

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Air Dan Siklus Hidrologi**

Air adalah semua air yang terdapat pada di atas, atau di bawah permukaan tanah termasuk air permukaan, air tanah, air hujan dan air laut (UU Sumber Daya Air No.7 Tahun 2004). 70% permukaan bumi ditutupi air, dan yang dapat di dimanfaatkan yaitu sekitar 0,003% (Chow dkk 1988, dikutip Messakh, 2016). Sumber air adalah sumber daya alam yang diperbarui melalui siklus hidrologi, tergantung iklim dan tutupan lahan membentuk rezim hidrologi dimana komponennya berkarakter acak dan stokastik, pembuangan air laut pada kemiringan landai merupakan fenomena deterministik (Messakh, 2016). Walaupun jumlah air di bumi selalu tetap, tetapi karena siklus hidrologi serta kondisi tiap wilayah yang berbeda mengakibatkan jumlah air yang ada disuatu tempat pada waktu tertentu tidak merata sehingga manusia yang membutuhkan air pada waktu dan tempat tertentu mengalami kekurangan air untuk kebutuhannya (Hartono, 2014).

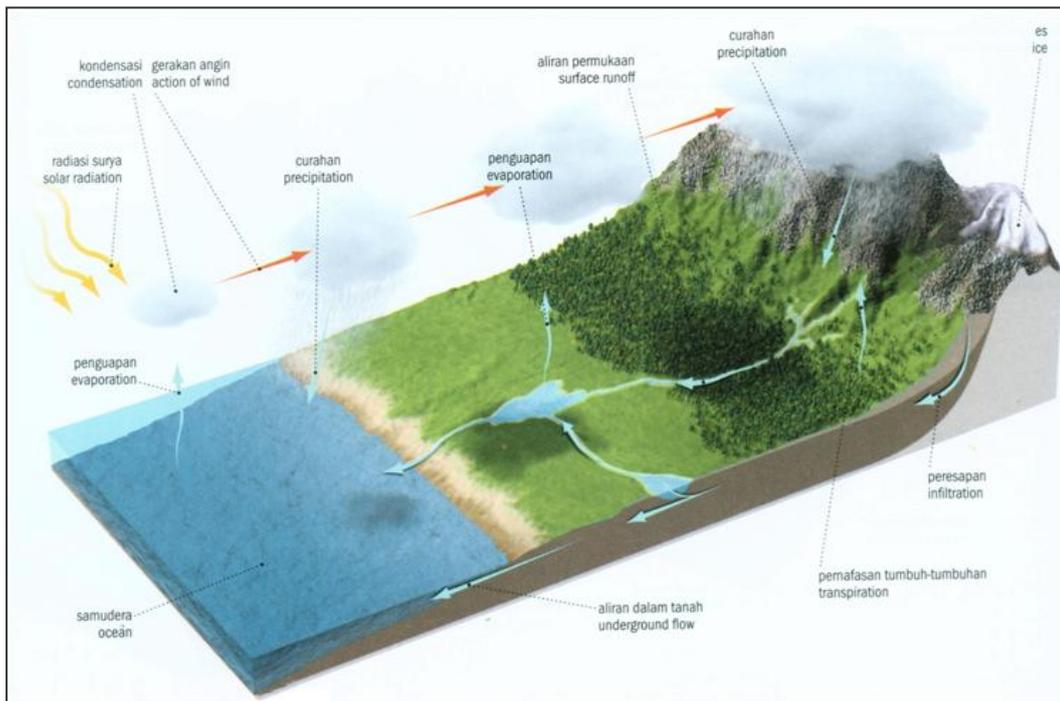
Untuk memahami pengertian sumber air, dapat mempelajarinya dari siklus hidrologi yaitu siklus kejadian pembentukan air secara alami yang terjadi berulang sepanjang masa. Siklus ini secara umum mencakup air laut dan air daratan yang mengalami penguapan oleh sinar matahari, kemudian membentuk awan yang pada ketinggian dan dengan kondisi tertentu awan tersebut berubah menjadi hujan. Air hujan jatuh kembali kelautan dan daratan dan air hujan yang turun di daratan sebagian akan menyerap kedalam tanah dan sebagian diuapkan, sisanya mengalir dipermukaan melalui sungai dan saluran lainnya dan kembali ke laut. Air yang meresap kedalam tanah sebagian akan disimpan dalam lapisan pembawa air (*aquifer*) berupa air tanah dalam dan air tanah dangkal. Lapisan *aquifer* ini bila terpotong topografinya akan muncul sebagai mata air yang mengalir kedalam sungai dan akhirnya kembali terkumpul di laut (Namara, 2010).

Siklus hidrologi menjelaskan perputaran atau sirkulasi dari adanya proses penguapan dari bumi, air, dan makhluk hidup kemudian pada ketinggian tertentu mengembun dan turun sebagai hujan pada permukaan kedalam tanah. Hujan jatuh ke bumi kemudian mengalir dengan cara gravitasi. Pada beberapa bagian tempat, air akan tertahan pada tempat penampungan alam seperti cekungan, danau, dan tempat rendah lainnya maupun tempat penampungan buatan seperti sumur, waduk, dan lain sebagainya. Aliran air yang mengalir dipermukaan tanah disebut sebagai air permukaan,

yang akan mengalir ke dalam tanah melalui infiltrasi dan perkolasi yang akan menjadi aliran tanah dalam dan aliran tanah dangkal. Akibat panas matahari, air dipermukaan bumi akan menjadi uap dalam bentuk evaporasi dan bila melalui tanaman disebut transpirasi.

