

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Umum

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 (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI nomor 23 tahun 2015).

Irigasi secara umum didefinisikan sebagai cara-cara pengelolaan dan pemanfaatan air yang ada (di/pada tanah) untuk keperluan mencukupi pertumbuhan dan tumbuhnya tanaman terutama bagi tanaman pokok (di Indonesia yang utama ditujukan untuk tanaman padi dan palawija) (Bardan, 2014, p.9).

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

Evaporasi adalah merupakan proses fisis yang merubah bentuk larutan atau cairan menjadi bentuk gas atau uap. Istilah ini juga diartikan sebagai jumlah uap air yang diuapkan dari satu permukaan tanah ataupun air (Hadisusanto, 2011, p.79). Evaporasi dapat terjadi di beberapa kondisi atau tempat, yaitu penguapan yang terjadi dari permukaan air (seperti laut, danau, sungai), permukaan tanah (genangan di atas tanah dan penguapan dari permukaan air tanah yang dekat dengan permukaan tanah), dan permukaan tanaman (intersepsi). Apabila permukaan air tanah cukup dalam, evaporasi dari air tanah adalah kecil dan dapat diabaikan. Intersepsi adalah penguapan yang berasal dari air hujan yang berada pada permukaan daun, ranting dan batang tanaman. Sebagian air hujan yang jatuh akan tertahan oleh tanaman dan menempel pada daun dan cabang, yang kemudian akan menguap (Triatmodjo, 2013, p.49).

Evaporasi dibedakan menjadi dua macam, yaitu (Hadisusanto, 2011, p.79) :

1. Evaporasi aktual yaitu proses evaporasi yang berlangsung pada kondisi alami terjadi pada keadaan daerah pada waktu tertentu, sehingga nilainya sangat bergantung pada kondisi lingkungan yang berlaku pada saat ini.

2. Evaporasi potensial yaitu proses evaporasi yang terjadi pada suatu permukaan penguapan yang berada dalam kondisi kecukupan air, evaporasi potensial sering disebut sebagai kemampuan maksimal dari suatu permukaan dalam penguapan air.

### 2.2.2 Transpirasi

Transpirasi adalah suatu proses dimana air di dalam permukaan tanah (*soil moisture*) dipompa ke atas oleh perakaran tanaman dan selanjutnya diuapkan. Jenis vegetasi, kerapatan dan penutupan tanaman berpengaruh secara langsung terhadap jumlah air pada permukaan tanah di dalam DAS yang teruapkan melalui transpirasi. Karakteristik spesifik tanaman seperti jenis dan kedalaman perakaran, berapa banyak air yang bergerak masuk dan keluar dari daun dan sifat pemantulan oleh permukaan daun akan berpengaruh juga terhadap karakteristik transpirasi tanaman (Indarto, 2012, p.31).

Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya dan masing-masing jenis tanaman berbeda kebutuhannya. Hanya sebagian kecil air yang tinggal di dalam tubuh tanaman, sebagian besar air setelah diserap lewat akar dan dahan ditranspirasikan melalui pori-pori daun. Proses transpirasi berjalan 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. Ketika pori-pori ini menutup menyebabkan terhentinya proses transpirasi secara drastis

Tanaman rumput, perdu, sayuran dan sereal mempunyai masa tumbuh yang singkat (musiman) sehingga periode transpirasi juga lebih pendek dari pada tanaman hutan. 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*). Kondisi iklim, umur tanaman, luas permukaan daun, semua faktor tersebut berpengaruh terhadap laju transpirasi tanaman.

Proses transpirasi dapat dibedakan menjadi dua kelompok antara lain (Hadisusanto, 2011, p.79) :

- a. Transpirasi aktual yaitu peristiwa transpirasi yang terjadi pada tanaman yang tumbuh dalam kondisi tertentu dan pada waktu tertentu pula.
- b. Transpirasi potensial yaitu peristiwa transpirasi yang terjadi pada tanaman yang tumbuh pada kondisi yang tidak pernah mengalami kekurangan air selama pertumbuhannya.

### 2.2.3 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi sangat erat berkaitan dengan kebutuhan air tanaman. Kebutuhan air tanaman adalah sejumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti air yang hilang akibat

penguapan. Penguapan dalam hal ini meliputi penguapan dari permukaan air dan daun-daun tanaman. Bila kedua proses terjadi bersamaan, maka terjadilah evapotranspirasi, yaitu gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan melalui tanaman (transpirasi) (Limantara, 2010, p.21).

Di lapangan, sulit membedakan antara penguapan dari badan air, tanah dan tanaman. Oleh karena itu, biasanya evaporasi dan transpirasi dicakup menjadi satu yang disebut evapotranspirasi : yaitu penguapan yang terjadi di permukaan lahan, yang meliputi permukaan tanah dan tanaman yang tumbuh di permukaan tersebut. Laju evapotranspirasi tergantung pada ketersediaan air dan kemampuan atmosfer mengevapotranspirasikan air dari permukaan (Triatmodjo, 2013, p.50).

Terdapat dua istilah dalam evapotranspirasi, yaitu (Hadisusanto, 2011, p.80) :

1. Evapotranspirasi aktual yaitu evapotranspirasi yang terjadi pada tanaman yang tumbuh di atas tanah tertentu dan pada waktu tertentu pula. Hal ini tergantung pada kondisi lingkungan yang terjadi pada saat itu.
2. Evapotranspirasi potensial oleh Penman telah diartikan sebagai suatu proses evapotranspirasi yang terjadi pada tanaman yang berwarna hijau, mempunyai ketinggian pendek dan seragam serta menutup permukaan tanah secara sempurna dan tidak pernah mengalami kekurangan air selama pertumbuhannya.

