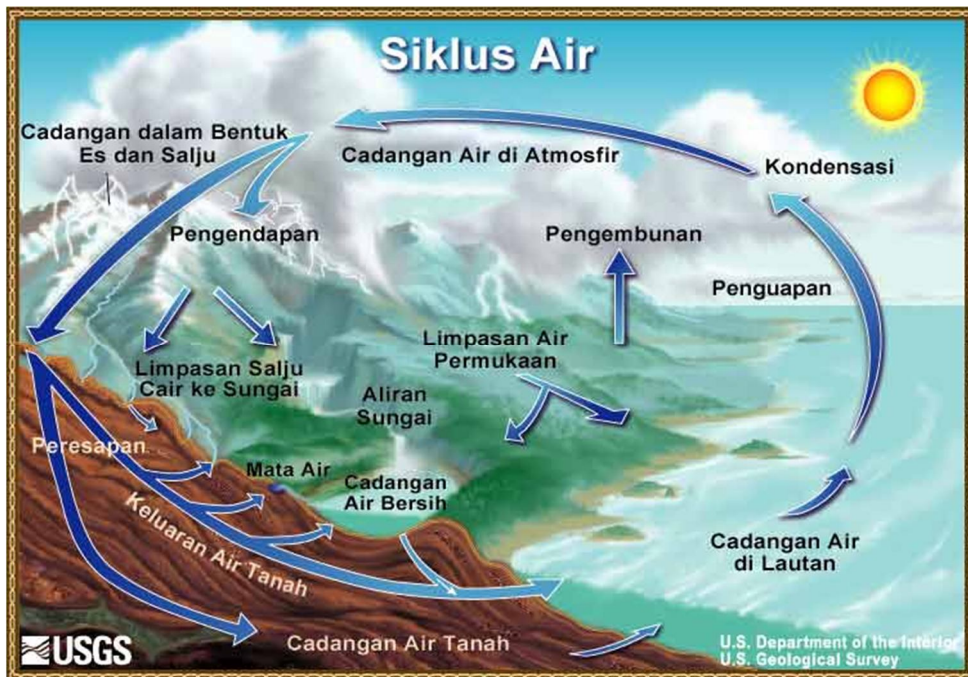


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Siklus Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu tentang proses terjadinya air dan gerakan air di alam. Pada prinsipnya, jumlah air di alam ini tetap dan mengikuti suatu aliran yang dinamakan “siklus hidrologi”. Siklus Hidrologi adalah suatu proses yang berkaitan, dimana air diangkut dari lautan ke atmosfer (udara), ke darat dan kembali lagi ke laut, seperti digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi Siklus Hidrologi

Hujan yang jatuh ke bumi dapat langsung menjadi limpasan air maupun tidak menjadi limpasan air yaitu melalui vegetasi atau media lainnya akan membentuk siklus aliran air mulai dari tempat yang tinggi (gunung, pegunungan) menuju ke

tempat yang rendah baik di permukaan tanah maupun di dalam tanah yang berakhir di laut.

Hujan jatuh ke bumi akan jatuh ke tanah, baik secara langsung maupun melalui media misalnya melalui tanaman (*vegetasi*). Di bumi air mengalir dan bergerak dengan berbagai cara. Pada retensi (tempat penyimpanan) air akan menetap untuk beberapa waktu. Retensi dapat berupa retensi alam seperti daerah-daerah cekungan, danau tempat-tempat yang rendah dll., maupun retensi buatan seperti tanggungan, sumur, embung, waduk dll.

Secara gravitasi (alami) air mengalir dari daerah yang tinggi ke daerah yang rendah, dari gunung-gunung, pegunungan ke lembah, lalu ke daerah yang lebih rendah, sampai ke daerah pantai dan akhirnya akan bermuara ke laut. Aliran air ini disebut aliran permukaan tanah karena bergerak di atas muka tanah. Aliran ini biasanya akan memasuki daerah tangkapan atau daerah aliran menuju kesistem jaringan sungai, sistem danau atau waduk. Dalam sistem sungai aliran mengalir mulai dari sistem sungai kecil ke sistem sungai yang besar dan akhirnya menuju mulut sungai atau sering disebut *estuary* yaitu tempat bertemunya sungai dengan laut.

Air hujan sebagian mengalir meresap kedalam tanah atau yang sering disebut dengan Infiltrasi, dan bergerak terus kebawah. Air hujan yang jatuh ke bumi sebagian menguap (evaporasi dan transpirasi) dan membentuk uap air. Sebagian lagi mengalir masuk kedalam tanah (infiltrasi, perkolasi, kapiler).

Air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat di dalam ruang – ruang antara butir – butir tanah dan di dalam retak – retak dari batuan. Dahulu

disebut air lapisan dan yang terakhir disebut air celah (*fissure water*). Aliran air tanah dapat dibedakan menjadi aliran tanah dangkal, aliran tanah antara dan aliran dasar (*base flow*). Disebut aliran dasar karena aliran ini merupakan aliran yang mengisi sistem jaringan sungai. Hal ini dapat dilihat pada musim kemarau, ketika hujan tidak turun untuk beberapa waktu, pada suatu sistem sungai tertentu aliran masih tetap dan kontiniu.

Sebagian air yang tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) yang akan keluar ke permukaan tanah sebagai limpasan, yakni limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran intra (*interflow*) dan limpasan air tanah (*groundwater runoff*) yang terkumpul di sungai yang akhirnya akan mengalir ke laut kembali terjadi penguapan dan begitu seterusnya mengikuti *siklus hidrogi*.

Besarnya penyimpana air tanah tergantung dari kondisi geologi setempat dan waktu. Kondisi tata guna lahan juga berpengaruh terhadap tampungan air tanah, misalnya lahan hutan yang beralih fungsi mejadi daerah pemukiman dan curah hujan daerah tersebut. Sebagai permulaan dari simulasi harus ditentukan penyimpangan awal (*initial storage*).

Hujan jatuh ke bumi baik secara langsung maupun melalui media misalnya melalui tanaman (*vegetasi*), masuk ke tanah begitu juga hujan yang terinfiltrasi. Sedangkan air yang tidak terinfiltrasi yang merupakan limpasan mengalir ke tempat yang lebih rendah, mengalir ke danau dan tertampung. Dan hujan yang langsung jatuh di atas sebuah danau (*reservoir*) air hujan (*presipitasi*) yang langsung jatuh diatas danau menjadi tampungan langsung. Air yang tertahan di danau akan mengalir melalui sistem jaringan sungai, permukaan tanah (akibat debit banjir) dan merembes melalui tanah. Dalam hal ini air yang tertampung di

danau adalah *inflow* sedangkan yang mengalir atau merembes adalah *outflow*.

