BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Curah Hujan

Data Hujan merupakan masukan utama dari sistem sungai dan aliran sungai. Oleh karena itu untuk mengetahui semua karakteristik aliran, harus diketahui informasi mengenai besaran curah hujan yang terjadi di lokasi yang sama atau disekitarnya. Hampir semua kegiatan pengembangan sumber daya air memerlukan informasi hidrologi untuk dasar perencanaan dan perancangan, salah satu informasi hidrologi yang penting adalah data hujan. Data hujan ini dapat terdiri dari data hujan harian, bulanan dan tahunan. Pengumpulan dan pengolahan data hujan ini diharapkan dapat menyajikan data hujan yang akurat, menerus dan berkelanjutan sesuai dengan kondisi lapangan, tersusun dalam sistem database, data menyediakan data/informasi hidrologi yang tepat sesuai dengan kebutuhan.

Dengan berkembangnya kondisi Satuan Wilayah Sungai (SWS), maka kebutuhan akan air semakin meningkat yang kadang-kadang terjadi konflik antar kepentingan. Kecermatan dalam analisis ketersediaan air dapat dicapai bilamana tersedia data hujan yang akurat. Data hujan ini juga digunakan untuk input evaluasi unjuk kerja desaign capacity atau pedoman operasi bangunan air. *(Istanto, 2007)*

2.2 Hujan Wilayah

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses hidrologi, karena jumlah kedalaman hujan (*rainfall dept*) ini yang dialihragamkan menjadi aliran, baik melalui limpasan permukaan maupun sebagai aliran tanah (*groundwater flow*) *(Harto, 1993).*

Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat, maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan belum tentu dapat menggambarkan hujan di wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan atau hujan wilayah yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan/atau di sekitar kawasan tersebut. Menurut Indarto (2012) ada tiga macam cara yang umum digunakan dalam menghitung hujan rata-rata kawasan yaitu :

1. Rata-rata Aritmetik

Nilai curah hujan wilayah dapat ditentukan dari beberapa data curah hujan stasiun penakar/klimatologi dengan menggunakan nilai rata-rata curah hujan stasiun yang terdapat di dalam DAS.

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_n}{n} \qquad \text{..... (1)}$$

Keterangan:

$\overline{R}$ = Curah hujan rata-rata wilayah

R_n = Curah hujan pada stasiun n

n = Jumlah stasiun penakar hujan

2. Metode *Polygon Thiessen*

Metode *Polygon Thiessen* adalah cara penentuan hujan wilayah dengan rata-rata tertimbang. Masing-masing pos penakar hujan mempunyai daerah pengaruh sendiri-sendiri . Nilai curah hujan wilayah dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1+A_2R_2+\cdots+A_nR_n}{A_1+A_2+\cdots+A_n} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Dimana :

$\bar{R}$ = curah hujan rata-rata (mm)

$A_1, A_2, .A_n$ = luas daerah polygon 1,2,…,n (km^2)

$R_1, R_2, .R_n$ = curah hujan maksimum pada stasiun 1,2,…,n (mm)

3. Metode Isohyet

Metode Isohyet adalah metode penentuan curah hujan wilayah berdasarkan kontur curah hujan berdasarkan data curah hujan yang ada di dalam DAS dan di sekitar wilayah.

Adapun metode yang digunakan pada perhitungan hujan rata-rata kawasan untuk Daerah Irigasi Way Ketibung adalah dengan metode *Polygon Thiessen*, Metode ini dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antar dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan laninnya adalah linier dan

bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat. Hasil metode *Polygon Thiessen* lebih akurat dibandingkan dengan metode aljabar. Cara ini cocok untuk daerah dengan luas 500-5000 km^2, dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya *(Suripin, 2003).*

2.3 Irigasi

Irigasi merupakan upaya yang dilakukan manusia untuk mengairi lahan pertanian. Dalam dunia modern, saat ini sudah banyak model irigasi yang dapat dilakukan manusia. Pada zaman dahulu, jika persediaan air melimpah karena tempat yang dekat dengan sungai atau sumber mata air, maka irigasi dilakukan dengan mengalirkan air tersebut ke lahan pertanian. Namun demikian, irigasi juga biasa dilakukan dengan membawa air dengan menggunakan wadah kemudian menuangkan pada tanaman satu per satu. Untuk irigasi dengan model seperti ini di Indonesia biasa disebut menyiram.Sebagaimana telah diungkapkan, dalam dunia modern ini sudah banyak cara yang dapat dilakukan untuk melakukan irigasi dan ini sudah berlangsung sejak Mesir Kuno. *(Wikipedia, 2010)*

2.3.1 Fungsi irigasi

Untuk mencapai fungsi utamanya untuk memberikan suplai air kepada tanaman, menurut Gany (2011) irigasi perlu mencapai beberapa fungsi spesifik yaitu:

1. mengambil air dari sumber (*diverting*)
2. membawa/mengalirkan air dari sumber ke lahan pertanian (*conveying*)

3. mendistribusikan air kepada tanaman (*distributing*)
4. mengatur dan mengukur aliran air (*regulating and measuring*).

Disamping fungsi pokoknya untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, irigasi juga mempunyai fungsi tambahan seperti:

1. mendinginkan tanah dan tanaman
2. mencuci garam-garaman dari permukaan tanah
3. melunakkan tanah
4. mengaplikasikan bahan-bahan kimia, seperti pupuk, pestisida, dan herbisida.