Faktor klimatologi yang mempengaruhi besarnya evapotranspirasi adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2013, p.50) :

1. Radiasi matahari

Radiasi matahari di suatu lokasi bervariasi sepanjang tahun, yang tergantung pada letak lokasi (garis lintang) dan deklinasi matahari. Pada Bulan Desember kedudukan matahari berada jauh di selatan, sementara pada Bulan Juni kedudukan matahari berada jauh di utara. Daerah yang berada di belahan bumi selatan menerima radiasi maksimum matahari pada Bulan Desember, sementara radiasi terkecil terjadi pada Bulan Juni. Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi juga dipengaruhi oleh penutupan awan. Penutupan oleh awan dinyatakan dalam persentase dari lama penyinaran matahari nyata terhadap lama penyinaran matahari yang mungkin terjadi.

2. Temperatur/Suhu udara

Temperatur udara pada permukaan evaporasi sangat berpengaruh terhadap evaporasi. Semakin tinggi temperatur semakin besar kemampuan udara untuk menyerap uap air. Selain itu semakin tinggi temperatur, energi kinetik molekul air meningkat sehingga molekul air semakin banyak yang berpindah ke lapis udara di atasnya dalam bentuk uap

air. Oleh karena itu di daerah beriklim tropis jumlah evaporasi lebih tinggi dibanding dengan daerah di kutub (daerah beriklim dingin).

### 3. Kelembaban

Pada saat terjadi penguapan, tekanan udara pada lapisan udara tepat di atas permukaan air lebih rendah dibanding tekanan pada permukaan air. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan terjadinya penguapan. Pada waktu penguapan terjadi, uap air bergabung dengan udara di atas permukaan air sehingga udara mengandung uap air. Udara lembab merupakan campuran dari udara kering dan uap air. Apabila jumlah air yang masuk ke udara semakin banyak, tekanan uapnya juga semakin tinggi. Akibatnya perbedaan tekanan uap semakin kecil, yang menyebabkan berkurangnya laju penguapan. Apabila udara di atas permukaan air sudah jenuh uap air, tekanan udara telah mencapai tekanan uap jenuh, dimana pada saat itu penguapan terhenti. Kelembaban udara dinyatakan dengan kelembaban relatif.

### 4. Kecepatan Angin

Penguapan yang terjadi menyebabkan udara di atas permukaan evaporasi menjadi lebih lembab, sampai akhirnya udara menjadi jenuh terhadap uap air dan proses evaporasi terhenti. Agar proses penguapan dapat berjalan terus lapisan udara yang telah jenuh tersebut harus diganti dengan udara kering. Penggantian tersebut dapat terjadi apabila ada angin. Oleh karena itu kecepatan angin merupakan faktor penting dalam evaporasi. Di daerah terbuka dan banyak angin penguapan akan lebih besar dari pada di daerah yang terlindung dan udara diam.

Metode yang digunakan dalam studi ini adalah metode Penman Modifikasi. Dalam analisa 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 dengan rumus yang lain.

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

Tabel 2.1 Hubungan t dengan ea, w dan f(t)

Suhu (t)	ea (mbar)	w	1-w	f(t)
24.0	29.845	0.735	0.265	15.400
24.2	30.213	0.737	0.263	15.445
24.4	30.581	0.739	0.261	15.491
24.6	30.950	0.741	0.259	15.536
24.8	31.319	0.743	0.257	15.581
25.0	31.688	0.745	0.255	15.627
25.2	32.073	0.747	0.253	15.672
25.4	32.458	0.749	0.251	15.717
25.6	32.844	0.751	0.249	15.763
25.8	33.230	0.753	0.247	15.808
26.0	33.617	0.755	0.245	15.853
26.2	34.024	0.757	0.243	15.898
26.4	34.431	0.759	0.241	15.944
26.6	34.839	0.761	0.239	15.989
26.8	35.247	0.763	0.237	16.034
27.0	35.656	0.765	0.235	16.079
27.2	36.085	0.767	0.233	16.124
27.4	36.515	0.769	0.231	16.170
27.6	36.945	0.771	0.229	16.215
27.8	37.376	0.773	0.227	16.260
28.0	37.807	0.775	0.225	16.305
28.2	38.259	0.777	0.223	16.350
28.4	38.711	0.779	0.221	16.395
28.6	39.163	0.781	0.219	16.440
28.8	39.616	0.783	0.217	16.485
29.0	40.070	0.785	0.215	16.530
29.2	40.544	0.787	0.213	16.575
29.4	41.019	0.789	0.211	16.620
29.6	41.494	0.791	0.209	16.665
29.8	41.969	0.793	0.207	16.711
30.0	42.445	0.795	0.205	16.755

Sumber : Suhardjono (1994 p.58)