Lihat gambar 2.2.

Bentuk persamaan neraca air suatu danau atau *reservoir*:

$$\text{Perolehan (inflow) = Kehilangan (outflow) (2.1a)}$$

$$Q_i + Q_g + P - \Delta S = Q_o + SQ + E_o \quad (2.1b)$$

$$Q_{in} - Q_{out} = \Delta S \quad (2.1c)$$

dimana:

Q_i = masukan air/ direct *run-off* (*inflow*)

Q_g = *base flow* (*inflow*)

Q_o = *outflow*

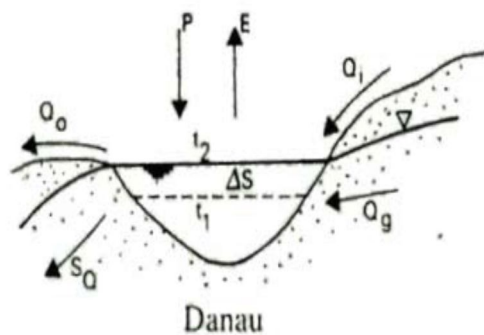
P = presipitasi

SQ = perembesan

E = evaporasi air permukaan bebas

ΔS = perubahan dalam cadangan

t_1 = muka air setelah kehilangan ; t_2 = muka air sebelum kehilangan



Gambar. 2.2. Parameter Neraca Air pada Sebuah Danau

Akibat panas matahari air dipermukaan bumi juga akan berubah wujud menjadi gas/uap dalam proses evaporasi dan bila melalui tanaman disebut transpirasi. Air akan di ambil oleh tanaman melalui akar-akarnya yang dipakai untuk kebutuhan hidup dari tanaman tersebut, lalu air di dalam tanaman juga akan keluar berupa uap akibat energi panas matahari (*evaporasi*). Proses pengambilan air oleh akar tanaman kemudian terjadinya penguapan dari dalam tanaman disebut transpirasi.

Evaporasi yang lain dapat terjadi pada sistem sungai, embung, *reservoir*, waduk maupun air laut yang merupakan sumber air terbesar. Walaupun laut adalah tempat dengan sumber air terbesar namun tidak bisa langsung di manfaatkan sebagai sumber kehidupan karena mengandung garam atau air asin (*salt water*).

2.2. Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan unit hidrologi dasar. Bila kita memandang suatu *system yang mengalir* yang dapat diterapkan pada suatu daerah aliran sungai, maka akan nampak struktur sistem dari daerah ini adalah *Daerah Aliran Sungai* yang merupakan lahan total dan permukaan air yang di batasi oleh suatu batas air, topografi dan dengan salah satu cara memberikan sumbangan terhadap debit sungai pada suatu daerah. Daerah aliran sungai merupakan dasar pengelolaan untuk sumber daya air. Nama sebuah DAS ditandai dengan nama sungai yang bersangkutan dan dibatasi oleh titik kontrol, yang umumnya merupakan stasiun hidrometri. Memperhatikan hal tersebut berarti sebuah DAS dapat merupakan bagian dari DAS lain (Soemarto, 1995).

Dalam mempelajari ekosistem DAS, dapat diklasifikasikan menjadi daerah hulu, tengah dan hilir. DAS bagian hulu dicirikan sebagai daerah konservasi, DAS bagian hilir merupakan daerah pemanfaatan. DAS bagian hulu mempunyai arti penting terutama dari segi perlindungan fungsi tata air, karena itu setiap terjadinya kegiatan di daerah hulu akan menimbulkan dampak di daerah hilir dalam bentuk perubahan fluktuasi debit dan transport sedimen serta material terlarut dalam sistem aliran airnya. Dengan perkataan lain ekosistem DAS, bagian hulu mempunyai fungsi perlindungan terhadap keseluruhan DAS. Perlindungan ini antara lain dari segi fungsi tata air, dan oleh karenanya pengelolaan DAS hulu seringkali menjadi fokus perhatian mengingat dalam suatu DAS, bagian hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biofisik melalui siklus hidrologi.

Dalam memberikan gambaran keterkaitan secara menyeluruh dalam pengelolaan DAS, terlebih dahulu diperlukan batasan-batasan mengenai DAS berdasarkan fungsi, yaitu *pertama* DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan. *Kedua* DAS bagian tengah didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang dapat diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan ketinggian muka air tanah, serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau. *Ketiga* DAS bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang diindikasikan melalui kuantitas dan

kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, dan terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah.

2.3. Jaringan Irigasi

Jaringan irigasi adalah satu kesatuan saluran dan bangunan yang diperlukan untuk pengaturan air irigasi, mulai dari penyediaan, pengambilan, pembagian, pemberian dan penggunaannya. Secara hirarki jaringan irigasi dibagi menjadi jaringan utama dan jaringan tersier. Jaringan utama meliputi bangunan, saluran primer dan saluran sekunder. Sedangkan jaringan tersier terdiri dari bangunan dan saluran yang berada dalam petak tersier. Suatu kesatuan wilayah yang mendapatkan air dari suatu jaringan irigasi disebut dengan Daerah Irigasi (Direktorat Jenderal Pengairan KP – 01, 1986).

Mengacu pada Direktorat Jenderal Pengairan (1986) cara pengaturan, pengukuran, serta kelengkapan fasilitas, jaringan irigasi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu (1) jaringan irigasi sederhana, (2) jaringan irigasi semi teknis dan (3) jaringan irigasi teknis. Dari segi konstruksi jaringan irigasinya, Pasandaran (1991) mengklasifikasikan sistem irigasi menjadi empat jenis yaitu :

1) Irigasi Sederhana

Adalah sistem irigasi yang sistem konstruksinya dilakukan dengan sederhana, tidak dilengkapi dengan pintu pengatur dan alat pengukur sehingga air irigasinya tidak teratur dan tidak terukur, sehingga efisiensinya rendah.

2) Irigasi Setengah Teknis

Adalah suatu sistem irigasi dengan konstruksi pintu pengatur dan alat pengukur pada bangunan pengambilan (*headwork*) saja, sehingga air hanya teratur dan terukur pada bangunan pengambilan saja dengan demikian efisiensinya sedang.