Messakh (2016), mengemukakan bahwa, hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang seluk-beluk air di permukaan bumi yang meliputi: kejadian, peredaran dan segala karakteristiknya baik itu kualitas, kuantitas dalam ruang dan waktu. Pemahaman mengenai daur hidrologi ini diperlukan untuk membantu menerangkan rangkaian ketersediaan sumber daya air.

Keseimbangan air dapat di gambarkan dalam siklus hidrologi seperti pada Gambar 2.1. berikut ini :



**Gambar 2.1. Proses Siklus Hidrologi**

Sumber: Hartono, 2014

### 2.1.1 Analisis Hidrologi

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan hidrologi berhubungan dengan perhitungan ketersediaan air adalah

#### 2.1.1.1 Data hujan

Data hujan merupakan variabel hidrologi terpenting karena relatif paling mudah diperoleh. Selanjutnya pendekatan yang paling logis untuk analisis ketersediaan air tentunya didasarkan pada data curah hujan. Berdasarkan data hujan, potensi ketersediaan air dapat dilakukan untuk mengetahui karakteristik rinci tentang jumlah

dan pola distribusi air hujan. Informasi awal yang perlu diketahui terkait dengan karakteristik curah hujan adalah pola musim curah hujan. Secara umum terdapat tiga macam pola musiman curah hujan, yaitu: a) musim hujan dengan periode yang tertentu, b) musim hujan dengan periode yang tidak jelas, dan c) tidak terdapat periode musim hujan yang pasti.

data curah hujan dapat dibedakan berdasarkan teknis pengukurannya.

- a. Penakar hujan manual: data curah hujan harian – bulanan.
- b. Penakar hujan otomatis: data curah hujan menitan – jam-jaman

**2.1.1.1.1 Analisis Curah Hujan Rencana**

Dalam penentuan curah hujan data dari pencatat atau penakar hanya didapatkan curah hujan di suatu titik tertentu (*point rainfall*). Untuk mendapatkan harga curah hujan areal dapat dihitung dengan beberapa metode :

1. Metode Rata-Rata Aljabar

Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari penakaran pada penakar hujan areal tersebut. Cara ini digunakan apabila :

- 1. Daerah tersebut berada pada daerah yang datar
- 2. Penempatan alat ukur tersebar merata
- 3. Variasi curah hujan sedikit dari harga tengahnya

Rumus yang digunakan pada perhitungan ini adalah sebagai berikut

$$\bar{R} = \frac{1}{n} ( R_1+R_2+.....+R_n) \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

- $\bar{R}$  = curah hujan maksimum rata-rata (*mm*)
- n = jumlah stasiun pengamatan
- R<sub>1</sub> = curah hujan pada stasiun pengamatan satu (*mm*)
- R<sub>2</sub> = curah hujan pada stasiun pengamatan dua (*mm*)
- R<sub>n</sub> = curah hujan pada stasiun pengamatan n (*mm*)

2. Metode *Polygon Thiessen*

Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang, dimana masing-masing stasiun mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun, dengan planimeter maka dapat dihitung luas daerah tiap stasiun. Sebagai kontrol maka jumlah luas total harus sama dengan luas yang telah diketahui terlebih dahulu. Masing-masing luas lalu diambil prosentasenya dengan jumlah total 100%. Kemudian harga ini dikalikan dengan

curah hujan daerah di stasiun yang bersangkutan dan setelah dijumlah hasilnya merupakan curah hujan yang dicari.

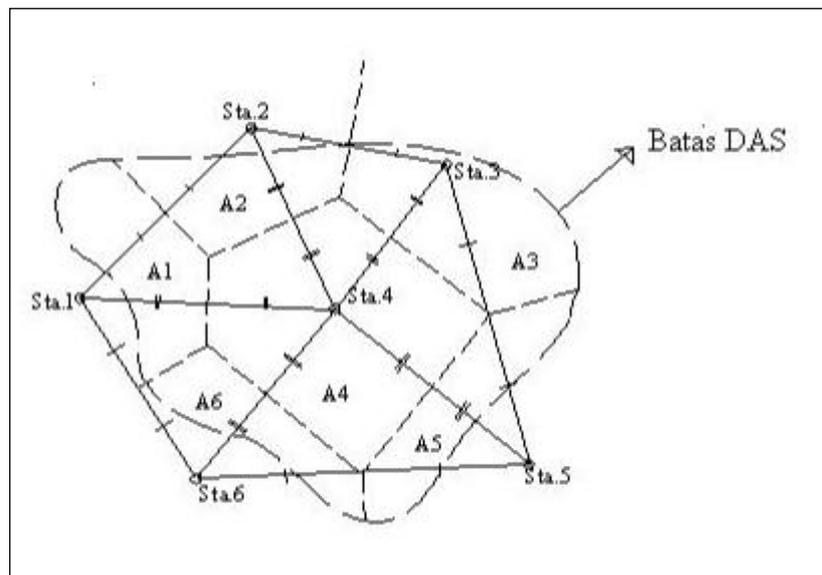
Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

1. Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah stasiun.
2. Penambahan stasiun akan mengubah seluruh jaringan
3. Topografi daerah tidak diperhitungkan.
4. Stasiun hujan tidak tersebar merata

Perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.2)$$

- $R$  = curah hujan maksimum rata-rata ( $mm$ )
- $R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan pada stasiun 1,2,.....,n ( $mm$ )
- $A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah pada *polygon* 1,2,.....,n ( $km^2$ )



**Gambar 2.2. Perhitungan Curah Hujan Metode Polygon Thiessen**

**2.1.1.1.2 Curah hujan harian**

Metode yang dipakai dalam mencari curah hujan harian adalah Metode Rata-rata Aljabar. Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari penakar hujan areal tersebut dibagi dengan jumlah stasiun pegamatan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

1. Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata

Metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata adalah sebagai berikut:

1. Tentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan.
2. Cari besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
3. Tentukan hujan maksimum harian (seperti langkah 1) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
4. Ulangi langkah 2 dan 3 setiap tahun.

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai dengan jumlah pos hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun. Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan maksimum harian DAS untuk tahun yang bersangkutan (*Suripin, 2004*)

#### **2.1.1.2 Data Klimatologi dan Meteorologi**

Klimatologi adalah ilmu yang mempelajari iklim, Iklim adalah keadaan rata-rata cuaca dalam jangka waktu panjang. Setiap tempat dapat mempunyai iklim yang berbeda dengan tempat lainnya sesuai dengan kondisi masing-masing unsur-unsur iklim. Data klimatologi harus diambil dari stasiun terdekat dan yang paling mewakili daerah kajian . data pertama yang paling penting dari stasiun klimatologi ini adalah elevasi ketinggian (*altitude*) dan *latitude*

Data meteorologi digunakan sebagai Parameter utama dalam perhitungan evapotranspirasi Potensial. Masukan data klimatologi meliputi tiap bulanan :

1. Penyinaran matahari, perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan energi berupa panas laten untuk evaporasi. penyinaran dapat diberikan sebagai presentase (20-100) dari perbandingan penyinaran terhadap panjang hari; atau pecahan (0-1) atau lamanya penyinaran dalam jam (1-20).
2. Kecepatan Angin, jika air menguap ke atmosfer maka lapisan batas antara permukaan tanah dan udara menjadi jenuh oleh uap air sehingga proses penguapan berhenti. Agar proses tersebut dapat berjalan terus, lapisan jenuh harus diganti dengan udara kering yang terjadi jika ada angin. Kecepatan angin dapat diberikan dalam km/hari (10-500) atau m/det. (0-10).  
Nilai > 10 menafsikan sebagai kecepatan angin dalam km/hari.  
Nilai < 10 menafsikan sebagai kecepatan angin dalam m/det.
3. Kelembaban udara dapat diberikan sebagai Kelembaban relatif, jika kelembaban relatif naik maka kemampuan udara untuk menyerap air akan berkurang sehingga laju evaporasinya menurun. kelembaban relatif dalam persen (0-100) atau "*vapour pressure*" dalam mbar (1-50). Untuk membedakan

kedua satuan diatas , nilai “*vapour pressure*” dimasukan sebagai nilai negatif, misalnya 12,5 mbar ditulis 12.5

4. Suhu dalam derajat celcius, dapat sebagai temperatur rata-rata harian atau sebagai maksimum dan minimum dalam bulan. jika suhu udara dan tanah cukup tinggi maka proses evaporasi berjalan lebih cepat.

## 2.2 Ketersediaan Air

Ketersediaan air dalam pengertian sumber daya air pada dasarnya berasal dari air hujan (atmosferik), air permukaan dan air tanah. Ketersediaan air yang merupakan bagian dari fenomena alam, sering sulit untuk diatur dan diprediksi dengan akurat. Hal ini karena ketersediaan air mengandung unsur variabilitas ruang (*spatial variability*) dan variabilitas waktu (*temporal variability*) yang sangat tinggi. Konsep siklus hidrologi adalah bahwa jumlah air di suatu luasan tertentu di hamparan bumi dipengaruhi oleh masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang terjadi. Oleh karena itu, analisis kuantitatif dan kualitatif harus dilakukan secermat mungkin agar dapat dihasilkan informasi yang akurat untuk perencanaan dan pengelolaan sumberdaya air. Dari sisi ketersediaan, air dapat berasal dari 2 macam hal yaitu:

1. sumber-sumber air yang sudah ada (eksisting)
2. potensi air yang dapat dikembangkan.