Tabel 2.2 Besaran Angka Angot (Ra) dalam mm/hari

Bulan	Letak Lintang								
	5 LU	4 LU	2 LU	0	2 LS	4 LS	6 LS	8 LS	10 LS
Januari	13.00	14.30	14.70	15.00	15.30	15.50	15.80	16.10	16.10
Februari	14.00	15.00	15.30	15.50	15.70	15.80	16.00	16.10	16.00
Maret	15.00	15.50	15.60	15.70	15.65	15.60	15.60	15.50	15.30
April	15.10	15.50	15.30	15.30	15.10	14.90	14.70	14.40	14.00
Mei	15.30	14.90	14.60	14.40	14.10	13.80	13.40	13.10	12.60
Juni	15.00	14.40	14.20	13.90	13.50	13.20	12.80	12.40	12.60
Juli	15.10	14.60	14.30	14.10	13.70	13.40	13.10	12.70	11.80
Agustus	15.30	15.10	14.90	14.80	14.50	14.30	14.00	13.70	12.20
September	15.10	15.30	15.30	15.30	15.20	15.10	15.00	14.90	13.30
Oktober	15.70	15.10	15.20	15.40	15.50	15.60	15.70	15.80	14.60
November	14.80	14.50	14.80	15.10	15.30	15.50	15.75	16.00	15.60
Desember	14.60	14.10	14.40	14.80	15.10	15.40	15.70	16.10	16.00
Min	13.00	14.10	14.20	13.90	13.50	13.20	12.80	12.40	11.80
Maks	15.70	15.50	15.60	15.70	15.70	15.80	16.00	16.10	16.10
Rerata	14.83	14.86	14.88	14.94	14.89	14.84	14.80	14.73	14.18

Sumber : Suhardjono (1994 p.42)

Perhitungan ETo berdasarkan rumus Penman yang telah disederhanakan adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994, p.95) :

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

$$ETo^* = W (0,75 R_s - R_{n1}) + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) \quad (2-2)$$

dengan

W = faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi

R<sub>s</sub> = radiasi gelombang pendek, dalam satuan avaporasi ekivalen (mm/hari)

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

R<sub>a</sub> = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer atau angka angot (mm/hari)

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

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

f(t) = fungsi suhu

$$f(t) = \sigma \cdot T_a^4 \quad (2-5)$$

f(ed) = fungsi tekanan uap

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

f(n/N) = fungsi kecerahan

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

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

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

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

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

ea = tekanan uap sebenarnya yang besarnya berhubungan dengan t

RH = kelembaban udara relatif (%)

Setelah harga  $ET_0^*$  didapat, maka besar harga evapotranspirasi potensial ( $ET_0$ ) dapat dihitung dengan rumus berikut (Suhardjono, 1994, p.95).

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

dengan :

c = angka koreksi Penman yang besarnya mempertimbangkan perbedaan cuaca.

Tabel 2.3 Besaran Angka Koreksi ( c ) Bulanan

Bulan	Angka Koreksi ( c )		
	Blaney - Criddle	Radiasi	Penman
Januari	0.800	0.800	1.100
Februari	0.800	0.800	1.100
Maret	0.750	0.750	1.000
April	0.750	0.750	1.000
Mei	0.700	0.700	0.950
Juni	0.700	0.700	0.950
Juli	0.750	0.750	1.000
Agustus	0.750	0.750	1.000
September	0.800	0.800	1.100
Oktober	0.800	0.800	1.100
November	0.825	0.825	1.150
Desember	0.825	0.825	1.150

Sumber : Suhardjono (1994 p.64)

Prosedur perhitungan  $ET_0$  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 Ra 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 Analisa Curah Hujan

Stasiun penakar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik dimana stasiun tersebut berada, sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran yang ditempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat di masing-masing stasiun dapat tidak sama. Dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut, yang dilakukan dengan tiga metode berikut yaitu metode rerata aljabar, metode poligon Thiessen dan metode isohiet (Triatmodjo, 2013, p.31):

Pada umumnya untuk menghitung curah hujan daerah dapat digunakan standar luas daerah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1985, p.51) :

1. Daerah dengan luas 250 Ha yang mempunyai variasi topografi kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur hujan.
2. Daerah dengan luas 250 Ha sampai 50000 Ha dengan dua atau tiga titik pengamatan hujan dapat digunakan cara rerata aljabar.
3. Daerah dengan luas 120000 Ha sampai 500000 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 500000 Ha dapat digunakan cara Isohiet.

Berdasarkan data curah hujan selama 10 tahun pada tiga stasiun curah hujan yang mewakili Daerah Irigasi Jati Ampuh, 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 (Triatmodjo, 2013, p.32):

$$p = \frac{1}{n} (p_1 + p_2 + \dots + p_n) \quad (2-11)$$

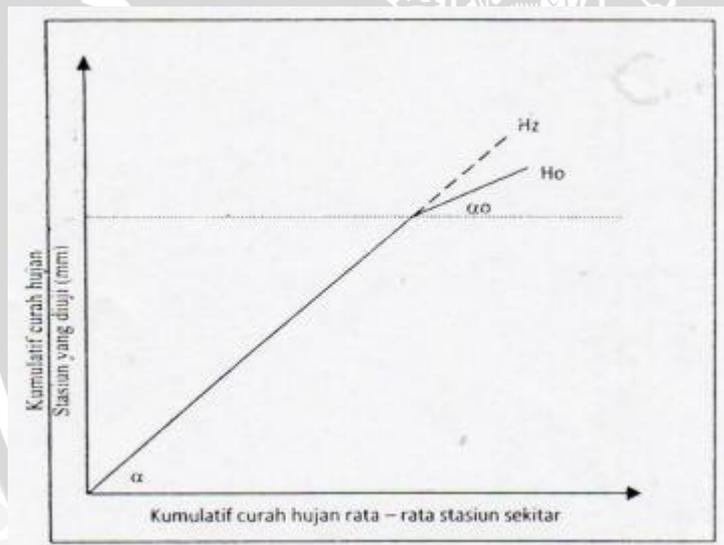
dengan :

- $p$  = hujan rerata kawasan  
 $p_1 + p_2 + \dots + p_n$  = hujan di stasiun 1,2, ..., n  
 $n$  = jumlah stasiun

### 2.3.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Perubahan lokasi stasiun hujan atau perubahan prosedur pengukuran dapat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap jumlah hujan yang terukur, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan. Konsistensi dari pencatatan hujan diperiksa dengan metode kurva massa ganda. Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun  $y$  terhadap stasiun referensi  $x$ . Stasiun referensi biasanya adalah nilai rerata dari beberapa stasiun di dekatnya. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada sistem koordinat kartesian  $x$ - $y$ , dan kurva yang terbentuk diperiksa untuk melihat perubahan kemiringan (Triatmodjo, 2013, p.41).

