejadian, curah hujan yang direncanakan tersebut akan terlampaui sebanyak 8 kali.

$$R_{80} \text{ adalah urutan ke } \frac{n}{5} + 1 \quad (2-14)$$

dimana :

$n$  = banyaknya tahun pengamatan curah hujan

### 2.3.3. Analisis Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif mempunyai arti sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah atau petak sawah semasa pertumbuhan tanaman dan dapat digunakan secara langsung untuk memenuhi kebutuhan air tanaman untuk keperluan perencanaan persawahan, curah hujan efektif yang digunakan adalah curah hujan efektif untuk tanaman padi, palawija dan tebu.

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman padi ditentukan dengan 70% dari curah hujan merata sepuluh harian dengan kemungkinan kegagalan 20% atau curah hujan  $R_{80}$ . Curah hujan efektif diperoleh dari 70% nilai  $R_{80}$  per periode waktu pengamatan dengan persamaan (Anonymous/KP-01, 1986) sebagai berikut :

$$Re_{\text{padi}} = R_{80} \times 70\% / 10 \quad (2-15)$$

dengan :

$Re_{\text{padi}}$  = curah hujan untuk tanaman padi sawah (mm/hari).

$R_{80}$  = tingkat hujan yang terjadi dengan tingkat kepercayaan 80% (mm).

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman palawija dipengaruhi oleh besarnya tingkat evapotranspirasi dan curah hujan bulanan rerata dari daerah yang bersangkutan. Curah hujan efektif diperoleh dari  $R_{50}$  per periode waktu pengamatan, seperti persamaan dibawah ini (Anonymous/KP-01, 1986) :

$$Re_{\text{eff}} = R_{50} \quad (2-16)$$

## 2.4. Kebutuhan Air Irigasi

### 2.4.1. Kebutuhan Air di Sawah

Tanaman membutuhkan air agar dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Air tersebut dapat berasal dari air hujan maupun air irigasi. Air irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui jaringan sistem irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian (Suhardjono, 1994).

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut (Anonim/KP-01, 1986):

- Penyiapan lahan
- Penggunaan konsumtif
- Perkolasi
- Pergantian lapisan air
- Curah hujan efektif

Pendugaan kebutuhan air di sawah dilakukan berdasarkan jenis tanaman, persamaan netto kebutuhan air (*Netto Farm Requirement*) dengan Metode Standar Perencanaan Irigasi yaitu dengan persamaan sebagai berikut (Anonim/KP-01, 1986):

$$\text{NFR padi} = \text{LP} + \text{ET} + \text{WLR} + \text{P} - \text{Re padi} \quad (2-17)$$

$$\text{NFR plw} = \text{ET} - \text{Re plw} \quad (2-18)$$

$$\text{NFR tebu} = \text{ET} - \text{Re tebu} \quad (2-19)$$

dengan :

NFR padi = netto kebutuhan air padi sawah (mm/hr)

NFR plw = netto kebutuhan air palawija (mm/hr)

NFR tebu = netto kebutuhan air tebu (mm/hr)

LP = kebutuhan air untuk persiapan lahan (mm/hr)

ET = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hr)

WLR = (*Water Level Requirement*) kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (mm/hr)

P = perkolasi (mm/hr)

Re padi = curah hujan efektif untuk padi sawah (mm/hr)

Re plw = curah hujan efektif untuk palawija (mm/hr)

Re tebu = curah hujan efektif untuk tebu (mm/hr)

#### 2.4.2. Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan. Air dapat menguap melalui permukaan air maupun melalui daun-daun tanaman. Besar penguapan air permukaan (evaporasi) sangat erat berhubungan dengan faktor iklim yaitu (Suhardjono, 1994):

- Suhu udara
- Kecepatan angin
- Kelembaban udara
- Kecerahan penyinaran matahari

Sedangkan besarnya air yang menguap melalui daun-daun tanaman (transpirasi), disamping dipengaruhi oleh keadaan iklim, juga erat berhubungan dengan faktor tanaman, yaitu (Suhardjono, 1994):

- Jenis tanaman
- Varitas (macam) tanaman

c. Umur pertumbuhan tanaman

Dengan demikian besar kebutuhan air tanaman adalah sebesar jumlah air yang hilang akibat proses evapotranspirasi. Kebutuhan air tanaman dapat dirumuskan sebagai berikut (Suhardjono, 1994):