Ada 2 (dua) persoalan penting yang ingin diselesaikan yang berkaitan dengan ketersediaan air, yaitu bagaimana memenuhi kebutuhan air dan bagaimana memelihara serta mempertahankan debit air pada sumber-sumber mata air yang ada sehingga tidak mengalami fluktuasi yang lebih besar lagi pada saat musim kemarau. Untuk mengatasi 2 (dua) persoalan di atas maka harus memanfaatkan secara maksimal potensi limpasan air hujan dengan membangun wadah tampungan air yang secara “*sustainable*” dapat menjamin pemenuhan kebutuhan air bagi masyarakat sekaligus sebagai wadah konservasi, yakni dengan membangun waduk/bendung. Dilihat dari sisi teknis seperti topografi, geologi dan hidrologi sangat potensial untuk dapat mewujudkan hal ini. Harapannya adalah setelah membangun waduk/bendung/bendungan maka sebagian besar kekurangan air akan dapat terpenuhi, ketersediaan debit air pada sumber-sumber mata air akan meningkat dan cadangan air tanah akan bertambah. Jika masih terjadi kekurangan air maka kemudian dapat mengeksploitasi pemakaian air tanah secara terencana

bendung adalah bangunan konservasi air atau kolam buatan (*manmade*) penampung air hujan/aliran permukaan (*run off water*) yang bertujuan untuk meninggikan muka air tanah.

Tujuan pembuatan bendung antara lain:

1. untuk menyediakan air guna pengairan tanaman di musim kemarau.
2. untuk meningkatkan produktifitas lahan, masa pola tanam dan pendapatan petani.
3. mengaktifkan tenaga kerja petani pada musim kemarau sehingga mengurangi urbanisasi dari desa ke kota.
4. mencegah/mengurangi luapan air di musim hujan dan menekan resiko banjir.
5. memperbesar peresapan air ke dalam tanah.

Dari sisi kebutuhan, air dibutuhkan untuk:

1. mencukupi kegiatan pertanian baik untuk tanaman padi maupun palawija.
2. mencukupi kegiatan domestik, perkotaan dan industri dan pertimbangan kehilangan air (*water loss*).

Dari kedua sudut pandang tersebut, dapat dilakukan suatu analisa bagaimana kebutuhan air dapat dipenuhi oleh ketersediaan air yang ada secara seimbang, dalam suatu analisa neraca air. Selanjutnya, dapat dilakukan analisa strategi yang perlu dikembangkan untuk mencapai keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan tersebut, dalam suatu program strategis yang dapat dipertanggung

Secara garis besar langkah yang diperlukan dalam melakukan analisis potensi air permukaan adalah sebagai berikut:

- a. Pengumpulan data hujan & iklim dan melengkapi data hujan yang kosong, dan membuat hujan wilayah (*areal rainfall*) pada simpul *inflow*, sebagai masukan utama model hujan-limpasan (*rainfall-runoff*)
- b. Menghitung evapotranspirasi untuk seluruh areal studi dengan metode Penmann yang sudah dimodifikasi.
- c. Melengkapi dan memperpanjang data debit aliran dengan model hujan limpasan
- d. Analisis frekuensi mengenai debit aliran rendah (*low flow analysis*), yaitu debit aliran pada musim kemarau di tahun kering rata-rata, tahun kering dengan periode ulang 5 tahunan dan 10 tahunan

### **2.2.1 Debit Andalan**

Debit andalan adalah debit yang diharapkan selalu tersedia sepanjang tahun dengan resiko kegagalan yang diperhitungkan sekecil mungkin. Untuk keperluan irigasi, debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi ditetapkan 80 %. Agar mendapatkan perhitungan debit andalan yang baik, untuk itu diperlukan data pencatatan debit dengan

jangka waktu panjang, hal ini untuk mengurangi terjadinya penyimpangan data yang terlalu besar.

**Tabel 2.1**Tingkat keandalan debit dapat terjadi berdasarkan probabilitas kejadian, mengikuti rumus Weibull

| Catatan Debit                       | Metode   | Parameter Perencanaan   |
|-------------------------------------|--|---|
| 1a Data cukup (20 tahun atau lebih) | Analisis frekuensi distribusi frekuensi normal   | Debit rata-rata tengah bulan dengan kemungkinan tak terpenuhi 20% |
| 1b Data terbatas                    | Analisis frekuensi rangkaian debit dihubungkan dengan rangkaian curah hujan yang mencakup waktu lebih lama   | Seperti pada 1a denganketelitian kurang dari itu                  |
| 2 Data Minimal atau tidak ada       | a. Model simulasi pertimbangan air dari Dr. Mock atau metode Enreca dan yang serupa lainnya Curah hujan didaerah aliran sungai, evapotranspirasi, vegetasi, tanah dan karakteristik geologis daerah aliran sebagai data masukan<br>b. Perbandingan dengan daerah aliran sungai di dekatnya | Seperti pada 1b dengan ketelitian kurang dari itu                 |
| 3 Data tidak ada                    | Metode kapasitas saluran Aliran rendah dihitung dari muka air rendah, potongan melintang sungai dan kemiringan yang sudah diketahui. Metode tidak tepat hanya sebagai cek  | Seperti pada 1b denganketelitian kurang dari itu                  |

Sumber : SriHarto, 1993.