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



Gambar 2.1 Analisa Kurva Massa Ganda

Sumber: Soemarto (1986:39)

Data yang tidak konsisten dapat ditunjukkan oleh penyimpangan garisnya dari garis lurus. Penyimpangan kemiringan kurva massa ganda disebabkan oleh banyak hal, misalnya (Soewarno, 1995,p.28) :

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 (Soemarto, (1986:40) :

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

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

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 Analisa 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. Menjaga agar ketersediaan air di dalam tanah selalu berada dalam keadaan yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman maka diperlukan adanya pemberian air irigasi 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 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 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 Analisa 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 rerata aljabar 10 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 sebagai berikut ;

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

dengan :

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

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

Besarnya curah hujan efektif untuk tanaman palawija ditentukan dari curah hujan rerata aljabar 10 harian dengan kemungkinan kegagalan 50% atau curah hujan  $R_{50}$  dengan persamaan seperti di bawah ini

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

Sedangkan untuk besarnya curah hujan efektif untuk tanaman tebu ditentukan dengan 60% dari curah hujan rerata aljabar 10 harian dengan kemungkinan kegagalan 20% atau curah hujan  $R_{80}$ . Curah hujan efektif diperoleh dari 60% nilai  $R_{80}$  per periode waktu pengamatan dengan persamaan sebagai berikut ;

$$R_{\text{tebu}} = 0,6 \times R_{80} \quad (2-17)$$

## 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, p.6).

Besarnya kebutuhan air di sawah dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

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

Pada skripsi ini, kebutuhan air di sawah dihitung dengan menggunakan metode keseimbangan air (*water balance*), rincian perhitungannya dapat dilihat pada pembahasan berikut :

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

Kebutuhan air irigasi di sawah :

- a. Untuk tanaman padi

$$\text{NFR} = \text{Cu} + \text{PL} + \text{WLR} + \text{P} - \text{R}_{\text{eff}} \quad (2-18)$$

- b. Untuk tanaman palawija dan tebu

$$\text{NFR} = \text{Cu} + \text{P} - \text{R}_{\text{eff}} \quad (2-19)$$

dimana :

NFR = kebutuhan air di sawah (lt/dt/ha)

Cu = kebutuhan air tanaman (mm/hari)

PL = kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)

WLR = kebutuhan air untuk pergantian lapisan air (mm/hari)

P = perkolasi (mm/hari)

R<sub>eff</sub> = curah hujan efektif (mm/hari)

#### 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, p.13):

- 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, p.13) :

- Jenis tanaman
- Varietas (macam) tanaman
- 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, p.13):

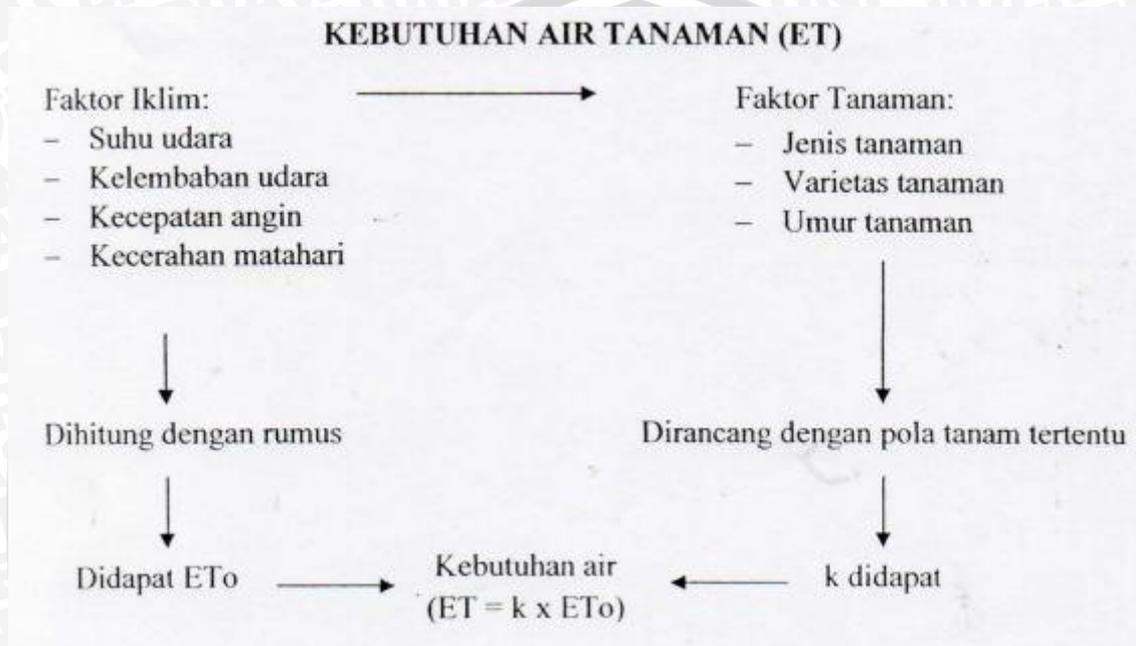
$$ET = k \cdot ETo \quad (2-20)$$

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)



Gambar 2.2 Diagram Alur Kebutuhan Air Tanaman

Sumber : Suhardjono (1994:13)

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 2.4 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, 2013

### 2.4.3 Perkolasi

Perkolasi adalah pergerakan air sampai ke bawah dari zone tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai bawah permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah berada 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*).