3) Irigasi Teknis

Adalah suatu sistem irigasi yang dilengkapi dengan alat pengatur dan pengukur air pada bangunan pengambilan, bangunan bagi dan bangunan sadap sehingga air terukur dan teratur sampai bangunan bagi dan sadap, diharapkan efisiensinya tinggi.

4) Irigasi Teknis Maju

Adalah suatu sistem irigasi yang airnya dapat diatur dan terukur pada seluruh jaringan dan diharapkan efisiensinya tinggi sekali.

Petak irigasi adalah petak lahan yang memperoleh air irigasi. Petak tersier adalah kumpulan petak irigasi yang merupakan kesatuan dan mendapatkan air irigasi melalui saluran tersier yang sama. Petak tersier terdiri dari beberapa petak kuarter masing-masing seluas kurang lebih 8 - 15 hektar. Pembagian air, eksploitasi dan pemeliharaan di petak tersier menjadi tanggung jawab para petani yang mempunyai lahan di petak yang bersangkutan dibawah bimbingan pemerintah. Petak tersier biasanya mempunyai batas-batas yang jelas, misalnya jalan, parit, batas desa dan batas-batas lainnya. Ukuran petak tersier berpengaruh terhadap efisiensi pemberian air. Beberapa faktor lainnya yang berpengaruh dalam penentuan luas petak tersier antara lain jumlah petani, topografi dan jenis tanaman.

Petak sekunder terdiri dari beberapa petak tersier yang semuanya dilayani oleh satu saluran sekunder. Biasanya petak sekunder menerima air dari bangunan bagi yang terletak di saluran primer atau sekunder. Batas-batas petak sekunder pada umumnya berupa tanda topografi yang jelas misalnya saluran drainase. Luas petak sekunder dapat berbeda-beda tergantung pada kondisi topografi daerah yang bersangkutan. Saluran sekunder pada umumnya terletak pada punggung mengairi daerah di sisi kanan dan kiri saluran tersebut sampai saluran drainase yang membatasinya. Saluran sekunder juga dapat direncanakan sebagai saluran garis tinggi yang mengairi lereng medan yang lebih rendah

Tabel 2.1. Klasifikasi Irigasi

		Klasifikasi Jaringan Irigasi		
		Teknis	Semi-Teknis	Sederhana
1	Bangunan utama	Bangunan permanen	Bangunan permanen atau semi permanen	Bangunan sederhana
2	Kemampuan dalam mengukur dan mengatur debit	Baik	Sedang	Tidak mampu mengatur/mengukur
3	Jaringan Saluran	Saluran pemberi dan pembuang terpisah	Saluran pemberi dan pembuang tidak sepenuhnya terpisah	Saluran pemberi dan pembuang menjadi satu

4	Petak Tersier	Dikembangkan sepenuhnya	Belum dikembangkan dentitas bangunan tersier jarang	Belum ada jaringan terpisah yang dikembangkan
5	Efisiensi secara keseluruhan	50-60 %	40-50 %	< 40 %
6	Ukuran	Tak ada batasan	< 2000 hektar	< 500
7	Jalan Usaha Tani	Ada ke seluruh areal	Hanya sebagian areal	Cenderung tidak ada
8	Kondisi O & P	- Ada instansi yang menangani - Dilaksanakan teratur	Belum teratur	Tidak ada O & P

Sumber : Diktorat Jendral Pengairan. Standar Perencanaan Irigasi KP-01 : 1986

2.4. Analisa Hidrologi

2.4.1 Perhitungan Curah Hujan Areal

Dalam pembuatan rancangan dan rencana adalah distribusi curah hujan pada areal yang bersangkutan. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan selama 10 tahun, dari 2002 hingga 2011 di 3 stasiun penakar hujan yang berdekatan dengan lokasi. Tiga stasiun hujan itu adalah Stasiun Pagar Merbau,

Stasiun Bangun Purba dan Stasiun Tiga Runggu. . Ada tiga cara untuk menghitung curah hujan rata-rata areal yang bisa dilakukan, yaitu :

1. Cara Rata-Rata Aljabar

Cara ini memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal. (Sumber: Soemarto, 1986).

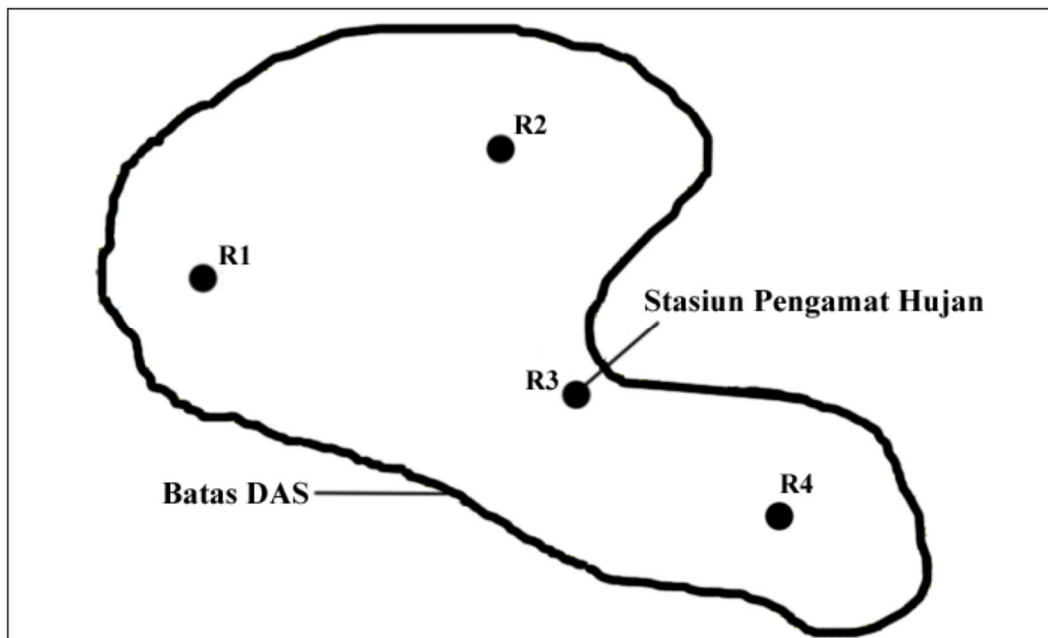
$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.2a)$$

dimana :

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

n = Jumlah stasiun pengamat

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan



Gambar 2.3. Perhitungan dengan cara aljabar

2. Cara Poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang. Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar. Hal yang perlu diperhatikan dalam cara poligon thiessen ini adalah stasiun pengamatan minimal tiga stasiun dan penambahan stasiun akan merubah seluruh jaringan (Soemarto, 1995).