Debit andalan diperoleh dengan mengurutkan debit rata-rata bulanan dari urutan besar ke urutan kecil. Nomor urut data yang merupakan debit andalan Dr. Mock (Rachmayani, 2014) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Pr = m / n + 1 \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Pr = Probabilitas (%)

m= nomor urut data

n = Jumlah tahun data

### 2.2.1.1 Debit Andalan dengan Model F.J. Mock

Dr. F.J Mock, memperkenalkan cara pehitungan simulasi aliran sungai dari data hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah aliran sungai. Model ini dihasilkan dari penelitian empiris dengan memasukan data hujan bulanan, evapotranspirasi potensial bulanan dan parameter-parameter fisik lainnya yang sifatnya juga bulanan, sehingga menghasilkan debit aliran simulasi bulanan. Dalam aplikasinya hasil perhitungan simulasi hujan- aliran sungai model Dr.FJ Mock, perlu dilakukan kalibrasi dengan data pengamatan debit jangka pendek minimal 1 tahun untuk mengetahui ketepatan nilai parameter sebagai input pada model.

Metode Mock merupakan metode empiris yang dapat digunakan untuk menghitung debit rata-rata bulanan sungai, curah hujan bulanan, evapotranspirasi, kelembaban tanah dan penyimpanan air didalam tanah. Langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut :

#### 2.2.1.1.1 Evapotranspirasi

##### a. Evapotranspirasi terbatas

adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$Ea = Et - \Delta E$$

$$\frac{E}{Et} = mI * 20) * (18 - n3) \dots (\%) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$E = \frac{E}{Et * Et} \dots \dots (mm) \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana:

E =beda antara transpirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas (mm)

ET = Evapotranspirasi Potensial/aktual (mm)

Ea = Evapotranspirasi terbatas (mm)

n<sub>3</sub> = Jumlah hari hujan

m = presentas lahan yang tidak tertutup vegetasi, ditaksir dari tata guna lahan diambil:

m<sub>1</sub> = 0 % untuk lahan dengan hutan lebat pertambahan 10 % setiap bulan kering untuk lahan dengan hutan sekunder.

m<sub>1</sub> = 10 % - 40 % untuk lahan yang terisolasi

m<sub>1</sub> =20%-50% untuk lahan pertanian yang diolah (sawah,ladang,perkebunan)

##### b. Evapotranspirasi Potensial

evapotranspirasi potensial adalah Evapotranspirasi potensial dari tanaman rumput yang sehat dan mendapat air cukup.Kebutuhan air tanaman lain secara langsung

dibanding dengan parameter iklim ini. Cara Penman memberikan hasil yang lebih memuaskan dibanding cara lainnya tetapi membutuhkan data yang lebih lengkap. Doorenbos dan Pruitt dalam Makalah FAO – ID No. 24 (1977) menjelaskan prosedur dari metode Penman Modifikasi yang banyak dipakai. Dasar dari metode Penman Modifikasi ini adalah dari perhitungan Penman untuk permukaan air terbuka seperti kolam, danau, waduk dan lain sebagainya. Modifikasi dari metode ini terletak pada perhitungan radiasi matahari netto yang diganti langsung dengan koefisien 0.25, dan juga adanya penambahan faktor kecepatan angin sebagai penyesuaian pada keadaan yang tidak standar.

Metode evapotranspirasi yang dianjurkan dalam perhitungan debit andalan F. J. Mock yaitu metode Penman Modifikasi. Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

a. Data klimatologi

Data klimatologi yang digunakan dalam perhitungan adalah suhu udara rata-rata (T), kelembaban udara (Rh), kecepatan angin (U), dan lama penyinaran matahari.

b. Koreksi suhu udara dan lama penyinaran matahari

Sebelum melakukan perhitungan evapotranspirasi potensial, dilakukan perhitungan koreksi suhu udara dan lama penyinaran matahari dengan metode Mock. Metode ini digunakan untuk melakukan koreksi data suhu udara dan lama penyinaran matahari pada lokasi DAS embung berdasarkan data pada stasiun klimatologi terdekat.

1) Suhu udara (Tuames G, 2015:63)

$$T' = (T \pm 0,006 H) \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

T' = koreksi suhu udara

T= data suhu udara sebelum dikoreksi

H = beda tinggi antara lokasi penelitian dengan lokasi stasiun meteorologi

2) Lama penyinaran matahari (Tuames G, 2015:63)

$$n/N' = (n/N - 0,01 H) \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

n/N' = koreksi lama penyinaran matahari

n/N = data lama penyinaran matahari sebelum dikoreksi

H = beda tinggi antara lokasi penelitian dengan lokasi stasiun meteorologi

Setelah data klimatologi telah dikoreksi terhadap ketinggian, maka besarnya evapotranspirasi potensial yang terjadi pada daerah tersebut dapat dihitung.

c. Evapotranspirasi potensial

Tahap perhitungan dalam evapotranspirasi potensial adalah sebagai berikut:

1) Tekanan uap air

$$e_d = e_a \times R_h \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

$e_d$  = tekanan uap air (mbar)

$e_a$  = tekanan uap air jenuh (mbar) (Lampiran-1)

$R_h$  = kelembaban relatif (%)

2) Fungsi angin

$$f(U) = 0,27 \left(1 + \left(\frac{U}{100}\right)\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

$f(U)$  = fungsi angin relatif (km/hari)

$U$  = kecepatan angin (km/hari) angin selama 24 jam dalam km/hari diketinggian 2 m

3) Radiasi matahari

$$R_s = [0,25 + (0,5n/N)]R_a \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