2.3.2 Macam-macam sistem irigasi

Sistem irigasi yang ada sangat bervariasi bergantung pada jenis tanaman, kondisi lahan dan air, cuaca, ekonomi, dan faktor budaya. Menurut Rai and Mauria (2006) ada beberapa jenis irigasi yang biasa dipakai antara lain :

1. Irigasi Permukaan

   Irigasi Permukaan merupakan sistem irigasi yang menyadap air langsung di sungai melalui bangunan bendung maupun melalui bangunan pengambilan bebas (*free intake*) kemudian air irigasi dialirkan secara gravitasi melalui saluran sampai ke lahan pertanian. Di sini dikenal saluran primer, sekunder, dan tersier. Pengaturan air ini dilakukan dengan pintu air. Prosesnya adalah gravitasi, tanah yang tinggi akan mendapat air lebih dulu.

2. Irigasi Lokal

Sistem ini air distribusikan dengan cara pipanisasi. Di sini juga berlaku gravitasi, di mana lahan yang tinggi mendapat air lebih dahulu. Namun air yang disebar hanya terbatas sekali atau secara lokal.

3. Irigasi dengan Penyemprotan

Penyemprotan biasanya dipakai penyemprot air atau *sprinkle*. Air yang disemprot akan seperti kabut, sehingga tanaman mendapat air dari atas, daun akan basah lebih dahulu, kemudian menetes ke akar.

4. Irigasi Tradisional dengan Ember

Di sini diperlukan tenaga kerja secara perorangan yang banyak sekali. Di samping itu juga pemborosan tenaga kerja yang harus menenteng ember.

5. Irigasi Pompa Air

Air diambil dari sumur dalam dan dinaikkan melalui pompa air, kemudian dialirkan dengan berbagai cara, misalnya dengan pipa atau saluran. Pada musim kemarau irigasi ini dapat terus mengairi sawah.

6. Irigasi Tanah Kering

Di Afrika yang kering dipakai sistem ini, terasisasi dipakai untuk distribusi air. Ada beberapa sistem irigasi untuk tanah kering, yaitu:

(a) irigasi tetes (*drip irrigation*),

(b) irigasi curah (*sprinkler irrigation*),

(c) irigasi saluran terbuka (*open ditch irrigation*), dan

(d) irigasi bawah permukaan (*subsurface irrigation*).

Irigasi sangat diperlukan di dunia pertanian dan perkebunan untuk meningkatkan hasil pertanian dan hasil perkebunan, karena tanaman tidak akan berproduksi dengan baik jika tanaman kekurangan air . Begitu banyak system Irigasi yang ada, kita dapat memilih salah satu system irigasi yang tentunya disesuaikan dengan daerah pertanian dan perkebunan yang akan dialiri air. Sehingga kebutuhan akan air didaerah pertanian dan perkebunan tersebut dapat terpenuhi dengan baik. Ada berbagai pengalaman tentang cara pemanfaatan system irigasi seperti Sistem Irigasi Subak di Bali yang dapat kita contoh dalam pemakaian air irigasi, disini diajarkan pentingnya arti air bagi seluruh petani sehingga pemakaiannya dilakukan secara merata tanpa membedakan status sosialnya. *(Putra, 2009)*

2.4 Budidaya Tanaman Padi

Kebutuhan makanan pokok setiap penduduk di seluruh penjuru dunia ini satu sama lain berbeda, dan salah satu kebutuhan makanan pokok tersebut adalah beras atau nasi yang merupakan makanan pokok sebagian besar penduduk Indonesia. Beras adalah buah padi yang berasal dari golongan rumput – rumputan (gramineae) yang sudah banyak dibudidayakan di Indonesia. *(Arsyad, 2010)*

Padi (bahasa latin: Oryza sativa) merupakan salah satu tanaman budidaya terpenting dalam peradaban. Meskipun terutama mengacu pada jenis tanaman

budidaya, padi juga digunakan untuk mengacu pada beberapa jenis dari marga (genus) yang sama, yang biasa disebut sebagai padi liar.

Padi diduga berasal dari India atau Indocina dan masuk ke Indonesia dibawa oleh nenek moyang yang migrasi dari daratan Asia sekitar 1500 SM. Produksi padi dunia menempati urutan ketiga dari semua serealia, setelah jagung dan gandum. Namun demikian, padi merupakan sumber karbohidrat utama bagi mayoritas penduduk dunia. Teknik budidaya padi telah dikenal oleh manusia sejak ribuan tahun yang lalu. Sejumlah sistem budidaya diterapkan untuk padi.

Budidaya padi sawah diduga dimulai dari daerah lembah Sungai Yangtse di Tiongkok. Budidaya padi lahan kering, dikenal manusia lebih dahulu daripada budidaya padi sawah. Budidaya padi lahan rawa, dilakukan di beberapa tempat di Pulau Kalimantan. Bercocok tanam padi mencakup persemaian, pemindahan atau penanaman, pemeliharaan (termasuk pengairan, penyiangan, perlindungan tanaman, serta pemupukan), dan panen. Aspek lain yang penting namun bukan termasuk dalam rangkaian bercocok tanam padi adalah pemilihan kultivar, pemrosesan biji dan penyimpanan biji.