$$ET = k \cdot ETo \quad (2-20)$$

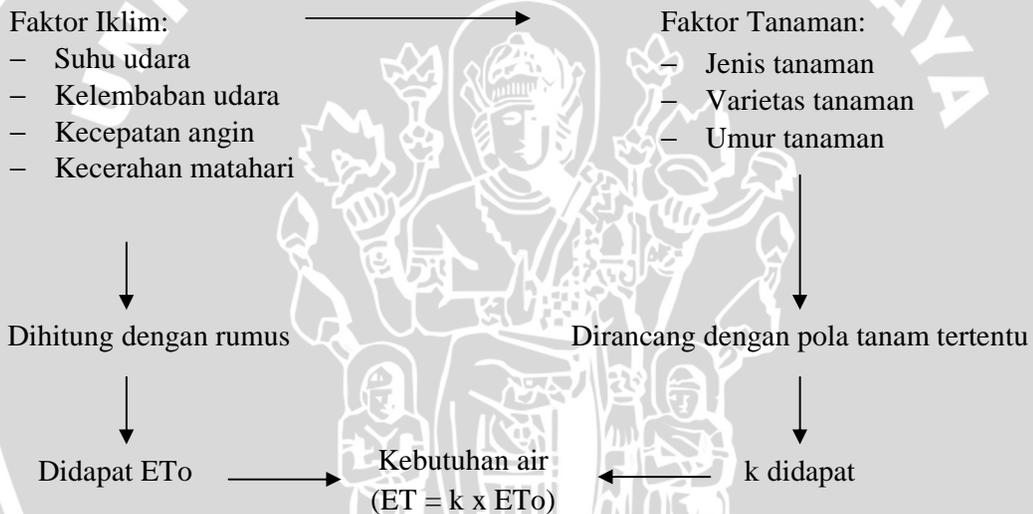
dengan :

ET = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hr)

k = koefisien tanaman, yang besarnya tergantung pada jenis, macam, dan umur tanaman

ETo = evapotranspirasi potensial (mm/hr)

**KEBUTUHAN AIR TANAMAN (ET)**



**Gambar 2.2. Diagram Alur Kebutuhan Air Tanaman (sumber : Suhaerdjono, 1994)**

Setiap jenis dan varietas tanaman selama periode pertumbuhannya memerlukan air dengan jumlah yang berbeda-beda. Selama pertumbuhan vegetatif kebutuhan air selalu bertambah dan pada masa pertumbuhan bunga memerlukan air yang sangat banyak serta pada masa pematangan kebutuhan airnya berangsur-angsur surut. Perbedaan kebutuhan air tiap umur tanaman dipengaruhi oleh koefisien tanaman.

**Tabel 2.1. Nilai Koefisien Tanaman**

Padi (Varietas Unggul)		Palawija (Jagung)		Tebu	
Umur (hari)	k	Umur (hari)	k	Umur (bulan)	K
10	1.1	10	0.5	0-1	0.55

20	1.1	20	0.65	1-2	0.8
30	1.1	30	0.75	2-2.5	0.9
40	1.05	40	1.00	2.5-4	1.00
50	1.05	50	1.00	4-10	1.05
60	1.05	60	1.00	10-11	0.8
70	0.95	70	0.82	11-12	0.6
80	0.95	80	0.72		
90	0	90	0.45		

Sumber : KP-PU, 1986

### 2.4.3. Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zone tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah di bawah permukaan air tanah). Daya Perkolasi ( $P_p$ ) adalah laju perkolasi maksimum yang dimungkinkan dan besarnya dipengaruhi kondisi tanah dan muka air tanah. Perkolasi terjadi saat daerah tak jenuh mencapai daya medan (*field capacity*). (Soemarto, 1986).

Laju perkolasi sangat bergantung kepada sifat-sifat tanah. 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 (Anonim/KP 01, 1986).

Laju perkolasi lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Anonim, 2008):

#### 1. Tekstur tanah

Tanah dengan tekstur halus mempunyai angka perkolasi kecil, sedang tekstur yang kasar mempunyai angka perkolasi yang besar.

#### 2. Permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah merupakan gaya untuk merembes lewat ruang antar butir tanah. Permeabilitas tanah besar daya perkolasi besar, sedangkan permeabilitas tanah kecil perkolasi tanah kecil.

#### 3. Tebal lapisan tanah bagian atas

Semakin tipis lapisan tanah bagian atas, semakin kecil daya perkolasinya.

#### 4. Letak permukaan air tanah

Lindungan tumbuh-tumbuhan yang padat menyebabkan daya infiltrasi (proses masuknya air hujan ke dalam lapisan permukaan tanah dan turun ke permukaan air tanah) semakin besar, yang berarti daya perkolasi juga besar.

**Tabel 2.2. Harga Perkolasi Dari Berbagai Jenis Tanah**

No	Tekstur Tanah	Perkolasi (mm/hr)
1	Lempung Berpasir	3 – 6
2	Lempung	2 – 3
3	Liat lempung	1 – 2

Sumber : Wirosuedarmo , 1985: 94

#### 2.4.4. Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi pada suatu proyek irigasi. Pada umumnya jumlah air yang dibutuhkan untuk penyiapan lahan dapat ditentukan berdasarkan kedalaman serta porositas tanah di sawah.