$R_s$  = radiasi matahari setelah terkoreksi (mm/hari)

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

$R_a$  = radiasi matahari (mm/hari) (Lampiran-1)

4) Penyinaran radiasi matahari

$$R_{ns} = (1 - a)R_s \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana :

$R_{ns}$  = penyinaran radiasi matahari yang dikoreksi bumi (mm/hari)

$a$  = 0,25 (Soemarto, 1986:68)

$R_s$  = radiasi matahari setelah terkoreksi (mm/hari)

5) Koreksi akibat tekanan air

$$f(e_d) = 0,34 - (0,044 \cdot e_d^{0,5}) \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana:

$f(e_d)$  = koreksi akibat tekanan air (mm/hari)

$e_d$  = tekanan uap air (mbar)

6) Fungsi kecerahan

$$f(n/N) = 0,1 + (0,9n/N) \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana :

$f(n/N)$  = fungsi kecerahan (mm/hari)

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

7) Radiasi gelombang panjang

$$Rn1 = f(T) \times f(e_d) \times f(n/N) \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana:

- Rn1 = radiasi gelombang panjang (mm/hari)
- f (T) = fungsi temperatur (mm/hari)
- f (e<sub>d</sub>) = koreksi akibat tekanan air (mm/hari)
- f (n/N) = fungsi kecerahan (mm/hari)

8) Penyinaran radiasi

$$Rn = Rns - Rn1 \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana:

- Rn = penyinaran radiasi bersih (mm/hari)
- Rns = penyinaran radiasi matahari yang dikoreksi bumi (mm/hari)
- Rn1 = radiasi gelombang panjang (mm/hari)

9) Evapotranspirasi potensial

$$Ep = c[(w \times Rn) + \{(1 - w) \times (e_a - e_d) \times f(U)\}] \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana:

- Ep = evapotranspirasi (mm/hari)
- c = faktor kondisi umum
- w = Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (tabel Penman hubungan antara temperatur dengan ketinggian)
- Rn = penyinaran radiasi bersih (mm/hari)
- 1-w = Faktor berat sebagai pengaruh angin dan kelembaban
- e<sub>a</sub> = tekanan uap air jenuh (mbar)
- e<sub>d</sub> = tekanan uap air nyata (mbar)
- (e<sub>a</sub>-e<sub>d</sub>) = Perbedaan tekanan uap air dengan tekanan uap air nyata (mbar)
- f(U) = fungsi angin relatif selama 24 jam dalam km/hari diketinggian 2 m

**2.2.1.1.2 Keseimbangan air dipermukaan tanah**

Menurut kriteria perencanaan KP-01(1986), mengatakan bahwa, perhitungan neraca air (Water Balance) dilakukan untuk mengecek apakah daerah irigasi pada daerah irigasi yang dikelola. Berdasarkan hal ini maka ada tiga unsur pokok dalam perhitungan Neraca air, yaitu tersedianya air, kebutuhan air, dan neraca air. Dari ketiga unsur pokok tersebut akan dicapai kesimpulan mengenai pola tanam yang akan dipakai pada suatu daerah irigasi.

secara teknis dalam pemanfaatan sumber daya air untuk keperluan irigasi , perhitungan neraca air (water balance)diartikan sebagai perimbangan jumlah air yang tersedia (debit andalan) dengan kebutuhan air disawah/areal pertanian pada suatu daerah irigasi

apabila debit air pada waduk atau bendung mencukupi bahkan melimpah, maka luas daerah irigasi adalah tetao karena luas tetap maksimum daerah layanan akan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Apabila debit tidak mencukupi bahkan kadang-kadang kekurangan, maka ada 3 pilihan yang bias dipertimbangkan :

- a. Luas daerah irigasi dikurangi  
Bagian-bagian tertentu dari daerah yang biasa diairi (luas maksimum layanan tak diairi)
- b. Melakukan modifikasi dalam pola tanam  
Dapat diadakan perubahandalam pemilihan tanaman atau tannggal tanam untuk mengurangi kebutuhan air lebih kompleks disawah (ltr/dtk/ha) agar ada kemungkinan untukmengairi areal yang lebih luas dengan debit yang tersedia.
- c. Rotasi teknis/golongan  
Untuk mengurangi kebutuhan puncak air irigasi, rotasi teknis tau golongan mengakibatkan eksploitasi yang lebih kompleks dan dianjurkan hanya untuk irigasi yang luasnya 10.000 ha atau lebih.