(Wikipedia,2010)

2.5 Padi Sawah

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air. Saat ini air yang disediakan untuk padi sudah dapat dipenuhi oleh teknologi irigasi. Akan tetapi, di Indonesia masih banyak terdapat tanaman

padi yang mengandalkan keberadaan air dari turunnya hujan atau biasa dikenal dengan istilah sawah tadah hujan.

Air merupakan syarat mutlak bagi pertumbuhan tanaman padi sawah. Masalah pengairan bagi tanaman padi sawah merupakan salah satu faktor penting yang harus mendapat perhatian penuh demi mendapat hasil panen yang akan datang. *(Wikipedia, 2011)*

Menurut Anwar (2013) dalam rangka upaya peningkatan produksi tanaman padi sawah melalui cara dan dikerjakan dengan cara sebaik - baiknya dan agar supaya dapat meningkatkan mutu tanaman padi sawah dan agar dapat tumbuh dan perkembangan tanaman yang baik dan memperoleh hasil yang tinggi kita harus memperhatikan hal - hal berikut ini .

1. Memilih Varitas Atau Padi Unggul

Diusahakan kita memilih bibit padi yang bersertifikat atau sudah resmi dari pemerintah dan setelah padi di dapat lebih baik direndam selama satu sampai lima hari dan air rendaman diganti sati hari sekali .

2. Persemaian

Pembuatan persemaian harus di pilih lokasi yang aman dari serangan tikus dan mudah kita kontrol setiap hari . luas persemaian 4% dari luas areal yang akan ditanami . tanaman padi yang akan di buat persemaian kira-kira umur 23 sampai 26 hari dan sudah bisa ditanam dilahan sawah.

3. Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah harus sempurna, sebelum di bajak tirlebih dahulu di genangi air sesudah di genangi air lalu di bajak dengan menggunakan mesin pembajak sawah atau bisa juga dengan kerbau .

4. Penanaman Padi

Jarak tanaman diatur garis lurus dengan jarak 20 kali 20 . tiap lubang ditanami 2 sampai 3 saja .

5. Pemupukan

Pemupukan bertujuan untuk menambah zat-zat dan unsur-unsur makanan yang dibutuhkan oleh tanaman di dalam tanah.

6. Pemberian Air

Pemberian air tanaman harus umur 0 sampai 10 hari dan minimal padi setinggi 5cm (genangan air), umur 10 sampai 35 hari setinggi 10cm ,umur 40 sampai 100 hari setinggi 10cm . Tanaman padi pada umur 110 hari air dibuang atau di keringkan .

7. Pengendalian Hama Dan Penyakit

Hama yang perlu di waspadai adalah tikus,wereng,sundep,dan harus di adakan pengendalian atau pemberantasan dan apa bila ada serangan sebaiknya di semprot dengan insektisida dan kalau tidak ada tidak perlu .

8. Panen

Panen di lakukan pada saat tanaman padi sudah umur 130 hari atau sudah 90% menguning, cara memanen dengan alat sabit kemudian alas untuk memotong batang padi dan kemudian di tumpuk setelah di tumpuk padi di rontokan dengan alat perontok yang namanya doser alau sudah di rontokan di bawapulang dan di jemur di bawah terik matahari kalau sudah menguning dikemas dalam karung dan terus dijual di pengepul .

2.6 Pola Tanam Padi Sawah

Sumber daya air yang ada di sungai-sungai yang memiliki daerah irigasi harus dimanfaatkan sedemikian sehingga semua kepentingan penggunaan air dari sungai tersebut dapat berjalan tanpa adanya konflik pemanfaatan antara kepentingan yang satu dengan yang lainnya.

Pemanfaatan air untuk irigasi harus dilakukan sedemikian rupa melalui operasi jaringan irigasi untuk menjamin bahwa air yang tersedia cukup untuk luasan areal tanaman, hemat dalam distribusinya serta tersedia secara berkesinambungan. Operasi Jaringan Irigasi adalah upaya pengaturan air pada jaringan irigasi yang meliputi penyediaan, pembagian, pemberian, penggunaan, konservasi dan pembuangannya termasuk kegiatan membuka, dan menutup pintu bangunan irigasi, menyusun rencana tata tanam, menyusun sistem golongan, menyusun rencana pembagian air, kalibrasi, pengumpulan data, pemantauan dan evaluasi.

Berdasarkan uraian tersebut, Rencana Pola Tanam merupakan salah satu dari kegiatan operasi jaringan irigasi yang harus dibuat untuk setiap musim tanam guna pemanfaatan air irigasi secara efektif, efisien, dan berkesinambungan tanpa konflik pemanfaatan air.

Untuk menentukan Pola Tanam perlu dilakukan Perhitunngan Neraca Air, Kebutuhan Air Untuk Irigasi, Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan, dan Kebutuhan Air Untuk Pertumbuhan Tanaman Padi . *(Ditjen Pengairan, 1982)*

2.6.1 Perhitungan Neraca Air

Menurut Direktorat Jendral Pengairan Departemen Pekerjaan Umum (1982) Neraca Air merupakan perbandingan antara debit air yang tersedia dengan debit air yang dibutuhkan untuk keperluan irigasi. Dalam perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkan untuk pola tanam yang digunakan akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah yang bisa diairi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah proyek irigasi adalah tetap karena luas maksinum daerah layanan (*command area*) dan proyek akan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Bila debit sungai kurang maka ada tiga pilihan yang bisa dipertimbangkan yaitu : luas daerah irigasi dikurangi, melakukan modifikasi pola tanam atau pemberian air secara rotasi/giliran.

Perhitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi atau tidak.

Perhitungan neraca air ini menjadi dasar untuk menentukan jadwal tanam pada Daerah Irigasi Way Ketibung. (*Dinas PU KP-01,1986*).

Ada dua unsur pokok dalam perhitungan neraca air untuk tanaman padi yaitu:

1. Kebutuhan Air Untuk Irigasi
2. Tersedianya Air Irigasi

Untuk menghitung neraca air digunakan berbagai parameter yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Parameter Neraca Air

Bidang	Parameter yang dihitung	Neraca Air	Kesimpulan
Meteorologi	Evaporasi dan Curah Hujan	Kebutuhan Air Irigasi	Jatah Debit Kebutuhan Luas Daerah Irigasi Pola Tanam Pengaturan Rotasi
Agronomi dan Tanah	Pola Tanam Koefisien Tanaman		
Jaringan Irigasi	Efisiensi Irigasi		
Tofografi	Daerah Layanan	Debit Andalan	
Hidrolodi	Debit Analan	Debit Minimum persetengah bulan periode 5 th Kering Bangunan Utama	

(Sumber : *Dinas PU KP-01,1986*)

2.6.2 Kebutuhan Air Untuk Irigasi

Menurut Dwi, 2006 dalam Susiloputri dan Farida, 2011 ada dua macam pengertian kebutuhan air menurut jenisnya, yaitu:

1. Kebutuhan air bagi tanaman (penggunaan konsumtif), yaitu banyaknya air yang dibutuhkan tanaman untuk membuat jaring tanaman (batang dan daun) dan untuk diuapkan (evapotranspirasi), perkolasi, curah hujan, pengolahan lahan dan pertumbuhan tanaman.

   Rumus yang digunakan :

$$Ir = E + T + (P + B) + W – Re \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

   Dimana :

   Ir = Kebutuhan air B = Infiltrasi

   E = Evaporasi W = Tinggi genangan

   T = Transpirasi Re = Hujan efektif

   P = Perkolasi

2. Kebutuhan air untuk irigasi, yaitu kebutuhan air yang digunakan untuk pengairan pada saluran irigasi sehingga didapat kebutuhan air untuk masing-masing jaringan.

Kebutuhun air irigasi (IR) untuk suatu tanaman adalah sejumlah air dibutuhkan pada bangunan pembawa air untuk mengairi sebidang areal, dimulai dari pengolahan tanah sampai dengan panen. Kebutuhan air irigasi adalah sama dengan kebutuhan air di sawah ditambah dengan kehilangan (*Dinas PU KP-01,1986*).

Kebutuhan air irigasi untuk padi sawah terdiri dari :

(1) Pengolahan Tanah / penyiapan lahan,

(2) Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan Tanaman yang meliputi : Penggunaan Konsumtif, Perkolasi (peresapan), Penggantian lapisan air , dan dikurangi Curah hujan efektif.

2.6.3 Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

Kebutuhan air selama penyiapan lahan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (*Dinas PU KP-01,1986*) :

$$NFR_p = LP - R_e \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Dimana :

NFR_p = Net Farm Requirement for Land Preparation , Kebutuhan bersih air untuk penyiapan lahan (mm/hari)

LP = Land Preparation, Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)

R_e = Curah hujan efektif (mm/hari)

Perkiraan kebutuhan air selama penyiapan lahan didasarkan pada kedalaman serta porositas tanah di sawah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (*Dinas PU KP-01,1986*) :

$$PWR = \frac{(S_a - S_b).N.d}{10^4} + FL + P_d \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Dimana :

PWR = Puddling Water Requirement, Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm)

S_a = Derajat kejenuhan tanah setelah penyiapan lahan dimulai (% volume)

S_b = Derajat kejenuhan tanah sebelum penyiapan lahan dimulai (% volume)

N = Porositas tanah rata-rata untuk kedalaman olah tanam (%)

d = Kedalaman olah tanah (mm)

FL = Farm Losses, Kehilangan air di sawah dalam satu hari (mm)

P_d = Kedalaman genangan setelah pekerjaan penyiapan lahan (mm)

Selain rumus empiris diatas, untuk menentukan kebutuhan air irigasi yang diperlukan selama penyiapan lahan dikaitkan dengan jangka waktu yang tersedia untuk pengolahan tanah, dapat pula digunakan metode yang dikembangkan oleh *Van De Goor dan Zijlstra (1968) d*alam *Dinas PU KP-01 (1986)*. Metode ini didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$LP = \frac{M e^k}{e^k - 1} \qquad \text{..... (6)}$$

$$M = E_0 + P \qquad \text{..... (7)}$$

$$K = (M . T) / S \qquad \text{..... (8)}$$

Dimana :

LP = Kebutuhan air untuk irigasi dalam penyiapan lahan (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm/hari)

E_0 = Evaporasi air terbuka yang diambil **1,1 ET_0** selama penyiapan lahan (mm/hari)

P = Perkolasi

T = Jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = Kebutuhan air untuk penjenuhan (250 mm) ditambah dengan lapisan air (50 mm)

e = Log alam (2,7183)

Tabel 2.2 Koefisien Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan.