Untuk tanah bertekstur berat tanpa retak-retak, kebutuhan air untuk penyiapan lahan diambil 200 mm. Ini termasuk air untuk penjemuran dan pengolahan tanah. Pada permulaan transplantasi tidak akan ada lapisan yang tersisa di sawah. Setelah transplantasi selesai, lapisan air di sawah akan ditambah 50 mm. Secara keseluruhan, ini berarti bahwa lapisan air yang diperlukan menjadi 250 mm untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah transplantasi selesai.

Bila lahan dibiarkan bero selama jangka waktu yang lama (2,5 bulan atau lebih), maka lapisan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan diambil 300 mm, termasuk yang 50 mm untuk penggenangan setelah transplantasi.

Untuk tanah-tanah ringan dengan laju perkolasi yang lebih tinggi, harga-harga kebutuhan air untuk penyiapan lahan bisa diambil lebih tinggi lagi. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan sebaiknya dipelajari dari daerah-daerah di dekatnya yang kondisi tanahnya serupa dan hendaknya didasarkan pada hasil-hasil penyiapan di lapangan (Anonim/KP-01, 1986).

Dalam praktiknya, pengolahan tanah tidak didahulukan serentak, misalnya untuk suatu petak tersier, tersier diolah berkisar antara 10-15 hari. Sedangkan untuk daerah irigasi yang luas baru bisa diselesaikan sekitar 30-45 hari, namun hal ini tergantung pada alat pengolahan tanah yang digunakan. Dengan tidak dilakukan pengolahan serentak tersebut maka kebutuhan air tiap harinya bisa lebih kecil. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dipengaruhi oleh evaporasi, kejenuhan tanah, perkolasi dan jangka

waktu untuk penyiapan lahan. Untuk menghemat pemakaian air irigasi pada saat penyiapan lahan, maka dilakukan hal-hal sebagai berikut (Wirosedarmo, 1985) :

1. Penyiapan lahan tidak dilakukan sekaligus atau serentak dalam waktu singkat, karena terbatasnya persediaan tenaga, di samping itu dengan menunggu bibit persemaian.
2. Saat penyiapan lahan untuk tanaman padi musim hujan, biasanya menunggu cukup turunnya hujan sehingga dapat menggunakan curah hujan seefektif mungkin dan pada saat penyiapan lahan untuk padi gadu biasanya kondisi tanah masih lembab.

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dapat dihitung dengan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1968) dengan persamaan sebagai berikut (Anonim/KP-01, 1986):

$$IR = \frac{M \cdot e^k}{(e^k - 1)} \quad (2-21)$$

dengan :

IR = kebutuhan air untuk pengolahan lahan (mm/hr)

M = kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evapotranspirasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm/hr)

$$= E_o + P \quad (2-22)$$

E<sub>o</sub> = evaporasi air terbuka selama penyiapan lahan (mm/hr)

$$= 1,1 \cdot E_{To} \quad (2-23)$$

P = perkolasi

$$k = (M \cdot T) / S \quad (2-24)$$

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = kebutuhan air untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm, yakni 200 + 50 = 250 mm seperti sudah diterangkan sebelumnya.

e = bilangan eksponensial (2,71828)

Berikut diperlihatkan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan yang dihitung menurut rumus di atas.

**Tabel 2.3. Nilai Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan**

Eo + P (mm/hari)	T (30 hari)		T (45 hari)	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,00	11,10	12,70	8,40	9,50
5,50	11,40	13,00	8,80	9,80
6,00	11,70	13,30	9,10	10,10
6,50	12,00	13,60	9,40	10,40
7,00	12,30	13,90	9,80	10,80
7,50	12,60	14,20	10,10	11,10
8,00	13,00	14,50	10,50	11,40
8,50	13,30	14,80	10,80	11,80
9,00	13,60	15,20	11,20	12,10
9,50	14,00	15,50	11,60	12,50
10,00	14,30	15,80	12,00	12,90
10,50	14,70	16,20	12,40	13,20
11,00	15,00	16,50	12,80	13,60

Sumber: Anonim/KP-01, 1986

#### 2.4.5. Pergantian Lapisan Air (WLR)

Penggantian lapisan air sangat berkaitan dengan kesuburan tanah dan dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan air yang terputus akibat kegiatan di sawah dengan ketentuan sebagai berikut (Anonim/KP 01, 1986).

- Setelah pemupukan diusahakan menjadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan.
- Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, lakukan pergantian sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hari selama setengah bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi.

Pergantian lapisan air hanya diperlukan untuk tanaman padi, sedangkan pada tanaman palawija, proses ini tidak diperlukan.

#### 2.4.6. Efisiensi Irigasi

Efisiensi air irigasi adalah perbandingan antara air irigasi yang sampai ke petak sawah dengan jumlah air irigasi yang didistribusikan. Perhitungan efisiensi tersebut diketahui dari evapotranspirasi. Sedangkan kehilangan air karena rembesan dan perkolasi tidak dapat dihitung dengan tepat.

Wirosoedarmo (1985), menyatakan efisiensi secara umum adalah perbandingan output terhadap input pada suatu usaha kerja atau kegiatan. Ditinjau dari segi pertanian,

maka efisiensi irigasi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah air yang nyata bermanfaat bagi tanaman yang diusahakan terhadap jumlah air yang tersedia atau diberikan.