Perkolasi tidak terlalu penting pada kondisi alam karena adanya strategi dalam perkolasi akibat adanya lapisan-lapisan semi kedap air yang menyebabkan *extra storage* sementara di daerah tak jenuh. Beberapa saat setelah air meresap ke dalam tanah, air yang diinfiltrasi akan berkurang yaitu untuk mengisi rongga-rongga tanah yang akan terperkolasi. Jika daya perkolasi kecil, akan timbul muka air tanah yang membentuk lapisan semi kedap air. Dalam *recharge* buatan, perkolasi mempunyai arti penting, dimana infiltrasi terjadi terus-menerus karena alasan teknis (Limantara, 2008, p.25).

Faktor-faktor yang mempengaruhi perkolasi antara lain ;

#### 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. Semakin tinggi nilai permeabilitas tanah, maka semakin tinggi pula tingkat perkolasinya. Semakin kecil nilai permeabilitas tanah, maka semakin kecil pula tingkat perkolasinya.

### 3. Tebal lapisan tanah bagian atas

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

### 4. Tanaman penutup

Lindungan tumbuh-tumbuhan yang padat menyebabkan daya infiltrasi semakin besar yang berarti pula daya perkolasi adalah besar.

Berdasarkan besarnya perkolasi, berikut macam tanah dan tingkat perkolasinya,

Tabel 2.5 Nilai Koefisien Perkolasi

Macam Tanah	Perkolasi (mm/hari)
Sandy Loam	3-8
Loam	2-3
Clay Loam	1-2

Sumber : Wirosoedarmo (1985 p.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 berstekstur berat tanpa retak-retak, kebutuhan air untuk penyiapan lahan diambil 200 mm. Ini termasuk air untuk penjenuhan 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.

Jika lahan dibiarkan berro 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.

Dalam praktiknya, pengolahan tanah tidak didahulukan serentak, misalnya untuk suatu petak tersier. Petak tersier diolah berkisar antara 10-15 hari, sedangkan untuk daerah irigasi yang luas, baru bisa diselesaikan sekitar 30-45 hari. Hal ini, juga tergantung dari 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 (Wirosodarmo, 1985, p.103) :

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

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan dapat dihitung dengan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (1986) dengan persamaan sebagai berikut (Bardan, 2014, p.58) :

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

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)

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

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 yang sudah diterangkan sebelumnya.

E = bilangan eksponensial (2,71828)

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

Tabel 2.6 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 : KP-PU, 2013

#### 2.4.5 Pergantian Lapisan Air (WLR)

Pergantian lapisan air sangat berkaitan dengan kesuburan tanah. Beberapa saat setelah penanaman, air yang digenangkan di permukaan sawah akan kotor dan mengandung zat-zat yang tidak lagi diperlukan tanaman, bahkan akan merusak. Air genangan ini perlu dibuang agar tidak merusak tanaman di lahan. Saat pembuangan lapisan genangan, sampah-sampah yang ada di permukaan air akan tertinggal, demikian lumpur yang terbawa dari aliran saat pengairan. Air genangan yang dibuang perlu diganti dengan air baru yang lebih bersih (Limantara, 2008, p.24).

Adapun ketentuan dalam WLR adalah sebagai berikut

- WLR diperlukan saat terjadi pemupukan atau penyiangan yaitu 1-2 bulan dari *transplanting*.
- WLR = 50 mm selama sebulan sampai dua bulan setelah transplantasi (1,667 mm/hari). WLR diasumsikan sebesar 50 mm, hal itu berdasarkan KP bagian penunjang.

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 bahwa “ Efisiensi secara umum adalah perbandingan output terhadap input pada usaha kerja atau kegiatan. Ditinjau dari segi pertanian, maka efisiensi irigasi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah air nyata bermanfaat bagi tanaman yang diusahakan terhadap jumlah air yang tersedia atau diberikan “ (p.84).

Kehilangan air untuk operasi irigasi meliputi :

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

Faktor yang mempengaruhi kehilangan air adalah ;

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

f. Kebocoran pada saluran tersier dan kuarter

- Tingkat pemeliharaan saluran
- Penyadap-penyadap liar

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

1. Panjang saluran

Semakin panjang saluran, kemungkinan kehilangan air semakin besar.

2. Keliling basah saluran

Semakin besar keliling basah saluran, maka semakin besar kehilangan air

3. Lapisan saluran

Saluran yang tidak dilapisi dengan pengecoran akan menyebabkan kehilangan air. Hal ini disebabkan karena adanya rembesan dan perkolasi.

4. Kedudukan air tanah

Makin tinggi kedudukan air tanah, maka makin kecil faktor perembesannya.

5. Luas permukaan air pada saluran

Semakin luas permukaan air, semakin tinggi tingkat kehilangan airnya. Hal ini disebabkan oleh evaporasi yang terjadi.

## 2.5 Pola Tata Tanam

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

Dua hal pokok yang mendasari diperlukannya tata tanam adalah :

1. Persediaan air irigasi 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 4 faktor yang harus diatur, yaitu:

1. Waktu

Pengaturan waktu dalam perencanaan tata tanam merupakan hal yang pokok. Sebagai contoh bila hendak 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 masalahnya 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 jika persediaan air sedikit diusahakan dengan menanam tanaman yang membutuhkan air relatif sedikit. Sebagai contoh adalah penanaman padi, gandum dan palawija dimusim 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 penanaman 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 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 tanam, 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 lainnya.