Keseimbangan air permukaan di pengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Air Hujan (DS)

Keseimbangan air dipermukaan tanah dihitung berdasarkan besarnya curah hujan bulanan dikurangi nilai evapotranspirasi terbatas rata–rata bulanan sehingga diperoleh persamaan:

$$Ds = P1 - Ea \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana:

Ds = air hujan yang mencapai permukaan air tanah (mm)

P1 = curah hujan (mm)

Ea = evapotranspirasi terbatas

Ds nilainya positif apabila  $P1 > Et$  sebagian air masuk kedalam tanah.Ds nilainya negatif apabila  $P1 < Et$  sebagian air tanah akan keluar sehingga terjadi deficit

Aliran permukaan (hujan lebat) : PF (Faktor aliran hujan lebat) x Curah hujan

2. Kandungan air tanah/*Soil storage*

*Soil storage* (kandungan air tanah) tergantung dari harga  $D_s$ . Bila harga  $D_s$  negatif maka kapasitas kelembaban tanah akan berkurang dan bila  $D_s$  positif akan menambah kekurangan kapasitas kelembaban tanah bulan sebelumnya.

$$SS_n = SM_n - SM_{(n-1)} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

$SS_n$  = Soil storage bulan ke-n

$SM_n$  = Soil moisture bulan ke-n

$SM_{(n-1)}$  = Soil moisture bulan ke-n (n-1)

3. *Soil moisture capacity* (SMC) adalah volume air yang diperlukan untuk mencapai kapasitas kelengasan tanah. Biasanya diambil 50 s/d 250 mm. Asumsi yang dipakai oleh Dr. F.J. Mock adalah air akan memenuhi SMC terlebih dahulu sebelum water surplus tersedia untuk infiltrasi dan perkolasi yang lebih dalam atau melimpas langsung (*direct run off*). Ada dua keadaan untuk menentukan SMC, yaitu:

a.  $SMC = 50 - 200$  mm/bulan, jika  $P - E_t > 0$ .

Artinya tampungan kelembaban tanah sudah mencapai kapasitas maksimumnya atau terlampaui sehingga air tidak disimpan dalam tanah lembab. Ini berarti kandungan air tanah (*soil storage*) sama dengan nol dan besarnya *water surplus* sama dengan  $P - E_t$ .

b.  $SMC = SMC$  bulan sebelumnya +  $(P - E_t)$ , jika  $P - E_a < 0$

Untuk keadaan ini, tampungan kelembaban tanah belum mencapai kapasitas maksimum, sehingga ada air yang disimpan dalam tanah lembab. Besarnya air yang disimpan ini adalah  $P - E_t$ . Karena air berusaha untuk mengisi kapasitas maksimumnya, maka untuk keadaan ini tidak ada *water surplus* ( $WS = 0$ ).

e. Kelebihan air/*Water surplus* adalah volume air yang akan masuk kepermukaan tanah, yaitu  $water\ surplus = (P_1 - E_a) - soil\ storage$ , dan 0 jika  $(P_1 - E_a) < soil\ storage$ . Simpanan awal (*initial storage*) didefinisikan sebagai besarnya volume pada saat permulaan mulainya perhitungan. Ditaksir sesuai dengan keadaan musim, untuk musim hujan nilainya bisa sama dengan *Soil moisture capacity*, tetapi untuk musim kemarau pada umumnya dipakai data kadar air tanah.

### 2.2.1.1.3 Aliran dan penyimpanan air tanah/run off and ground water stroge.

Nilai run off dan ground water besarnya tergantung dari keseimbangan air dan kondisi tanahnya. Besar nilai simpanan air tanah dalam metode Mock dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu :

a. Infiltrasi (I)

Infiltrasi semakin besar maka volume simpanan air semakin besar pula. Begitupun sebaliknya semakin kecil infiltrasi maka volume simpanan air semakin kecil.

b. Konstanta resesi aliran (k)

Merupakan proporsi dari air tanah waktu sebelumnya yang masih ada pada saat ini. Besar konstanta k ini sangat berpengaruh dalam perhitungan aliran dan simpanan air tanah. Nilai k cenderung lebih besar pada bulan hujan dan lebih kecil pada bulan kering. Harga k antara 0 – 1.

c. Volume simpanan air tanah bulan sebelumnya ( $V_{n-1}$ )

Nilai ini diasumsikan sebagai konstanta awal dimana perkiraan besarnya volume air pada awal perhitungan.  $V_{n-1}$  di lokasi studi diasumsikan sebesar 100 mm (KP-01, 1986)

Dari ketiga faktor diatas simpanan air tanah dirumuskan sebagai berikut:

1) Infiltrasi

Merupakan volume air yang masuk kedalam simpanan air tanah yang dirumuskan sebagai berikut:

$$I = WS \times \ln(2.17)$$

dimana:

$I$  = volume simpanan air tanah bulan ke n (mm/bulan)

$WS$  = kelebihan air (mm/bulan)

$\ln$  = koefisien infiltrasi (diasumsikan 0 – 1)

2) Volume simpanan air tanah

$$V_n = k.V_{(n-1)} + 0,5.(1+k).I \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana:

$V_n$  = volume simpanan air tanah bulan ke n (mm/bulan)

$k$  =  $q_t/q_0$  = faktor resesi aliran tanah (diasumsikan 0 – 1)

$q_t$  = aliran air tanah pada waktu bulan ke t

$q_0$  = aliran air tanah pada awal bulan (bulan ke 0)

$V_{n-1}$  = volume simpanan air tanah bulan ke (n-1) (mm/bulan)

3) Perubahan volume simpanan air tanah

Perubahan volume simpanan air tanah dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta V_n = V_n - V_{(n-1)} \dots\dots\dots(2.18)$$

dimana:

$\Delta V_n$  = perubahan volume simpanan air tanah (mm/bulan)

$V_n$  = volume simpanan air tanah bulan ke n (mm/bulan)

$V_{n-1}$  = volume simpanan air tanah bulan ke (n-1) (mm/bulan).