Kehilangan air untuk operasi irigasi meliputi:

- a. kehilangan air di tingkat tersier antara 77.5% - 85%
- b. kehilangan air di tingkat sekunder antara 87.5% - 92.5%
- c. kehilangan air di tingkat primer antara 87.5% - 92.5%

Kehilangan yang ditentukan oleh pelaksanaan eksploitasi ada tiga tingkatan, yaitu:

1. Kehilangan air di tingkat tersier, melalui kehilangan air di sawah, di saluran kuarter dan saluran tersier.
2. Kehilangan air di tingkat primer, melalui kehilangan air di saluran primer.
3. Kehilangan air di tingkat sekunder, melalui kehilangan air di saluran sekunder.

Faktor yang mempengaruhi kehilangan air adalah:

1. Kehilangan air di tingkat tersier dan sawah
  - a. Kebocoran pematang
  - b. Kehilangan karena pemakaian
    - Kerja sama tingkat pemakai air
    - Tingkat pengawasan pemakai air
  - c. Pemberian air yang tidak dilaksanakan
  - d. Tidak sempurnanya bangunan pelimpah dan pintu
  - e. Rembesan pada saluran tersier dan kuarter
    - Tekstur tanah
    - Permeabilitas tanah
    - Umur saluran
    - Kepadatan tanggal
  - f. Kebocoran pada saluran tersier dan kuarter
    - Tingkat pemeliharaan saluran
    - Penyadap-penyadap liar
2. Kehilangan air di tingkat saluran primer dan sekunder yang terdiri dari:
  - a. Rembesan
  - b. Penyadap liar
  - c. Kebocoran
  - d. Pengaruh pemeliharaan saluran, pintu dan tanggul

Disamping itu, kehilangan air juga dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut:

1. Panjang saluran  
Makin panjang saluran, kemungkinan kehilangan air makin besar.
2. Keliling basah saluran  
Makin besar keliling basah saluran, makin besar kehilangan air.
3. Lapisan saluran  
Saluran yang tidak *dilining* lapisan pengerasan akan terjadi genangan air. Hal ini disebabkan karena adanya rembesan dan perkolasi.
4. Kedudukan air tanah  
Makin tinggi kedudukan air tanah, makin kecil pula faktor perembesannya.
5. Luas permukaan air pada saluran  
Makin luas permukaan yang terjadi karena adanya penguapan.

#### 2.4.7. Kebutuhan Air Irigasi

Irigasi merupakan penyaluran air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman ke tanah yang diolah dan mendistribusikannya secara sistematis. Perancangan irigasi disusun berdasarkan kondisi-kondisi meteorologi di daerah bersangkutan dan kadar air yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Sosrodarsano, 1976).

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut (KP-01 Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi, 1986) :

- a. Penyiapan lahan
- b. Penggunaan konsumtif
- c. Perkolasi
- d. Pergantian lapisan air
- e. Curah hujan efektif

##### 2.4.7.1. Metode Kriteria Perencanaan PU

- a. Kebutuhan air di sawah :

$$NFR = IR + Etc + P - R_{eff} + WLR \quad (2-25)$$

dimana :

- NFR = Kebutuhan air bersih di sawah (mm/hari)  
 IR = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)  
 Etc = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)  
 P = Perkolasi (mm/hari)  
 $R_{eff}$  = Curah hujan efektif (mm/hari)  
 WLR = Pergantian lapisan air (mm/hari)

b. Kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi

$$IR = \frac{NFR}{eff} \quad (2-26)$$

dimana :

Eff = Efisiensi irigasi

c. Kebutuhan air irigasi untuk tanaman palawija

$$IR = \frac{ET - Reff}{eff} \quad (2-27)$$

dimana :

ET = Kebutuhan air tanaman (mm/hari)

Reff = Curah hujan efektif (mm/hari)

eff = Efisiensi irigasi

#### 2.4.7.2. Metode Keseimbangan Air (*Water Balance*)

Kebutuhan air irigasi di sawah :

a. Untuk tanaman padi :

$$NFR = Cu + Pd + NR + P - R_{eff} \quad (2-28)$$

b. Untuk tanaman palawija :

$$NFR = Cu + P - R_{eff} \quad (2-29)$$

dimana :

NFR = Kebutuhan air di sawah ( $1 \text{ mm/hari} \times 10.000/24 \times 60 \times 60 = 1$ )  
(lt/dt/ha)

Cu = Kebutuhan air tanaman (mm/hari)

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

NR = Kebutuhan air untuk pembibitan (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

Reff = Curah hujan efektif (mm/hari)

### 2.5. Pola Tata Tanam

Pola tata tanam merupakan cara yang terpenting dalam perencanaan tata tanam. Maksud disediakanya tata tanam adalah untuk mengatur waktu, tempat, jenis dan luas tanaman pada daerah irigasi, tujuan tata tanam adalah untuk memanfaatkan persediaan air irigasi seefisien mungkin, sehingga tanaman dapat tumbuh baik

Dua hal pokok yang mendasari diperlukannya tata tanam adalah :

1. Persediaan air irigasi (dari sungai) di musim kemarau yang terbatas.
2. Air yang terbatas harus dimanfaatkan sebaik – baiknya sehingga tiap petak mendapatkan air secukupnya sesuai jumlah yang dibutuhkan.