Eo + P	T = 30 hari		T = 45 hari	
mm/hari	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

(Sumber : *Dinas PU KP-01,1986*)

2.6.4 Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan Tanaman Padi

Kebutuhan air sawah untuk padi ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut: penyiapan lahan, penggunaan konsumtif, perkolasi dan rembesan, pergantian lapisan air dan curah hujan efektif. Pemberian air secara golongan adalah untuk efisiensi, memperkecil kapasitas saluran pembawa, dan seringkali untuk menyesuaikan pelayanan irigasi menurut variasi debit yang tersedia pada tempat penangkap air, misalnya bendung pada sungai *(Sudjarwadi, 1979).*

Persamaan untuk menghitung kebutuhan bersih air di sawah untuk padi (NFR) selama pertumbuhan adalah sebagai berikut (*Dinas PU KP-01,1986*) :

$$NFR = ET_c + P + LP - R_e \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Di mana :

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

ET_c = Kebutuhan konsumtif tanaman (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

LP = Kebutuhan air untuk untuk penyiapan lahan (mm/hari)

R_e = Curah hujan efektif (mm/hari)

Perhitungan kebutuhan air irigasi ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit yang akan dipakai untuk mengairi daerah irigasi. Setelah sebelumnya diketahui besarnya efisiensi irigasi. Besarnya efisiensi irigasi tergantung dari besarnya kehilangan air yang terjadi pada saluran pembawa

dari mulut bendung sampai petak sawah. Kehilangan air tersebut disebabkan karena penguapan, perkolasi, kebocoran dan sadap liar.

a. Evapotranspirasi Tanaman (ET_c)

Evapotranspirasi adalah perpaduan dua istilah yakni evaporasi dan transpirasi. Evaporasi yaitu penguapan di atas permukaan tanah, sedangkan transpirasi yaitu penguapaan melalui permukaan dari air yang semula diserapa oleh tanaman. Atau dengan kata lain, evapotranspirasi adalah banyaknya air yang menguap dari lahan dan tanamn dalam suatu petakan karena panas matahari *(Asdak, 1995 dalam sigit 2001).*

Besarnya evapotranspirasi tanaman atau penggunaan konsumtif tanaman merupakan besarnya kebutuhan air untuk tanaman.

Kemudian untuk menduga besarnya nilai kebutuhan air tanaman menggunakan rumus (*Dinas PU KP-01,1986*) :

ETc = ET0 . Kc…………………................................ (10)

Keterangan:

ETc = evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

Kc = koefisien tanaman sesuai jenis dan pertumbuhan vegetasinya

ET0 = evapotranspirasi acuan (mm/hari)

b. Evapotranspirasi (ETo)

Evapotranspirasi (ETo) adalah proses dimana air berpindah dari permukaan bumi ke atmosfer termasuk evaporasi air dari tanah dan transpirasi dari tanaman melalui jaringan tanaman melalui transfer panas laten persatuan area *(Hillel, 1983).*

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi yaitu faktor iklim mikro, mencakup radiasi netto, suhu, kelembaban dan angin, faktor tanaman, mencakup jenis tanaman, derajat penutupannya, struktur tanaman, stadia perkembangan sampai masak, keteraturan dan banyaknya stomata, menutup dan membukanya stomata, faktor tanah, mencakup kondisi tanah, aerasi tanah, potensial air tanah dan kecepatan air tanah bergerak ke akar tanaman *(Linsley dan Joseph,1985).*

Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung Evapotranspirasi adalah dengan metode Penmann. Metode ini memerlukan input data meteorologi berupa : temperatur, kelembapan udara, radiasi matahari dan kecepatan angin.

Adapun rumus yang digunakan untu menghitung Eto dengaan metode Penmann adalah sebagai berikut :

$$Eto = C.[W.Rn+(1-W)(f(u)(ea-ed)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Dimana :

Eto = evapotranspirasi (mm/hari)

W = faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari

C = faktor penyesuaian kondisi cuaca akibat siang dan malam

(1-W) = faktor berat sebagai pengaruh angin dan kelembab

Rn = radiasi penyinaran matahari (mm/hari)

f(u) = faktor yang tergantung dari kecepatan angin / fungsi relatif angin

ea = tekanan uap jenuh (mbar)

ed = tekanan uap nyata (mbar)

(ea-ed) = perbedaan antara tekanan uap jenuh pada suhu rata-rata dan tekanan uap rata-rata actual (mbar)

Besarnya evapotranspirasi tanaman ada beberapa tahap harus dilakukan, yaitu menduga evapotranspirasi acuan; menentukan koefisien tanaman kemudian memperhatikan kondisi lingkungan setempat; seperti variasi iklim setiap saat, ketinggian tempat, luas lahan, air tanah tersedia, salinitas, metode irigasi, dan budidaya pertanian. Menurut Doorenbos dan Pruitt, (1977) dalam Rosadi (2012) ada beberapa metode pendugaan evapotranspirasi acuan :

a. Metode Blaney – Cridle

$$ETo = c\,[P\,(0{,}46\,T + 8)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Keterangan:

c = Koefisien Tanaman Bulanan

p = Presentase Bulanan jam-jam Hari Terang dalam Tahun

T = Rata – rata Suhu Udara (0C)

b. Metode Radiasi

$$ETo = c\,(W \,.Rs\,) \text{ mm/hari} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Keterangan:

Rs = Radiasi matahari dlm ekivalen evaporasi mm/hari (1 cal/cm2/hari =1/59 mm hari)

W = Faktor pemberat (weighting factor) tergantung pada suhu dan elevasi .