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).

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 2.7 Contoh Pola Tata Tanam yang Dapat Dipakai

Ketersediaan air untuk jaringan irigasi	Pola Tanam Dalam Satu Tahun.
Tersedia air cukup banyak	Padi - Padi - Palawija
Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi - Padi – Bero Padi - Palawija – Palawija
Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi - Palawija - Bero Palawijaya - Padi - Bero

Sumber : Bardan (2014 p.72)

### 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 yang

tersedia melimpah, maka luas daerah irigasi akan terpenuhi kebutuhannya terhadap air. Bila debit tidak berlimpah dan kadang – kadang terjadi kekurangan debit, maka ada 3 pilihan yang harus dipertimbangkan:

1. Luas daerah irigasi dikurangi

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

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 mengalir 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 Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan (Limantara, 2010, p.87). Dalam perencanaan proyek-proyek penyediaan air terlebih dahulu harus dicari debit andalan (*dependable discharge*), yang tujuannya adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai.

Data debit diperoleh dari pengukuran debit 10 harian selama 10 tahun. Dengan data ini, dapat dihitung debit andalan untuk irigasi yang dianalisis sebesar 80% kejadian dipenuhi atau dilampaui. Debit tersebut digunakan sebagai patokan ketersediaan debit yang masuk ke masing-masing jaringan irigasi. Untuk menghitung debit andalan tersebut dihitung peluang 80% dari debit rata-rata sumber air pada pencatatan debit setiap jaringan irigasi dengan periode tiap 10 harian.

Prosedur perhitungan debit andalan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung total debit andalan dalam satu tahun untuk tiap tahun data yang diketahui.
2. Meranking data mulai dari yang besar hingga kecil
3. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan menggunakan persamaan Weibull, dengan rumus

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-25)$$

dimana :

- P = probabilitas (%)  
 m = nomor urut data debit  
 n = jumlah data debit

## 2.8 Optimasi dengan Program Linier

Optimasi adalah suatu rancangan dalam pemecahan model-model perencanaan dengan mendasarkan pada fungsi matematika yang membatasi. *Linier Programming* atau Program Linier adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan linier. (Limantara & Soetopo, 2009)

Dalam penerapannya, program linear memiliki beberapa kelebihan-kelebihan yaitu (Limantara & Soetopo, 2009) :

- Metode ini dapat dipakai untuk menyelesaikan sistem dengan perubah dan kendala yang cukup banyak.
- Penggunaan metode ini mudah, selain itu ditunjang oleh banyak paket program yang sudah beredar.
- Fungsi matematikanya sederhana.
- Hasilnya cukup handal.

### 2.8.1 Formulasi Program Linier

Model perumusan masalah dalam program linier memiliki tiga macam fungsi, yaitu variabel putusan, fungsi tujuan (*objective function*), dan fungsi batasan (*constraint functions*).

Formulasi model program linier ;

#### 1) Variabel Putusan

Adalah variabel yang akan dicari dan memberi nilai yang paling baik bagi tujuan yang hendak dicapai.

#### 2) Fungsi Tujuan

Adalah fungsi matematika yang harus dimaksimumkan atau diminimumkan, dan mencerminkan tujuan yang hendak dicapai.

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n \quad (2-26)$$

Dalam studi ini tujuan yang akan dicapai adalah untuk memperoleh keuntungan yang sebesar-besarnya dalam kaitannya dengan usaha pertanian untuk setiap periode musim tanam.

Memaksimumkan

$$Z = \sum_{n=1}^n c_n x_n \quad (2-27)$$

keterangan :

$Z$  = fungsi tujuan (Keuntungan Maksimum Hasil Pertanian/Rp)

$C_n$  = keuntungan/manfaat bersih irigasi sawah (Rp/Ha)

$X_n$  = luas areal irigasi (Ha)

Fungsi tujuan dalam program linier ini mencerminkan atau menggambarkan tujuan yang akan dicapai dalam pemecahan suatu masalah program linier.

Contoh :

$$Z_n = (c_1 \times \sum_{n=1}^{30} X_n) + (c_2 \times \sum_{n=31}^{n=30} X_n) \quad (2-28)$$

dimana

$C_1$  = keuntungan jenis tanaman padi

$C_2$  = keuntungan jenis tanaman palawija

$X_n$  = jumlah luas irigasi (Ha)

### 3) Fungsi Kendala

Adalah fungsi matematika yang menjadi kendala bagi usaha untuk memaksimumkan atau meminimumkan fungsi tujuan, mewakili kendala yang harus dicapai.

Fungsi Kendala

$$1. a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n} \leq b_1 \quad (2-29)$$

$$2. a_{12}X_2 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \quad (2-30)$$

$$m a_{m1} X_1 + m a_{m2} X_2 + \dots + m a_{mn} X_n \leq b_m \quad (2-31)$$

dan

$$X_1 \geq 0 ; X_2 \geq 0 ; \dots ; X_n \geq 0 \quad (2-32)$$

Dalam suatu analisa optimasi, sumber daya yang akan dianalisa harus dalam keadaan terbatas. Keterbatasan sumber daya tersebut dinamakan sebagai syarat ikatan atau kendala. Fungsi kendala ini merupakan persamaan yang membatasi kegunaan utama dan bentuk fungsi kendala ini adalah besar debit dan luas lahan.