Berdasarkan pengertian tata tanam seperti di atas, ada empat faktor yang harus di atur, yaitu :

1. Waktu

Pengaturan waktu dalam perencanaan tata tanam merupakan hal yang pokok. Sebagai contoh bila akan mengusahakan padi rendeng pertama – tama adalah melakukan pengolahan tanah untuk pembibitan. Pada waktu mulai tanam biasanya musim hujan mulai turun sehingga persediaan air relatif kecil. Untuk menghindari hal – hal yang tidak diinginkan maka waktu penggarapan dan urutan tata tanam diatur sebaik – baiknya.

2. Tempat

Pengaturan tempat misalnya hampir sama dengan pengaturan waktu. Dengan dasar pemikiran bahwa tanaman membutuhkan air dan persediaan air yang ada dipergunakan bagi tanaman. Untuk dapat mencapai hal itu tanaman diatur tempat penanamannya, agar pelayanan irigasi dapat lebih mudah.

3. Pengaturan jenis tanaman

Tanaman yang diusahakan antara lain padi, palawija, dan lain – lain. Tiap jenis tanaman mempunyai tingkat kebutuhan air yang berlainan. Berdasarkan hal tersebut, jenis tanaman yang diusahakan harus diatur sedemikian rupa sehingga kebutuhan air dapat terpenuhi. Misalnya persediaan air sedikit diusahakan dengan menanam tanaman yang membutuhkan air relatif sedikit. Sebagai contoh adalah penanaman padi, gandum dan palawija di musim kemarau. Pada musim kemarau persediaan air sedikit, untuk menghindari terjadinya lahan yang tidak terpakai areal tanaman harus dibatasi luasnya dengan menanamnya palawija. Berarti sudah memanfaatkan areal dan meningkatkan produksi pangan.

4. Pengaturan luas tanaman

Pengaturan luas tanaman hampir sama dengan pengaturan jenis tanaman. Pengaturan pada pembatasan luas tanaman akan membatasi besarnya kebutuhan air bagi tanaman yang bersangkutan. Pengaturan ini hanya terjadi pada daerah yang airnya terbatas, misalnya jika air irigasi yang sedikit, petani hanya boleh menanam palawija.

Tujuan dari ditetapkannya pola tata tanam adalah sebagai berikut :

1. Menghindari ketidakseragaman tanaman
2. Dengan jadwal tanaman yang sudah ditentukan akan memudahkan dalam proses penanaman dan pengelolaan air irigasi
3. Menjaga tingkat kesuburan tanaman
4. Peningkatan efisiensi irigasi dan hasil produksi pertanian
5. Penggunaan air seefektif dan seefisien mungkin

#### **2.5.1. Jadwal Tata Tanam**

Tujuan penyusunan jadwal tanam adalah agar air yang tersedia (dari sungai) dapat dimanfaatkan dengan efektif untuk irigasi, sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan tiap lahan. Pada musim kemarau, kekurangan jumlah air dapat diatasi dengan mengatur pola tata tanam sesuai tempat, jenis tanaman dan luas lahan.

Penentuan jadwal tata tanam harus disesuaikan dengan jadwal penanaman yang ditetapkan dalam periode musim hujan dan musim kemarau.

#### **2.5.2. Bentuk dan Jenis Pola Tata Tanam**

Dalam satu tahun terdapat dua kali masa tanaman, yaitu musim hujan (Oktober-Maret) dan musim kemarau (April-September). Batasan waktu tersebut digunakan untuk menentukan awal penanaman padi ( di musim hujan ), demikian pula untuk tanaman lainya.

Alternatif pola tanam :

1. Pola tata tanam I
  - ✓ Padi I  
Saat tanam pertengahan Oktober dan panen akhir Januari
  - ✓ Padi II  
Saat tanam akhir Januari dan panen pertengahan Mei
  - ✓ Palawija (jagung)  
Saat tanam pertengahan Mei dan Panen pertengahan Agustus
2. Pola tata tanam II
  - ✓ Padi I  
Saat tanam akhir Januari dan panen pertengahan Mei
  - ✓ Palawija (kacang tanah)  
Saat tanam pertengahan Mei dan panen akhir Agustus
  - ✓ Palawija (kacang tanah)  
Saat tanam akhir Agustus dan panen pertengahan Desember