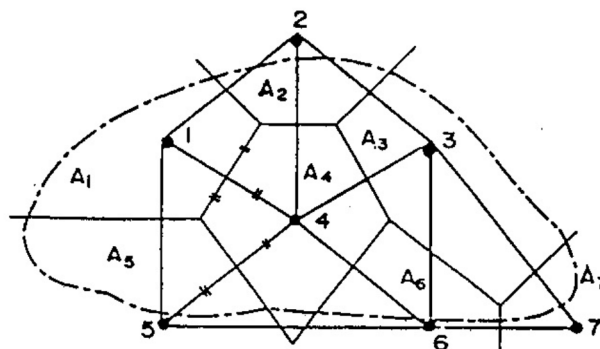
$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.4b)$$

dimana :

R = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

R₁, R₂,.....,R_n = Curah hujan pada stasiun 1,2,.....,n (mm)

A₁, A₂,,A_n = Luas daerah pada poligon 1,2,.....,n (Km²)



Gambar 2.4. Perhitungan dengan cara thiessen

3. Cara Isohyet

Dengan cara ini, kita harus menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*). Ini adalah cara yang paling teliti untuk mendapatkan hujan areal rata-

rata, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat yang memungkinkan untuk membuat *isohyet*. Pada waktu menggambar *isohyet* sebaiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografik).

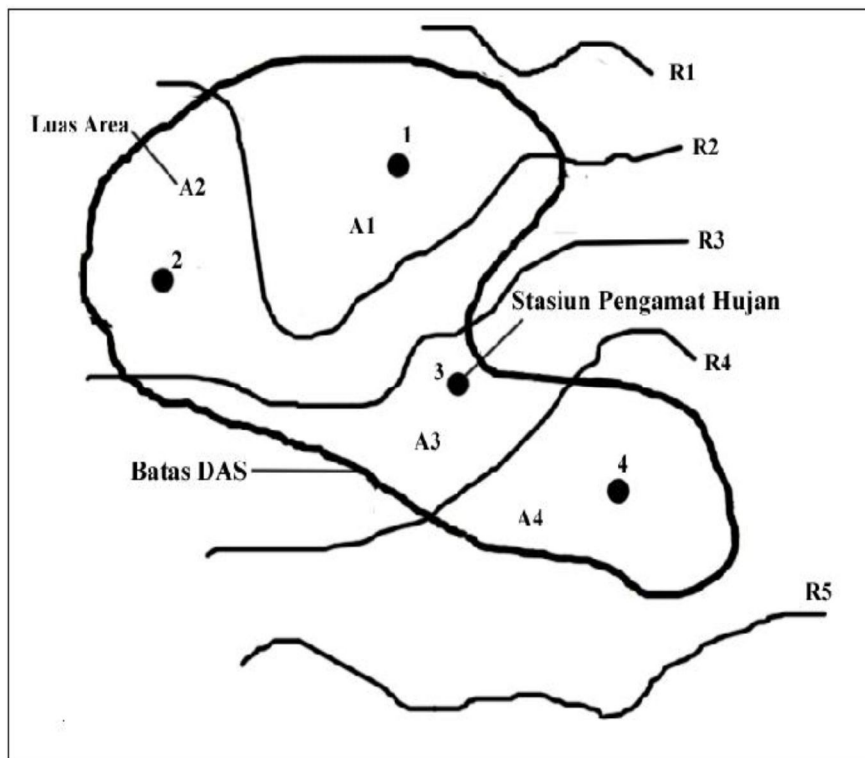
$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_2 + R_3}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.4c)$$

dimana :

R = Curah hujan rata-rata (mm)

R1, R2,, Rn = Curah hujan stasiun 1, 2,....., n (mm)

A1, A2,, An = Luas bagian yang dibatasi oleh *isohyet-isohyet* (Km²)



Gambar 2.5. Perhitungan dengan cara isohyet

4. Metode Meteorological Water Balance Dr. F.J. Mock

Metode ini ditemukan oleh Dr. F.J. Mock pada tahun 1973 dimana metode ini didasarkan atas fenomena alam di beberapa tempat di Indonesia. Dengan metode ini, besarnya aliran dari data curah hujan, karakteristik hidrologi daerah pengaliran dan evapotranspirasi dapat dihitung. Pada dasarnya metode ini adalah hujan yang jatuh pada catchment area sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan (*direct runoff*) dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*), dimana infiltrasi pertama-tama akan menjenuhkan top soil, kemudian menjadi perkolasi membentuk air bawah tanah (ground water) yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai aliran dasar (*base flow*).

2.4.2 Distribusi Frekuensi Curah Hujan

Sistem-sistem sumber daya air harus dirancang bagi hal-hal yang akan terjadi pada masa yang akan datang, yang tak dapat dipastikan kapan akan terjadi. Oleh karena itu, ahli hidrologi harus memberikan suatu pernyataan probabilitas bahwa aliran-aliran sungai akan menyamai atau melebihi suatu nilai yang telah ditentukan. Probabilitas adalah suatu basis matematis bagi peramalan, dimana rangkaian hasil lengkap yang didapat merupakan rasio hasil-hasil yang akan menghasilkan suatu kejadian tertentu terhadap jumlah total hasil yang mungkin.

Probabilitas-probabilitas tersebut penting artinya bagi evaluasi ekonomi dan social dari suatu perencanaan bangunan air. Perencanaan untuk mengendalikan banjir yang mempunyai probabilitas tertentu mengandung pengakuan bahwa kemampuan proyek sekali-sekali dapat dilampaui dan

kerusakan harus dialami. Namun, biaya perbaikan kerusakan itu akan lebih murah setelah periode pengoperasian yang panjang jika dibandingkan dengan pembuatan bangunan yang khusus dimaksudkan sebagai perlindungan terhadap keadaan yang paling buruk. Tujuan perencanaan itu bukan untuk menghilangkan semua banjir tersebut, melainkan untuk mereduksi frekwensi banjirnya, yang berarti juga mengurangi kerusakan yang ditimbulkan.