C = Faktor penyesuian yang tergantung pada RH rata-rata dan kondisi angin pada siang hari .

c. Metode Pan Evaporasi

$$ETo = Kp \times Ep \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

Keterangan:

Kp = Koefisien Panci

Ep = Evaporasi Panci (mm/hari)

d. Metode Penman

$$ETo = c\,(W\,Rn + (1 - W)\,f(u)\,(ea - ed)) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Metode Penman modifikasi (FAO) digunakan untuk luasan lahan dengan data pengukuran temperatur, kelembaban, kecepatan angin dan lama matahari bersinar. Cara Penman menurut Doorenbos dan Pruitt, (1977) dalam Sigit, (2001), yang diubahsuai nilai ET_0 untuk iklim dan tempat tertentu dihitung dengan rumus :

$$ET_0 = W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_s - e) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

ET_0 = uap peluhan tanaman acuan yang tak tersesuaikan, mm/hari

W = factor bobotan terkait suhu

R = sinaran bersih dalam tara uapan, mm/hari

F(u) = fungsi terkait angin

$(e_s - e)$ = selisih antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap udara sebenarnya

ET_0 kemudian ditemukan dari ET_0 lewat penyesuaian untuk keadaan cuaca siang dalam hari. Nasabannya disajikan secara grafik untuk berbagai keadaan angin dan kelembapan yang berbeda-beda.

Setelah ditentukan sebuah nilai ET_0 kebutuhan air untuk tanaman $ET_{(tan)}$ ditemukan dari :

$$ET_{(tan)} = k_c \times ET_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

Disini k_c adalah koefisien tanaman, menggambarkan hasil penguappeluhan tanaman tertentu yang tumbuh dalam keadaan optimum (bagi iklim dan letaknya) dan memberi hasil optimum.

Metode Penman Modifikasi memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode-metode yang lain. Sedang metode Panci Evaporasi lebih banyak digunakan karena mudah dilakukan di tingkat sawah. *(Wilson, 1993)*

Perhitungan ET_0 dengan menggunakan persamaan Penman Modifikasi, dilakukan dengan menyelesaikan persamaan sebagai berikut (*Dinas PU KP-01,1986*) :

$$ET_0 = c\{W . R_n + (1 - W) . f(u) . (e_a - e_d)\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{n1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

$$R_{ns} = \{(0{,}25 + 0.50\,(n/N))\} . R_a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

$$R_{n1} = f(T) . f(e_d) . f(n/N) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

$$f(e_d) = 0{,}34 - 0{,}044 . e_d^{0,5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

$$f(n/N) = 0{,}10 + 0{,}9\,(n/N) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

$$f(u) = 0{,}27 \{ 1 + (u/100)\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (24)$$

Dimana :

ET_0 = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

R_a = Radiasi matahari (mm/hari)

n = Rata-rata lama cahaya matahari yang sebenarnya (jam/hari)

N = Lama matahari maksimum yang mungkin

n/N = Presentasi penyinaran matahari (%)

f(u) = Faktor kecepatan angin

W = Faktor temperatur

f(T) = Pengaruh temperatur

R_n = Kelembaban relatif (%)

e_d = Tekanan uap udara dalam keadaan jenuh (mm/Hg)

e_a = Tekanan uap udara pada temperatur rata-rata (mm/Hg).

c. Koefisien Tanaman (K_c)

Saat pertunasan nilai Kc didasarkan pada kondisi rata-rata RH minimum dalam kategori sub-humid dan kondisi kecepatan angin pada ketinggian dua meter dalam kategori light, sehingga nilai Kc pertunasan bernilai 1.05 berdasarkan FAO (1998). Evaporasi tanah berfluktuasi setiap hari karena hujan atau irigasi, *Singgle crop coefficient (Kc)* hanya menunjukan rata – rata pengaruh evapotranspirasi tanaman beberapa hari. Ada tiga nilai Kc yang digunakan yaitu pada fase pertumbuhan awal

(inisial stage, $K_{c\ ini}$), fase pertengahan (mod-season stage, $K_{c\ mid}$), dan fase akhir musim (late season stage, $K_{c\ end}$). Besarnya Kc untuk tanaman padi ditentukan dengan nilai $K_{c\ ini}$ = 1.05, $K_{c\ mid}$ = 1.20, $K_{c\ end}$ = 0.90 – 0.60 dengan tinggi maksimum tanaman 1 meter. *(Rosadi, 2012)*

Harga Kc ini diperlukan untuk menghitung kebutuhan air tanaman (consumtive use) setiap setengah bulan selama masa tanam, dan digunakan harga-harga koefisien tanaman menurut Standar Perencanan Irigasi Dinas PU KP-01 Tahun 1986.