**Tabel 2.4. Data Pola Tata Tanam Daerah Irigasi Kalisamas**

No.	Petak Tersier	Baku Sawah	Pola Tata Tanam
1	T. W1 ki	91	Padi-Padi/Palawija-Padi/Palawija
2	T.W2 ki	47	Padi/Palawija-Padi/Palawija-Padi/Palawija
3	T. W3 ki	60	Padi-Padi/Palawija-Padi/Palawija
4	T. W4 ki	92	Padi-Padi/Palawija-Palawija
5	T. W4 ka	48	Padi-Padi/Palawija-Palawija
6	T. Kr1 ki	119	Padi-Padi-Palawija
7	T. Kr1 ka1	16	Padi-Padi/Palawija-Padi/Palawija
8	T. Kr1 ka2	49	Padi-Padi/Palawija-Padi/Palawija
9	T. Kr2 ka	Saluran Kota	-
10	T. Kr3 ki	75	Padi-Padi-Palawija
11	T. Kr3 ka	89	Padi-Padi-Palawija
12	T. St1 ka1	46	Padi-Padi/Palawija-Padi/Palawija
13	T. St1 ka2	31	Padi-Padi-Palawija
14	T. St1 ka3	7	Padi-Padi-Palawija
15	T. St2 ki	64	Padi-Padi/Palawija-Padi/Palawija
16	T. St2 tgh	76	Padi-Padi/Palawija-Palawija
17	T. St2 ka	86	Padi-Padi/Palawija-Palawija

Sumber : Dinas Pengairan Kabupaten Probolinggo

## 2.6. Neraca Air

Untuk mengetahui kebutuhan air irigasi untuk tanaman dan debit andalan yang tersedia di intake maka dibuat neraca air untuk satu daerah irigasi. Sehingga kekurangan dan kelebihan air dapat dipantau atau dievaluasi pada perencanaan selanjutnya.

Dalam perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkannya untuk pola tata tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi akan terpenuhi kebutuhannya terhadap air. Bila debit sungai tidak berlimpah dan kadang – kadang terjadi kekurangan debit, maka ada 3 pilihan yang harus dipertimbangkan (KP-01, 1986) :

### 1. Luas daerah irigasi dikurangi

Bagian-bagian tertentu dari daerah yang bisa diairi (luas maksimum daerah layanan) tidak akan diairi.

### 2. Melakukan modifikasi dalam pola tata tanam

Dapat diadakan perubahan dalam pemilihan tanaman atau tanggal tanam untuk mengurangi kebutuhan air irigasi di sawah agar ada kemungkinan untuk mengairi areal yang lebih luas dengan debit yang tersedia.

### 3. Rotasi teknis atau golongan

Untuk mengurangi kebutuhan puncak air irigasi. Rotasi teknis atau golongan mengakibatkan eksploitasi yang lebih kompleks dan dianjurkan hanya untuk proyek irigasi yang luasnya sekitar 10.000 ha atau lebih.

## 2.7. Luas Palawija Relatif dan Faktor Palawija Relatif

Pada dasarnya nilai LPR adalah perbandingan antara luas baku terhadap palawija yang didasarkan pada jumlah kebutuhan air terhadap tanaman lainnya. Tanaman perbandingan yang digunakan adalah palawija yang mempunyai nilai 1 (satu). Semua kebutuhan tanaman yang akan dicari terlebih dahulu dikonversikan dengan kebutuhan air palawija yang akhirnya didapatkan satu angka sebagai faktor konversi untuk setiap jenis tanaman. Untuk mengetahui nilai LPR pada setiap jenis tanaman dapat dilihat pada tabel berikut (Anonymous, 2007) :

**Tabel 2.5. Kriteria LPR dari Tanaman**

Jenis Tanaman	Kebutuhan ( x Palawija )
Palawija	1
Padi Rendeng	
a. Untuk pembibitan, penggarapan lahan dan tanaman.	20
b. Untuk padi, penggarapan lahannya.	6
c. Untuk padi dewasa/tua	4
Padi Gadu Ijin	Sama dengan Padi Rendeng
Padi Gadu Tak Ijin	1
Tebu	
a. Bibit.	1,5
b. Muda.	1,5
c. Tua.	0
Tembakau atau Rosella	1

Sumber : DPU Dinas Tingkat I Jawa Timur, 1977

Untuk memudahkan pelaksanaan di lapangan, cara perhitungan kebutuhan tanaman di Jawa Timur memakai metode Faktor Palawija Relatif (FPR). FPR adalah rata-rata pemberian air minimum yang diijinkan dimana tanaman palawija dapat tumbuh tanpa memperhatikan kehilangan air baik di saluran maupun di sawah. Metode ini merupakan perbaikan dari metode yang ditetapkan oleh negara Belanda, yaitu metode Pasten. Persamaan untuk metode FPR yaitu :

$$FPR = \frac{Q}{LPR} \quad (2-30)$$

Keterangan:

FPR : Faktor palawija relatif (lt/dt/ha pol)

Q : Debit air (lt/dt)

LPR : Luas palawija relatif (ha)