Curah hujan rancangan dihitung berdasarkan analisis Probabilitas Frekuensi seperti yang mengacu pada SK SNI M-18-1989 tentang Metode Perhitungan debit banjir. Tujuan dari analisa distribusi frekuensi curah hujan adalah untuk memperkirakan besarnya variate-variate masa ulang tertentu.

Banyak macam distribusi teoritis yang kesemuanya itu dapat dibagi dua, yaitu diskrit dan kontinu. Diskrit diantaranya adalah *Binominal dan Poisson*, sedangkan kontinu adalah *Normal, Log Normal, Gamma, Beta, Pearson dan Gumbel*. Untuk menganalisis probabilitas banjir biasanya dipakai beberapa macam distribusi yaitu:

a) Distribusi Gumbel

Menurut Gumbel, persoalan tertua adalah berhubungan dengan nilai-nilai ekstrem datang dari persoalan banjir. Tujuan teori statistik nilai-nilai ekstrem adalah untuk menganalisis hasil pengamatan nilai-nilai ekstrem tersebut untuk memperkirakan nilai-nilai ekstrem berikutnya.

Gumbel menggunakan teori nilai ekstrem untuk menunjukkan bahwa dalam deret nilai-nilai ekstrem $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, dengan sampel-sampel yang sama besar, dan X merupakan variabel berdistribusi eksponensial, maka probabilitas

kumulatifnya P, pada sebarang nilai di antara n buah nilai X_n akan lebih kecil dari nilai X tertentu (dengan waktu balik T_r).

b) Log Person Type III

Parameter-parameter statistic yang diperlukan oleh distribusi Pearson Type III adalah:

- Nilai tengah
- Standard deviasi
- Koefisiensi skewness

Untuk menghitung banjir perencanaan dalam praktek, *the Hydrology Committee of the Water Resources Council, USA*, menganjurkan, pertama kali mentransformasikan data ke nilai-nilai logaritma kemudian menghitung parameter-parameter statistiknya. Karena transformasi tersebut, maka cara ini disebut log Pearson type III.

c) Normal

d) Log Normal

2.4.3 Debit Air

Debit adalah suatu koefisien yang menyatakan banyaknya air yang mengalir dari suatu sumber persatu-satuan waktu, biasanya diukur dalam satuan liter / detik. Pengukuran debit dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain:

1. Pengukuran debit dengan bendung
2. Pengukuran debit berdasarkan kerapatan lautan obat

3. Pengukuran kecepatan aliran dan luas penampang melintang, dalam hal ini untuk mengukur kecepatan arus digunakan pelampung atau pengukur arus dengan kincir
4. Pengukuran dengan menggunakan alat-alat tertentu seperti pengukur arus magnetis, pengukur arus gelombang supersonis

Untuk memenuhi kebutuhan air pengairan irigasi bagi lahan-lahan pertanian, debit air di daerah bendung harus lebih cukup untuk disalurkan ke saluran-saluran (induk-sekunder-tersier) yang telah disiapkan di lahan-lahan pertanaman. Agar penyaluran air pengairan ke suatu areal lahan pertanaman dapat diatur dengan sebaik-baiknya (dalam arti tidak berlebihan atau agar dapat dimanfaatkan seefisien mungkin, dengan mengingat kepentingan areal lahan pertanaman lainnya) maka dalam pelaksanaannya perlu dilakukan pengukuran-pengukuran debit air. Dengan distribusi yang terkendali, dengan bantuan pengukuran-pengukuran tersebut, maka masalah kebutuhan air pengairan selalu dapat diatasi tanpa menimbulkan gejolak dimasyarakat petani pemakai air. Dalam studi ini debit yang diberikan sebesar $0,624 \text{ m}^3/\text{dt}$ (Dinas Pengairan Propinsi Sumatera Utara, 2006).

2.4.4 Pengukuran Debit

Pengukuran global kecepatan aliran dilakukan dengan mengukur waktu pelampung melewati jarak yang terukur. Pelampung digunakan bila pengukuran dengan pengukur arus tidak dapat dilakukan karena sampah, ketidakmungkinan melintasi sungai, bila pengukuran membahayakan karena banjir yang sangat tinggi maupun pada kecepatan yang sangat rendah.

Alat ukur arus adalah alat untuk mengukur kecepatan aliran. Apabila alat ini ditempatkan pada suatu titik kedalaman tertentu maka kecepatan aliran pada titik tersebut akan dapat ditentukan berdasarkan jumlah putaran dan waktu lamanya pengukuran. Apabila keadaan lapangan tidak memungkinkan untuk melakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur arus maka pengukuran dapat dilakukan dengan alat pelampung. Alat pelampung yang digunakan dapat mengapung seluruhnya atau sebagian melayang dalam air.

Pengukuran debit aliran yang paling sederhana dapat dilakukan dengan metoda apung. Caranya dengan menempatkan benda yang tidak dapat tenggelam di permukaan aliran sungai untuk jarak tertentu dan mencatat waktu yang diperlukan oleh benda apung tersebut bergerak dari suatu titik pengamatan ke titik pengamatan lain yang telah ditentukan. Kecepatan aliran juga bisa diukur dengan menggunakan alat ukur *current meter*. Alat berbentuk propeler tersebut dihubungkan dengan kotak pencatat (alat monitor yang akan mencatat jumlah putaran selama propeler tersebut berada dalam air) kemudian dimasukkan ke dalam sungai yang akan diukur kecepatannya. Bagian ekor alat tersebut menyerupai sirip dan akan berputar karena gerakan aliran sungai. Tiap putaran ekor tersebut akan mencatat oleh alat monitor, dan kecepatan aliran sungai akan ditentukan oleh jumlah putaran per detik untuk kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan matematik yang khusus dibuat untuk alat tersebut untuk lama waktu pengukuran tertentu.

2.4.5 Debit Andalan

Debit andalan (*dependable flow*) adalah debit yang selalu tersedia sepanjang tahun yang dapat dipakai untuk irigasi. Dalam penelitian ini debit

andalan merupakan debit yang memiliki probabilitas 80%. Debit dengan probabilitas 80% adalah debit yang memiliki kemungkinan terjadi di bendung sebesar 80% dari 100% kejadian. Jumlah kejadian yang dimaksud adalah jumlah data yang digunakan untuk menganalisis probabilitas tersebut. Jumlah data minimum yang diperlukan untuk analisis adalah lima tahun dan pada umumnya untuk memperoleh nilai yang baik data yang digunakan hendaknya berjumlah 10 tahun data (KP – 01, 1986).