Harga – harga koefisien tanaman yang digunakan berdasarkan *Standar Perencanan Irigasi Dinas PU KP-01 Tahun 1986* seperti yang disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Koefisien Tanaman Setengah Bulanan (K_c)

PERIODE	K_c
1	0.00
2	0.00
3	1.10
4	1.10
5	1.05
6	1.05
7	0.95
8	0.00

(Sumber : *Dinas PU KP-01,1986*)

d. Perkolasi (P)

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zona air tidak jenuh, yang tertekan di antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah (zona jenuh). Daya perkolasi (P) adalah laju perkolasi maksimum yang dimungkinkan, yang besarnya dipengaruhi oleh kondisi tanah dalam zona tidak jenuh yang terletak antara permukaan tanah dengan permukaan air tanah *(Soemarto, 1987).*

Kehilangan air akibat perkolasi dapat diukur dengan menggunakan lisimeter tanpa alas yang tidak ditanami dan diletakkan di petak sawah. Pada tanah lempung dengan karakteristik pengolahan yang baik laju perkolasi dapat mencapai 1 – 3 mm/hari, sedangkan pada tanah ringan laju perkolasi bisa lebih tinggi (*Dinas PU KP-01, 1986*).

Koefisien perkolasi adalah sebagai berikut :

a. Berdasarkan kemiringan :

- lahan datar = 1 mm/hari
- lahan miring > 5% = 2 – 5 mm/hari

b. Berdasarkan tekstur :

- berat (lempung) = 1 – 2 mm/hari
- sedang (lempung kepasiran) = 2 -3 mm/hari
- ringan = 3 – 6 mm/hari

e. Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan (LP)

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan adalah air yang diperlukan pada saat pengolahan tanah yang akan ditanam padi sampai dengan selesai menanam bibit padi. Biasanya air ini diperlukan pada minggu pertama sampai dengan minggu kedua.

f. Curah Hujan Efektif (R_e)

Hujan yang diharapkan terjadi selama satu musim tanam berlangsung disebut curah hujan efektif. Masa hujan efektif untuk suatu lahan persawahan dimulai dari pengolahan tanah sampai tanaman dipanen, tidak hanya selama masa pertumbuhan *(Subramanya, 2005).*

Curah hujan efektif untuk tanaman lahan tergenang berbeda dengan curah hujan efektif untuk tanaman pada lahan kering dengan memperhatikan pola periode musim hujan dan musim kemarau. Perhitungan curah hujan efektif dilakukan atas dasar prinsip hubungan antara keadaan tanah, cara pemberian air dan jenis tanaman *(Sosrodarsono, 1983).*

Besarnya curah hujan efektif diperoleh dari pengolahan data curah hujan harian hasil pengamatan pada stasiun curah hujan yang ada di daerah irigasi/daerah sekitarnya dimana sebelum menentukan curah hujan efektif terlebih dahulu ditentukan nilai curah hujan andalan yakni curah hujan rata-rata setengah bulanan (mm/15 hari) dengan kemungkinan terpenuhi 80% dan kemungkinan tak terpenuhi 20% dengan menggunakan rumus analisis *(Chow, 1994 dalam Subramanya, 2005)* :

$$R_{80} = n + 15 \qquad \text{…………………………………..} \; (25)$$

$$Re = 0,7 \times R_{80} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26)$$

Dimana : R80 = Curah hujan andalan tengah bulan (mm/hari) Re = Curah hujan efektif (mm/hari) n = Jumlah tahun pengamatan curah hujan.

Curah hujan efektif dapat juga dihitung dengan rumus:

$$Re = Rtot\ (125 - 0,2\ Rtot)/125\ ;\ Rtot < 250\ mm \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (27)$$

$$Re = 125 + 0,1\ Rtot\ ;\ Rtot > 250\ mm \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28)$$

Dimana : Rtot adalah jumlah curah hujan bulanan (mm/hari)

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh akar-akar tanaman selama masa pertumbuhan. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh :

1. Cara pemberian air irigasi (rotasi, menerus atau berselang).
2. Laju pengurangan air genangan di sawah yang harus ditanggulangi
3. Kedalaman lapisan air yang harus dipertahankan di sawah
4. Cara pemberian air di petak
5. Jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air

Curah hujan efektif (R_{80}) dihitung dari data curah hujan rata-rata setengah bulanan yang selanjutnya diurutkan dari data terkecil hingga terbesar. Atau dengan Rumus (*Dinas PU KP-01,1986*) :

$$R_{80} = R - 0,842.S_d \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

Dimana :

R_{80} = curah hujan efektif:

R = curah hujan bulanan rata-rata (mm)

S_d = standard deviasi

Curah hujan efektif dalam budidaya padi adalah hujan yang jatuh di petak sawah dan dimanfaatkan oleh tanaman selama pertumbuhannya untuk mempertahankan tinggi genangan yang diinginkan, mengganti kehilangan air yang disebabkan oleh evaporasi, transpirasi, perkolasi dan rembesan mulai saat pengolahan tanah sampai saat panen.

Penentuan curah hujan efektif digunakan rumus empiris yang menyatakan bahwa 70% dari curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun (*Dinas PU KP-01,1986*).