Sedangkan katagori nilai FPR untuk keperluan operasional pembagian air pada petak tersier dapat dikategorikan sebagai berikut (Anonymous, 2007) :

- Baik, FPR = 0,25 – 0,35 lt/dt/ha.pol (bulan Oktober – Februari)
- Sedang, FPR = 0,35 – 0,45 lt/dt/ha.pol (bulan Maret – Juni)
- Kurang, FPR = 0,45 – 0,55 lt/dt/ha.pol (bulan Juli – September)

**Tabel 2.6. Kriteria FPR Berdasarkan Jenis Tanah**

Jenis Tanah	FPR (lt/dt/ha.pol)		
	Air Kurang	Air Cukup	Air Memadai
Aluvial	0,18	0,18 – 0,36	0,36
Latosol	0,12	0,12 – 0,23	0,23
Grumosol	0,06	0,06 – 0,12	0,12
Giliran	Perlu	Mungkin	Tidak

Sumber : DPU Dinas Tingkat 1 Jawa Timur, 1977

## 2.8. Debit Andalan

Debit andalan (*dependable flow*) 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 daripada debit andalan adalah 20%) debit andalan ditentukan untuk periode tengah bulanan. Debit minimum sungai dianalisis atas dasar data debit data harian sungai (Anonymous/KP-01, 1986).

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk keperluan tertentu (seperti irigasi, air minum, PLTA dll) sepanjang tahun dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Besarnya debit andalan yang diambil untuk penyelesaian optimal penggunaan air.

Prosedur perhitungan debit andalan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung total debit andalan dalam satu tahun untuk tiap tahun data yang diketahui.
2. Merangking data mulai dari yang besar hingga kecil
3. Menghitung probabilitas untuk masing – masing data dengan menggunakan persamaan weilbull. (Subrakah, 1980 : 111)

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-31)$$

dimana :

P = Probabilitas (%)

m = nomor urut data debit

n = Jumlah data debit

## 2.9. Program Dinamik

Program dinamik (*dynamic programming*) adalah suatu kumpulan teknik-teknik programisasi matematis yang digunakan untuk pengambilan keputusan yang terdiri dari banyak tahap (*multistage*). Suatu masalah pengambilan keputusan yang multistage dipisah-pisahkan menjadi suatu seri masalah (atau submasalah) yang berurutan dan saling berhubungan. Programisasi dinamik dikembangkan pertama kali oleh Richard E. Bellman pada tahun 1957 (Subagyo, 1984: 163).

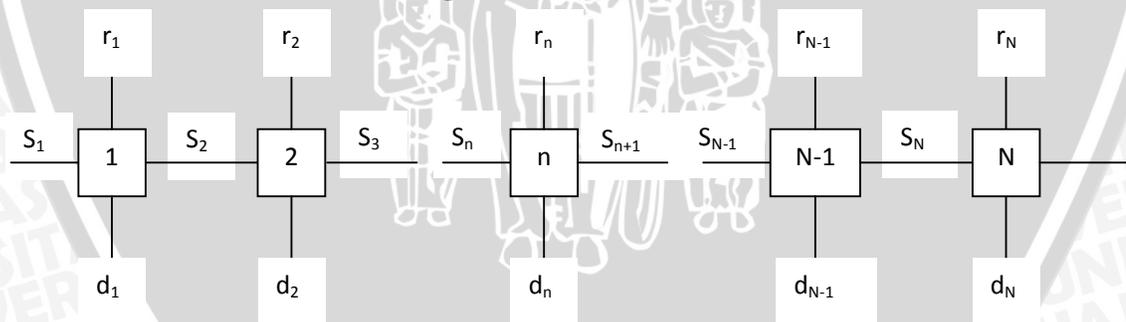
Tujuan utama model ini adalah untuk mempermudah penyelesaian persoalan optimasi yang mempunyai karakteristik tertentu. Ide dasar program dinamik ini adalah membagi persoalan menjadi beberapa bagian yang lebih kecil sehingga memudahkan penyelesaiannya. Akan tetapi, berbeda dengan program Dinamik, pada persoalan program dinamik ini tidak ada formulasi matematis yang standar. Karena itu, persamaan-persamaan yang terpilih untuk digunakan harus dikembangkan agar dapat memenuhi masing-masing situasi yang dihadapi. Dengan demikian, maka antara persoalan yang satu dengan persoalan lainnya dapat mempunyai struktur penyelesaian persoalan yang berbeda (Dimiyati, 1992: 279).