Debit minimum sungai dianalisis atas dasar debit hujan sungai. Dikarenakan minimalnya data maka metode perhitungan debit andalan menggunakan metode simulasi perimbangan air dari Dr. F.J.Mock (KP.01,1986). Dengan data masukan dari curah hujan di Daerah Aliran Sungai, evapotranspirasi, vegetasi dan karakteristik geologi daerah aliran.

Pada model F.J. MOCK ada lima parameter yang menggambarkan karakteristik DAS yang besar pengaruhnya terhadap keluaran sistem, yaitu :

- a. Singkapan lahan (*exposed surface*) (m).
- b. Koefisien Infiltrasi.
- c. Kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*)
- d. Initial Storage
- e. Faktor Resesi Air tanah

Metode ini menganggap bahwa air hujan yang jatuh pada daerah aliran (DAS) sebagian akan menjadi limpasan langsung dan sebagian akan masuk tanah

sebagai air infiltrasi, kemudian jika kapasitas menampung lengas tanah sudah terlampaui, maka air akan mengalir ke bawah akibat gaya gravitasi.

2.4.6 Analisa Evapotranspirasi

Gabungan dari dua peristiwa yakni evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan disebut juga peristiwa evapotranspirasi. Kedua proses ini sulit untuk dibedakan karena keduanya terjadi secara simultan. Faktor iklim yang sangat mempengaruhi peristiwa ini, diantaranya adalah suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, dan sinar matahari. Banyak rumus tersedia untuk menghitung besarnya evapotranspirasi yang terjadi, salah satunya adalah Metode Penman (KP – 01, 1986).

Evapotranspirasi adalah kebutuhan dasar bagi tanaman yang harus dipenuhi oleh sistem irigasi yang bersangkutan untuk menjamin suatu tingkat produksi yang diharapkan. Evapotranspirasi sebagai salah satu proses yang rumit sangat dipengaruhi oleh keadaan iklim.

Faktor – faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi (ET) (Soemarto, 1986) adalah :

- a. Radiasi matahari (solar radiaton).

Evapotranspirasi adalah konversi dari air menjadi uap air, proses tersebut terjadi sepanjang siang hari dan juga dapat terjadi pada malam hari. Perubahan dari molekul air menjadi gas memerlukan energi. Proses ini sangat efektif jika terjadi di bawah penyinaran matahari langsung. Dengan adanya awan yang melindungi penyinaran langsung matahari yang sampai ke permukaan bumi akan berkurang sehingga mengurangi masukan energi, untuk proses evapotranspirasi.

b. Temperatur

Apabila temperatur dari udara, tanah, dan tanaman cukup tinggi, proses evapotranspirasi akan lebih besar dibandingkan jika keadaan dingin, karena energi yang tersedia akan lebih besar, selanjutnya semakin tinggi temperatur udara semakin tinggi pula kemampuan untuk mengabsorpsi uap air. Jadi temperatur udara mempunyai pengaruh ganda di dalam proses terjadinya evapotranspirasi, sedangkan permukaan tanah, daun tumbuhan, dan temperatur air hanya mempunyai pengaruh tunggal.

c. Kelembaban relatif (Relative Humidity)

Apabila kelembaban udara naik, kemampuan untuk mengabsorpsi uap air berkurang dan evaporasi menjadi lautan. Manakala stomata daun tanaman terbuka, difusi uap udara yang keluar dari daun tergantung pada perbedaan antara tekanan uap air di dalam rongga sel dan tekanan air pada atmosfer.

d. Angin

Dengan mengisapnya air ke atmosfer lapisan batas antara permukaan tanah (daun tanaman) dan udara menjadi menjadi lembab dan harus digantikan oleh udara kering ketika proses evapotranspirasi terjadi. Pergeseran udara pada lapisan batas tergantung pada kepada angin sehingga kecepatan angin sangat penting dalam hal ini.

e. Variasi elevasi/ketinggian

Pada suatu zona iklim tertentu ET akan berbeda sesuai dengan ketinggian dihitung dari elevasi permukaan air laut, ini sebenarnya bukan berbeda karena

ketinggian itu sendiri tetapi diakibatkan oleh temperature, karena lengas dan kecepatan angin berhembus yang berkaitan dengan ketinggian wilayah yang dimaksud juga radiasi matahari untuk wilayah tinggi berbeda dengan wilayah yang rendah.

Evapotranspirasi Potensial dapat dihitung dengan menggunakan Metoda Penman modifikasi sebagai berikut :

$$ET_0 = c [w R_n + (1 - w) f(u) (e_a - e_d)] \dots\dots\dots (2.4d)$$

dimana :

ET_0 = Evapotranspirasi acuan (mm/hari)

w = Faktor koreksi terhadap temperatur

R_n = Radiasi netto (mm/hari)

f(u) = Fungsi angin

($e_a - e_d$) = Perbedaan tekanan uap air jenuh dengan tekanan uap air nyata (mbar)

c = Faktor pergantian cuaca akibat siang dan malam

($e_a - e_d$) = Perbedaan antara tekanan uap jenuh pada temperatur rata-rata udara dengan tekanan rata-rata air di udara yang sebenarnya

e_d = RH x e_a

= Tekanan uap nyata (mbar), dimana RH = Kelembaban relatif (%)

f(u) = $0,27(1 + u/100)$

= Fungsi kecepatan angin, dimana u = Kecepatan angin (km/jam)

(Nilai fungsi angin f(u) = $0,27(1 + u/100)$ untuk kecepatan angin pada tinggi 2m)

1 - w = Faktor pembobot, dimana w Faktor pemberat

R_s = $(0,25 + 0,5 \cdot n/N) \cdot R_a$

= Radiasi gelombang pendek, dimana R_a = Radiasi Extra Terrestrial(mm/hari)

n/N = Rasio Lama penyinaran

$$\begin{aligned}
N &= \text{Lama penyinaran maksimum} \\
R_{ns} &= R_s \cdot (1-\alpha) \\
&= \text{Radiasi netto gelombang pendek, dimana } \alpha = 0,25 \\
f(T') &= \sigma \cdot T^4 \\
&= \text{Fungsi Temperatur} \\
f(ed) &= 0,33 - 0,044 \cdot (ed)^{0,5} \\
&= \text{Fungsi tekanan uap nyata} \\
f(n/N) &= 0,1 + 0,9 \cdot n/N \\
&= \text{Fungsi rasio lama penyinaran} \\
R_{nl} &= f(T') \cdot f(ed) \cdot f(n/N) \\
&= \text{Radiasi netto gelombang panjang} \\
R_n &= R_{ns} - R_{nl} \\
&= \text{Radiasi netto}
\end{aligned}$$

Rumus Penman didasarkan atas anggapan bahwa suhu udara dan permukaan air rata-rata adalah sama.