1. Kendala volume debit, yaitu debit air yang dibutuhkan tanaman pada periode bulan berdasarkan hasil perhitungan.

$$\sum_{n=1}^n a_{mn} x_n \leq b_m \quad (2-33)$$

dan

$$x_n \geq 0 \quad (2-34)$$

untuk  $m = 1, 2, 3, \dots, m$

untuk  $n = 1, 2, \dots, n$

dimana :

$X_n$  = variabel sasaran irigasi (luas areal irigasi) (Ha)

$a_{mn}$  = konstanta (volume kebutuhan air irigasi) ( $m^3/\text{Ha}$ )

$b_m$  = volume ketersediaan air ( $m^3$ )

$m$  = jumlah kendala

$n$  = jumlah variabel keputusan

Persamaan diatas juga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

contoh :

$$FK_1 = (a_1 \times \sum_{n=1}^{28} X_n) + (a_2 \times \sum_{n=29}^{n=28} X_n) \leq b \quad (2-35)$$

dengan :

$a$  = volume kebutuhan air 1 periode ( $m^3/\text{Ha}$ )

$b$  = Volume air dari Q andalan ( $m^3$ )

Analisa optimasi yang dilakukan dalam studi ini adalah menggunakan debit andalan 80% yang merupakan fungsi kendala.

2. Kendala luas lahan, yaitu luas lahan yang bisa ditanami oleh tanaman untuk setiap pola tata tanam ( $X_n$ ), dimana luas lahan maksimum adalah 497 Ha. Formulasinya ditulis dalam;

$$K = X_1 + X_2 + X_3 \leq X_m \quad (2-36)$$

dengan :

$K$  = Fungsi Kendala

$X_1$  = Luas Padi

$X_2$  = Luas Palawija

$X_3$  = Luas Tebu

$X_m$  = Luas Lahan

Tabel 2.8 Contoh Kendala Luas

No	Fungsi Kendala		Variabel			Luas Lahan	
			Padi		Palawija		
1	K <sub>1</sub>	=	X <sub>1</sub>	+	X <sub>23</sub>	≤	8
2	K <sub>2</sub>	=	X <sub>2</sub>	+	X <sub>24</sub>	≤	3
3	K <sub>3</sub>	=	X <sub>3</sub>	+	X <sub>25</sub>	≤	4
4	K <sub>4</sub>	=	X <sub>4</sub>	+	X <sub>26</sub>	≤	13
5	K <sub>5</sub>	=	X <sub>5</sub>	+	X <sub>27</sub>	≤	15
6	K <sub>6</sub>	=	X <sub>6</sub>	+	X <sub>28</sub>	≤	3
7	K <sub>7</sub>	=	X <sub>7</sub>	+	X <sub>29</sub>	≤	28
8	K <sub>8</sub>	=	X <sub>8</sub>	+	X <sub>30</sub>	≤	3
9	K <sub>9</sub>	=	X <sub>9</sub>	+	X <sub>31</sub>	≤	4
10	K <sub>10</sub>	=	X <sub>10</sub>	+	X <sub>32</sub>	≤	21
11	K <sub>11</sub>	=	X <sub>11</sub>	+	X <sub>33</sub>	≤	22
12	K <sub>12</sub>	=	X <sub>12</sub>	+	X <sub>34</sub>	≤	11
13	K <sub>13</sub>	=	X <sub>13</sub>	+	X <sub>35</sub>	≤	48
14	K <sub>14</sub>	=	X <sub>14</sub>	+	X <sub>36</sub>	≤	28
15	K <sub>15</sub>	=	X <sub>15</sub>	+	X <sub>37</sub>	≤	33
16	K <sub>16</sub>	=	X <sub>16</sub>	+	X <sub>38</sub>	≤	88
17	K <sub>17</sub>	=	X <sub>17</sub>	+	X <sub>39</sub>	≤	43
18	K <sub>18</sub>	=	X <sub>18</sub>	+	X <sub>40</sub>	≤	9
19	K <sub>19</sub>	=	X <sub>19</sub>	+	X <sub>41</sub>	≤	11
20	K <sub>20</sub>	=	X <sub>20</sub>	+	X <sub>42</sub>	≤	15
21	K <sub>21</sub>	=	X <sub>21</sub>	+	X <sub>43</sub>	≤	14
22	K <sub>22</sub>	=	X <sub>22</sub>	+	X <sub>44</sub>	≤	73

Sumber : Perhitungan

Fungsi tujuan dalam program linier ini mencerminkan atau menggambarkan tujuan yang akan dicapai dalam pemecahan suatu masalah program linier.

### 2.8.2 Penyelesaian Program Linier

Penyelesaian masalah optimasi dengan program linier dimulai dengan menentukan variabel-variabel keputusan yang hendak dicari nilai optimumnya, yang kemudian dibentuk fungsi tujuannya. Kemudian diidentifikasi kendala-kendala yang dihadapi dan dinyatakan secara fungsional, berupa persamaan dan pertidaksamaan. Sesudah pemodelan selesai barulah dilakukan perhitungan atau iterasi untuk mencapai kondisi optimum.

Penyelesaian program linier yang memiliki jumlah variabel keputusan kurang dari sama dengan dua ( $n \leq 2$ ) maka dapat dipakai secara grafis. Sedangkan untuk persamaan yang memiliki jumlah variabel keputusan lebih dari sama dengan dua ( $n \geq 2$ ), maka penyelesaiannya harus menggunakan cara matematis atau analitis.

Untuk sebagian besar permasalahan yang ada khususnya dalam bidang sumber daya air biasanya memiliki variabel keputusan yang cukup banyak, dan cara penyelesaian yang tepat

adalah dengan cara matematis atau analitis. Saat ini, sudah banyak program-program aplikasi komputer yang dikembangkan berdasarkan metode simpleks yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan program linier. Dalam studi ini, program linier yang digunakan adalah fasilitas Solver pada *Microsoft Excel* untuk menyelesaikan permasalahan program linier sesuai dengan permasalahan yang ada di lapangan.