### 2.9.1. Konsep Dasar Program Dinamik

Program dinamik yang digunakan dalam studi ini adalah program dinamik stokastik. Program dinamik stokastik merupakan program dinamik dengan suatu distribusi probabilitas untuk ketetapan dalam tahap-tahap keputusan yang berurutan (Subagyo, 1984: 181). Program dinamik stokastik menangani situasi dimana sebagian atau semua parameter-parameter dari problem dinyatakan dalam bentuk variabel-variabel acak. Situasi demikian kelihatannya memang merupakan realitas dimana-mana, termasuk juga di dalam sistem keairan (*hydrosystem*), dimana adalah sulit untuk menentukan nilai-nilai dari parameter-parameter secara eksak. Cara analisa sensitivitas memang dapat digunakan untuk mempelajari efek dari perubahan-perubahan nilai-nilai dari parameter-parameter problem pada solusi optimal (Montarcih, 2009: 41). Analisa pada studi ini memakai program dinamik karena beberapa alasan sebagai berikut:

1. pada persoalan program dinamik ini tidak ada formulasi matematis yang standar sehingga persamaan-persamaan yang terpilih untuk digunakan disesuaikan dengan masing-masing situasi yang dihadapi,
2. optimasi yang dilakukan adalah pada setiap bangunan bagi dimana di setiap bangunan itu lahannya ditanami tanaman yang tidak sejenis sehingga variabelnya bersifat acak.

### 2.9.2. Elemen-Elemen Model Program Dinamik



Gambar 2.3. Diagram Urutan Problem Dinamik Serial

Mengacu Gambar 2.3 di atas, elemen-elemen model program dinamik adalah sebagai berikut (Montarcih, 2009: 49).

#### a. Tahap/Stage (n)

Merupakan bagian dari problem dimana keputusan (decision) diambil. Jika suatu problem dapat dipecah menjadi N subproblem, maka ada N tahap dalam formulasi

DP tersebut. Tahapan pada *multi stage problem* yang dimaksudkan dalam studi ini adalah tahapan tempat yaitu antara bangunan bagi yang satu dengan yang lain pada Induk Saluran Kali Metro Hilir.

b. Variabel Keputusan/*Decision Variable* ( $d_n$ )

Merupakan besaran dari keputusan (decision) yang diambil pada setiap tahap. Variabel keputusan dalam studi ini adalah besarnya debit yang dialokasikan pada tiap bangunan irigasi serta keuntungan bersih yang diperoleh. Keputusan yang diambil pada setiap tahap akan ditransformasikan dari keputusan yang bersangkutan ke keputusan berikutnya, sehingga didapat optimum secara keseluruhan.

c. Variabel Status/*State Variable* ( $S_n$ )

Merupakan variabel yang mewakili/menjelaskan status (*state*) dari sistem yang berhubungan dengan tahap ke- $n$ . Fungsi dari variabel status adalah untuk menghubungkan tahap-tahap secara berurutan sedemikian sehingga, apabila setiap tahap dioptimasi secara terpisah, maka keputusan yang dihasilkan adalah layak (*feasible*) untuk seluruh problem. Lebih lanjut, keputusan-keputusan optimal dapat diambil untuk tahap tersisa tanpa harus melakukan cek pada akibat dari keputusan berikutnya terhadap keputusan yang telah diambil terdahulu. Untuk tahap ke- $n$ , variabel status di belakangnya ( $S_n$ ) disebut sebagai variabel status input, sedangkan variabel status di depannya ( $S_{n+1}$ ) disebut sebagai variabel status output. Dalam studi ini, variabel status berupa debit yang ada atau tersedia terus menerus pada pintu pengambilan (*intake*) Bendung Sonosari.

d. Akibat Tahap/*Stage Return* ( $r_n$ )

Merupakan ukuran skalar dari hasil keputusan yang diambil pada setiap tahap. Akibat tahap (*stage return*) ini merupakan fungsi dari variabel-variabel  $S_n$  (status input),  $S_{n+1}$  (*state output*), dan  $d_n$  (keputusan), sehingga dapat dinyatakan sebagai fungsi berikut.

$$r_n = r(S_n, S_{n+1}, d_n) \quad (2-1)$$

Akibat tahap dalam studi ini merupakan keuntungan sebagai fungsi debit pada suatu kondisi debit tertentu.

- e. Transformasi Tahap/*Stage Transformation* atau Transisi Status/*State Transition* ( $t_n$ ) Merupakan suatu transformasi nilai tunggal yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel  $S_n$  (status input),  $S_{n+1}$  (status output), dan  $d_n$  (keputusan), yang dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$S_{n+1} = t_n(S_n, d_n) \quad (2-2)$$

*Stage Transformation* dalam studi ini adalah perubahan air tersedia sampai air yang terdistribusikan pada tiap bangunan irigasi pada Induk Saluran Metro Hilir.

### 2.9.3. Prosedur Perhitungan

Teknik perhitungan programisasi dinamik terutama didasarkan pada prinsip optimasi recursive (bersifat pengulangan) yang diketahui sebagai prinsip optimalisasi (*principle of optimality*). Prinsip ini mengandung arti bahwa bila dibuat keputusan multistage mulai pada tahap tertentu, kebijakan optimal untuk tahap-tahap selanjutnya tergantung pada ketetapan tahap permulaan tanpa menghiraukan bagaimana diperoleh suatu ketetapan tertentu tersebut (Subagyo, 1984: 165).