2.5. Analisa Kebutuhan Air untuk Irigasi

2.5.1 Curah Hujan Efektif

Tidak semua curah hujan yang jatuh diatas tanah dapat dimanfaatkan oleh tanaman untuk pertumbuhannya, ada sebagian yang menguap dan mengalir sebagai limpasan permukaan. Air hujan yang jatuh diatas permukaan dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- Curah hujan nyata, yaitu sejumlah air yang jatuh pada periode tertentu

- Curah hujan efektif, yaitu jumlah air hujan yang jatuh pada suatu daerah atau petak sawah semasa pertumbuhan tanaman dan dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhannya.

Adapun curah hujan efektif untuk tanaman palawija menurut KP-01 dipengaruhi oleh besarnya tingkat evapotranspirasi dan curah hujan daerah. Besaran curah hujan efektif harian dihitung dengan analisis pendekatan rumus (KP-01, 1986) sebagai berikut:

- Untuk padi, $Re = 70\% \times R80$ (2.5a)

- Untuk palawija, $Re = 70\% \times R50$ (2.5b)

2.5.2 Efisiensi Irigasi

Hampir seluruh air irigasi berasal dari pembagian dari saluran-saluran dari reservoir. Kehilangan air terjadi ketika air berlebih. Efisiensi irigasi dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$E_c = \frac{W_f}{W_r} \times 100 \% \text{ (2.5c)}$$

dimana :

E_c : efisiensi irigasi

W_f : jumlah air yang terdapat di areal persawahan

W_r : jumlah air yang tersedia yang berasal dari pintu pengambilan

Efisiensi pengairan merupakan suatu rasio atau perbandingan antar jumlah air yang nyata bermanfaat bagi tanaman yang diusahakan terhadap jumlah air yang tersedia atau yang diberikan dinyatakan dalam satuan persentase. Dalam hal ini dikenal 3 macam efisiensi yaitu efisiensi penyaluran air, efisiensi pemberian air dan efisiensi penyimpanan air.

Jumlah air yang tersedia bagi tanaman di areal persawahan dapat berkurang karena adanya evaporasi permukaan, limpasan air dan perkolasi. Efisiensi irigasi adalah perbandingan antara air yang digunakan oleh tanaman atau yang bermanfaat bagi tanaman dengan jumlah air yang tersedia yang dinyatakan dalam satuan persentase.

Efisiensi irigasi adalah angka perbandingan dari jumlah air irigasi nyata yang terpakai untuk kebutuhan pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang keluar dari pintu pengambilan (*intake*). Efisiensi irigasi terdiri atas efisiensi pengaliran yang pada umumnya terjadi di jaringan utama dan efisiensi di jaringan sekunder yaitu dari bangunan pembagi sampai petak sawah. Efisiensi irigasi didasarkan asumsi sebagian dari jumlah air yang diambil akan hilang baik di saluran maupun di petak sawah. Kehilangan air yang diperhitungkan untuk operasi irigasi meliputi kehilangan air di tingkat tersier, sekunder dan primer. Besarnya masing-masing kehilangan air tersebut dipengaruhi oleh panjang saluran, luas permukaan saluran, keliling basah saluran dan kedudukan air tanah.

Pada dasarnya, semua kehilangan air yang mempengaruhi efisiensi irigasi berlangsung selama proses pemindahan air dari sumbernya ke lahan pertanian dan selama pengolahan lahan pertanian.

2.5.3 Kebutuhan Air di Sawah

Kebutuhan air untuk tanaman pada suatu jaringan irigasi merupakan air yang dibutuhkan untuk tanaman untuk pertumbuhan yang optimal tanpa kekurangan air yang dinyatakan dalam Netto Kebutuhan Air Lapangan (*Net Field Requirement, NFR*).

Kebutuhan air bersih disawah (NFR) dipengaruhi oleh faktor-faktor NFR seperti penyiapan lahan, pemakaian konsumtif, penggenangan, efisiensi irigasi, perkolasi dan infiltrasi, dengan memperhitungkan curah hujan efektif (Re). Bedanya kebutuhan pengambilan air irigasi (DR) juga ditentukan dengan memperhitungkan faktor efisiensi irigasi secara keseluruhan (e). Perhitungan kebutuhan air irigasi dengan rumus sebagai berikut:

$$NFR = Etc + P + WLR - Re \dots\dots\dots (2.5d)$$

$$DR = (NFR \times A)/e \dots\dots\dots (2.5f)$$

dimana:

NFR = kebutuhan air irigasi disawah (mm/hari) atau (lt/det/Ha)

DR = kebutuhan air di pintu pengambilan (lt/det/Ha)

Etc = penggunaan konsumtif (mm/hari)

P = perkolasi (mm/hari)

WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)

Re = curah hujan efektif

A = luas areal irigasi rencana (Ha)

e = efisiensi irigasi

2.5.4 Kebutuhan Penyiapan Lahan

Pada Standar Perencanaan irigasi disebutkan bahwa kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi pada suatu proyek irigasi. Ada 2 faktor penting yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan ialah:

- a. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk penyiapan lahan.

b. Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan.