Dengan persamaan sebagai berikut :

$R_e = 0{,}7 \cdot (1/15) \cdot R\ (\text{tengah bulanan})_5$ ……..…… (30)

Dimana :

R_e = Curah hujan efektif (mm/hari)

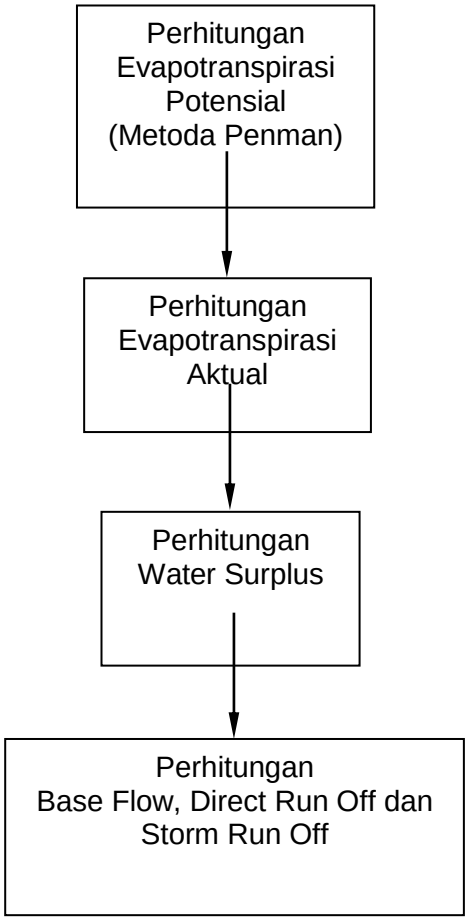
$R\ (\text{tengah bulanan})_5$ = Curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun (mm)

g. Tersedianya Air Irigasi

Tersedianya air Irigasi dapat didekati dengan perhitungan Debit andalan yaitu debit yang dapat diandalkan untuk suatu reabilitas tertentu. Untuk keperluan irigasi biasa digunakan debit andalan dengan reabilitas 80%. Artinya dengan kemungkinan 80% debit yang terjadi adalah lebih besar atau sama dengan debit tersebut, atau sistem irigasi boleh gagal sekali dalam lima tahun. Untuk keperluan air minum dan industri maka dituntut reabilitas yang lebih tinggi, yaitu sekitar 90% sampai dengan 95%.

Jika air sungai ini digunakan untuk pembangkitan listrik tenaga air maka diperlukan reabilitas yang sangat tinggi, yaitu antara 95% sampai dengan 99%. Dalam perencanaan ini perhitungan debit andalan menggunakan metoda neraca air (*water balance*). Perhitungan debit andalan (*dependable flow*) dengan metoda neraca air dikembangkan oleh F.J. Mock. Metoda Mock dikembangkan oleh Dr. F. J. Mock (Mock 1973) berdasarkan atas daur hidrologi. Metoda Mock merupakan salah satu dari sekian banyak metoda yang menjelaskan hubungan *rainfall-runoff*.

Sedangkan proses perhitungan yang dilakukan dalam metoda Mock itu sendiri adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Bagan alir perhitungan debit dalam metoda Mock

Metoda Mock dikembangkan untuk menghitung debit bulanan rata-rata. Metoda Mock ini lebih jauh lagi bisa memprediksi besarnya debit. Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan debit dengan metoda Mock ini adalah:

a. Data rainfall atau presipitasi.

   Data curah hujan yang dipakai dalam perhitungan debit andalan adalah curah hujan titik yang sudah dirubah menjadi curah hujan wilayah yang datanya bisa dilihat pada pembahasan mengenai curah hujan wilayah pada bab sebelumnya.

b. Data klimatologi: temperatur, penyinaran matahari, kelembaban relatif dan kecepatan angin. Data klimatologi yang telah terkumpul dianalisa dengan menggunakan metode kombinasi Penmann-Mock untuk mendapatkan nilai evapotranspirasi yang merupakan variabel penting dalam memprediksi debit andalan.

c. Data catchment area.

Catchment area atau daerah tangkapan hujan. Data yang berhasil dikumpulkan tersebut kemudian dirumuskan melalui formula-formula F.J. Mock dan hasil perhitungan Debit andalan.

Adapun perhitungan debit andalan dengan metode Water Balance F.J. Mock menggunakan rumus sebagai berikut :

$Q = R_0 . A$ ..... (31)

$R_0 = DR_0 + BF$ ..... (32)

ET = dari perhitungan Penman

$DR = I-(V_n - V_{(n-1)})$ ..... (33)

BF = WS - 1 ..... (34)

WS = R - EI ..... (35)

$\Delta E = ET \times (m/20)(18-n)$ ..... (36)

$EI = ET - \Delta E$ ..... (37)

$Vn = k(Vn-1)+0,5(1+k)I$ ..... (38)

Dimana :

Q = debit andalan, m/dt

R_o = aliran permukaan langsung, mm/bln

DR_o = limpasan langsung, mm

R = hujan bulanan, mm

P = bentuk jatuhan air, mm

I = Inflitrasi, mm/bl

E = Evapotranspirasi, mm

A = Luas DAS, km^2

BF = aliran dasar, mm

ET = Evaporasi Potensial dari Penman , mm

m = prosentase lahan yang tidak tertutup tanaman, ditaksir

n = jumlah hari hujan

V_n = volume air tanah bulan ke n

$V_{(n1)}$ = volume air tanah bulan ke n-1

k = faktor resesi aliran tanah

WS = Air lebih , mm

Perhitungan Debit Andalan 80% pada wilayah daerah pengaliran sungai dengan tahapan-tahapan berikut :

1 Analisa Metoda Penman Modifikasi

2 Analisa Curah Hujan 15 Harian

3 Analisa Debit Andalan dengan Metode FJ Mock