## 2.9 Fasilitas Solver pada Microsoft Excel

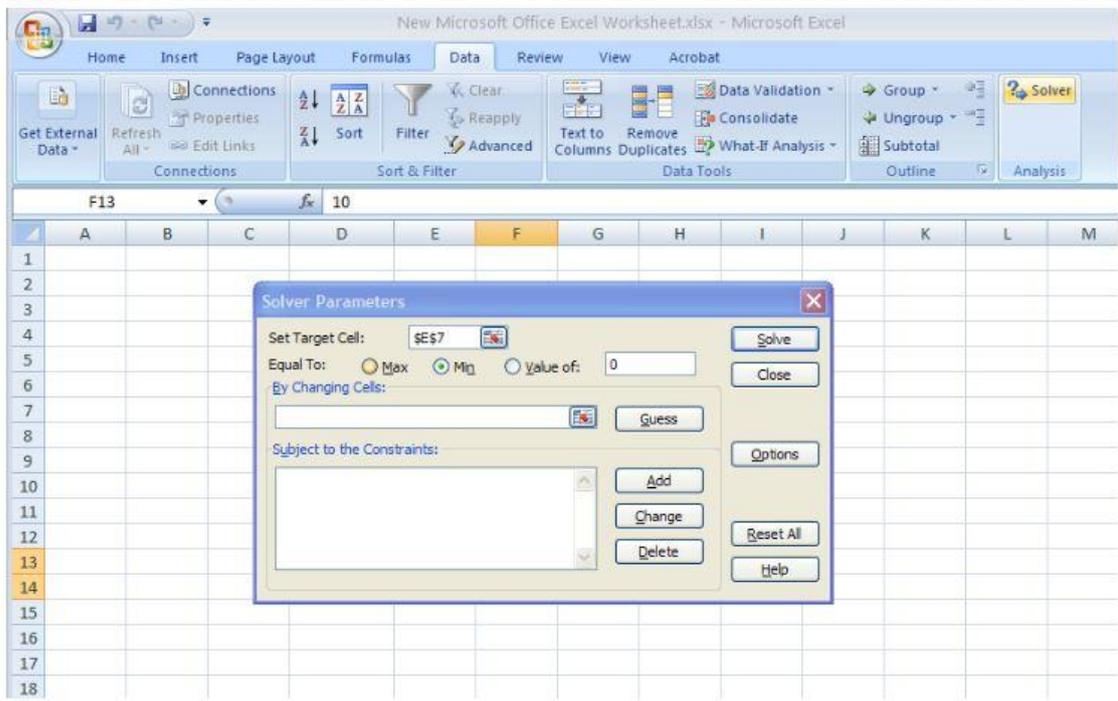
Solver adalah fasilitas di dalam *Microsoft Excel* pada *Windows* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi. Solver digunakan untuk mencari solusi maksimum maupun minimum suatu permasalahan.

Solver menggunakan *code optimasi non linier generalized redveed gradient* (GRG2) yang dikembangkan oleh Leon Lasdon doktor dari Universitas Texas di Austin dan Allan Waren dari Cleveland State University. Pemecahan masalah pada *Solver* menggunakan metode logaritma simplek dengan batasan pada variabelnya (Limantara, 2008,p.50).

### 2.9.1 Penyelesaian Fasilitas Solver

Solver merupakan fasilitas pencari solusi yang ada dalam perangkat lunak *Microsoft Excel* yang dikembangkan dari metode simpleks. Apabila pada menu *Microsoft Excel* tidak terdapat fasilitas solver, maka dapat di *install* pada *Add-Ins* yang ada di *Microsoft Excel*. Dalam perhitungan dengan solver harus memenuhi tiga hal yaitu :

1. Target yang ingin dicapai
2. Kendala yang harus dipenuhi
3. Sel yang diubah-ubah isinya untuk ditentukan nilainya agar target dan kendala dapat terpenuhi.



Gambar 2.3 Fasilitas Solver pada Microsoft Excel

Langkah pertama yang perlu dilakukan yaitu menentukan nilai rekaan pada sel yang akan diubah nilainya. Selanjutnya, solver akan melakukan proses *trial and error* untuk mendapatkan nilai yang memenuhi kriteria kendala dan tujuan.

Tahap-tahap dalam menggunakan fasilitas solver yaitu :

1. Tentukan nilai target dan tujuan.
2. Tentukan nilai kendala.
3. Masuk program *Microsoft Excel*.
4. Buat lembar kerja pada *Microsoft Excel*.
5. Pilih *range*.
6. Beri perintah *insert, name, create*.
7. Tandai kotak *left coloum*.
8. Pilih *OK*.
9. Nilai  $X_1, X_2, \dots, X_n$  diberi nilai rekaan untuk coba-coba.
10. Tulis rumus tujuan dan kendala.
11. Beri perintah *tools, solver*, dan kotak dialog tampil.
12. Isikan *range* target.
13. Pilih kotak *text by changing cells*, masuk *range* yang akan diubah.
14. Masukkan nilai kendala, dengan memilih *add*, kotak dialog akan tampil dan diakhiri dengan *ok*.

15. Pilih solver (tekan *enter*).
16. Setelah melakukan perhitungan sejenak, *Microsoft Excel* akan menampilkan kotak dialog *solver result* yang memberitahu jika solusi telah ditemukan.
17. Pilih *ok*, selesai (nilai  $X_1$ ,  $X_2$  dan nilai tujuan akan berubah dan merupakan nilai optimal).