Metode yang dapat digunakan untuk perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan salah satunya adalah metode yang dikembangkan oleh *van de Goor* dan *Zijlstra (KP-01,1968)*. Metode ini didasarkan pada laju air konstan dalam l/dt selama penyiapan lahan dan menghasilkan rumus berikut :

$$LP = M \cdot e^k / (e^k - 1) \dots\dots\dots (2.5g)$$

dimana :

LP = Kebutuhan air irigasi untuk pengolahan tanah (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah di jenuhkan (= Eo + P)

Eo = Evaporasi air terbuka (mm/hari) (= Eto x 1,10)

P = Perkolasi (mm/hari)

T = Jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = Kebutuhan air, untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm, yakni 200 + 50 = 250 mm

k = MT / S

e = bilangan Napier (2,7183)

2.5.5 Kebutuhan Air untuk Konsumtif Tanaman

Kebutuhan air untuk konsumtif tanaman merupakan kedalaman air yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman yang bebas penyakit,

tumbuh di areal pertanian pada kondisi cukup air dari kesuburan tanah dengan potensi pertumbuhan yang baik dan tingkat lingkungan pertumbuhan yang baik. Untuk menghitung kebutuhan air untuk konsumtif tanaman digunakan persamaan empiris sebagai berikut :

$$Etc = Kc \times Eto \dots\dots\dots (2.5h)$$

dimana :

Kc : Koefisien tanaman

Eto : Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

Etc : Evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

Tabel 2.2 Harga Koefisien Tanaman

Bulan	Padi		Palawija		
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Keledai	K. Tanah	Jagung
0,5	1,10	1,10	0,50	0,50	0,50
1,0	1,10	1,10	0,75	0,51	0,95
1,5	1,10	1,05	1,00	0,66	0,96
2,0	1,10	1,05	1,00	0,85	1,05
2,5	1,10	0,95	0,82	0,95	1,02
3,0	1,05	0,00	0,45*	0,95	0,95*
3,5	0,95			0,95	
4,0	0,00			0,55	
4,5				0,55*	

Sumber : Standart Perencanaan Irigasi KP-01

Catatan

- * = untuk sisanya kurang dan 1/2 bulan
- Umur kedelai = 85 hari
- Umur kacang tanah = 130 hari
- Umur jagung = 80 hari

- Kebutuhan air irigasi selama jangka waktu penyiapan lahan

$$IR = M \cdot e^k / (e^k - 1) \dots\dots\dots (2.5i)$$

dimana :

IR = kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan (mm/hari)

M = kebutuhan air untuk mengganti menkompensasi air yang hilang akibat evaporasi, $M = E_0 + P$

E_0 = Evaporasi air terbuka yang diambil dari $1,1 \times ET_0$ selama penyiapan lahan

$K = MT/S$

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = air yang dibutuhkan untuk penjenuhan ditambah dengan 50 mm

e = bilangan Napier (2,7183)

- Kebutuhan bersih air di sawah untuk padi (NFR)

$$NFR = ET_c + P - Re + WLR \dots\dots\dots (2.5j)$$

- Kebutuhan irigasi untuk padi

$$IR = NFR/e \dots\dots\dots (2.5k)$$

dimana :

ET_c = penggunaan konsumtif (mm)

P = kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)

Re = curah hujan per hari (mm/hari)

e = efisiensi irigasi secara keseluruhan

WLR = penggantian lapisan air mm/hari

2.5.6 Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zona tidak jenuh yang terletak diantara permukaan tanah ke permukaan air tanah (zona jenuh). Daya perkolasi adalah laju maksimum yang dimungkinkan, yang besarnya dipengaruhi oleh

kondisi tanah dalam zona tidak jenuh yang terletak diantara permukaan tanah dengan permukaan air tanah,

Laju perkolasi sangat bergantung pada sifat-sifat tanah. Dari hasil penyelidikan tanah pertanian dan penyelidikan kelulusan, besarnya laju perkolasi serta tingkat kecocokan tanah untuk pengolahan tanah dapat ditetapkan dan dianjurkan pemakaiannya. Guna menentukan laju perkolasi, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan. Perembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah. Laju perkolasi normal pada tanah lempung sesudah dilakukan genangan berkisar antara 1 sampai 3 mm/hari (KP – 01, 1986). Di daerah dengan kemiringan diatas 5 %, paling tidak akan ter terjadi kehilangan 5 mm/hari akibat perkolasi dan rembesan.

2.5.7 Pergantian Lapisan Air

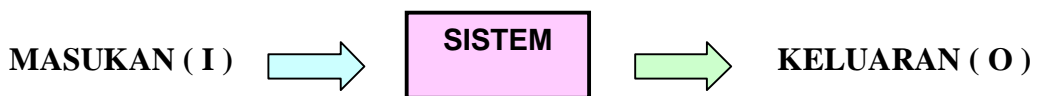
- a. Setelah pemupukan, usahakan untuk menjadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan.
- b. Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, lakukan penggantian sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hari selama ½ bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi.

2.6. Analisa Keseimbangan Air (Neraca Air)

Proses siklus air pada suatu daerah untuk periode tertentu terdapat hubungan keseimbangan antara aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*). Hubungan antara ketersediaan air untuk berbagai macam sektor harus terjadi

keseimbangan, hubungan keseimbangan disebut “Neraca kebutuhan dan ketersediaan air” sering disebut juga dengan “Neraca Air” atau *water balance*.

Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke, yang tersedia di, dan yang keluar dari sistim (sub-sistem) tertentu, seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut ini :



Gambar 2.6. Skema Neraca Air

$$I = O \pm \Delta S \dots \dots \dots (2.6a)$$

dimana:

I = masukan (inflow);

O = keluaran (outflow);

ΔS = perubahan tampungan (change of storage).

Perumusan dari neraca air ketersediaan dan kebutuhan adalah :

$$Q_{\text{ketersediaan}} - Q_{\text{kebutuhan}} = \Delta S \dots \dots \dots (2.6b)$$

dimana:

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = Total ketersediaan debit (m^3/detik)

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = Total kbutuhan debit (m^3/detik)

ΔS = Perubahan kuantitas air (m^3/detik)

2.7. Pola Tanam

Pada umumnya, pola tanam di suatu daerah irigasi harus di atur sedemikian rupa agar waktu panen dan menanam menjadi teratur. Pola tanam

ialah susunan rencana penanaman berbagai jenis tanaman selama satu tahun. Terbatasnya persediaan air adalah alasan yang mempengaruhi penyusunan pola tanam dalam satu tahun (Suryadi, 2011).

Agar kebutuhan pengambilan puncak dapat dikurangi, maka areal irigasi harus dibagi-bagi menjadi sedikitnya tiga atau empat golongan. Hal ini dilakukan agar bisa mendapatkan luas lahan tanam maksimal dari debit yang tersedia. Perencanaan golongan dilakukan dengan cara membagi lahan tanam dengan masa awal tanam yang berbeda. Langkah ini ditempuh dengan alasan tidak mencukupinya jumlah kebutuhan air apabila dilakukan penanaman secara serentak atau bisa juga dengan asumsi apabila tidak turunnya hujan untuk beberapa saat ke depan. Termasuk juga dikarenakan keterbatasan dari sumber daya manusianya maupun bangunan pelengkap yang ada.