#### 2.2.1.1.4 Aliran Sungai / Run off

Untuk mendapatkan besarnya aliran sungai dapat diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Aliran dasar sungai (*base flow*)

$$BF = I - \Delta V_n \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana:

BF = aliran dasar sungai (mm/bulan)

I = infiltrasi

$\Delta V_n$  = perubahan volume simpanan air tanah (mm/bulan)

b. Aliran langsung (*dirrect run off*)

$$DRO = WS - I \dots\dots\dots(2.20)$$

dimana:

DRO = aliran langsung (mm/bulan)

WS = kelebihan air (mm/bulan)

I = infiltrasi

c. Total aliran (*total run off*)

$$TRO = DRO - BF \dots\dots\dots(2.21)$$

dimana:

TRO = total aliran sungai (mm/bulan)

DRO = aliran langsung (mm/bulan)

BF = aliran dasar sungai (mm/bulan)

d. Debit aliran sungai

Debit aliran sungai (Q) dapat dihitung sebagai berikut (*KP-01, 1986*):

$$Q = \frac{A \times TRO}{86400 \times h} \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana:

Q = debit aliran sungai (m<sup>3</sup>/dtk)

A = luas DAS (km<sup>2</sup>)

TRO = total aliran sungai

86400 = jumlah detik dalam 1 hari  
h = jumlah hari dalam 1 bulan

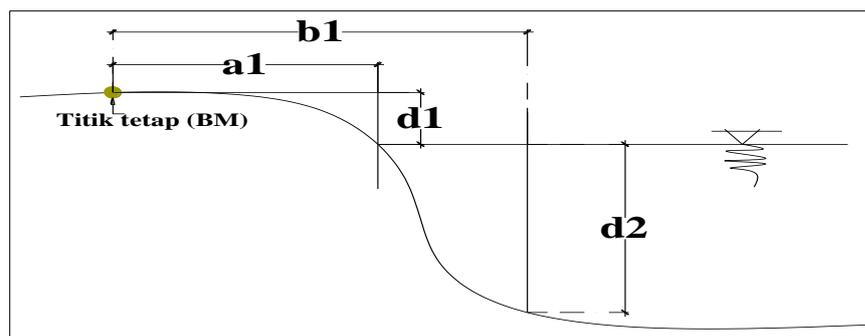
## 2.2.2 Pengukuran Debit Aliran Sungai

### 1. Curent meter

Perhitungan debit dapat dilakukan dengan membagi penampang dalam segmen-segmen yang diikuti dengan pengukuran kedalaman air dan kecepatan aliran.

Menurut Rahayu (2009), pengukuran kecepatan aliran dengan metode ini dapat menghasilkan perkiraan kecepatan aliran yang memadai. Prinsip pengukuran metode ini adalah mengukur kecepatan aliran tiap kedalaman pengukuran ( $d$ ) pada titik interval tertentu dengan “*current meter*” atau “*flow probe*”. Langkah pengukurannya adalah sebagai berikut :

1. Tali direntangkan pada penampang sungai lokasi pengukuran, sebagai tanda untuk area *cross section* yang akan dilakukan pengukuran aliran, atau bisa juga dipakai sebagai jarak ukur antar raai
2. Pengecekan alat ukur *current meter*
3. Pilih *propeller* yang sesuai dengan kedalaman sungai yang ada, sehingga dapat dipakai untuk seluruh raai
4. Rencanakan pengukuran lebar per seksi (raai) pada titik awal lokasi patok (BM), dilihat pada Gambar 2.3



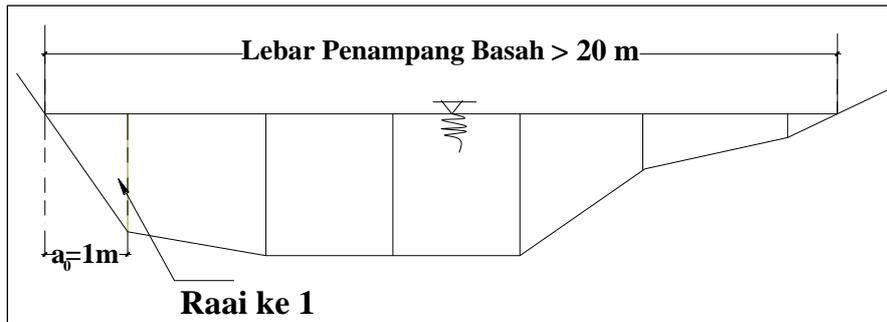
Gambar 2.3 Lokasi Patok (BM)

5. Rencanakan jarak antar raai

Jarak antar raai  $\pm 1/20$  lebar sungai dengan asumsi debit pada tiap-tiap bagian adalah  $\pm 5\%$  dari debit total pada penampang tersebut, dimana jarak minimum antar raai adalah 0,50 m.

Apabila lebar penampang sungai  $\geq 20$  m, maka jarak minimum antar raai adalah 1 m dilihat pada gambar 2.2

Kedalaman air pada raai pertama  $\geq 0,20$  m, terus lakukan pengukuran pada masing-masing raai.



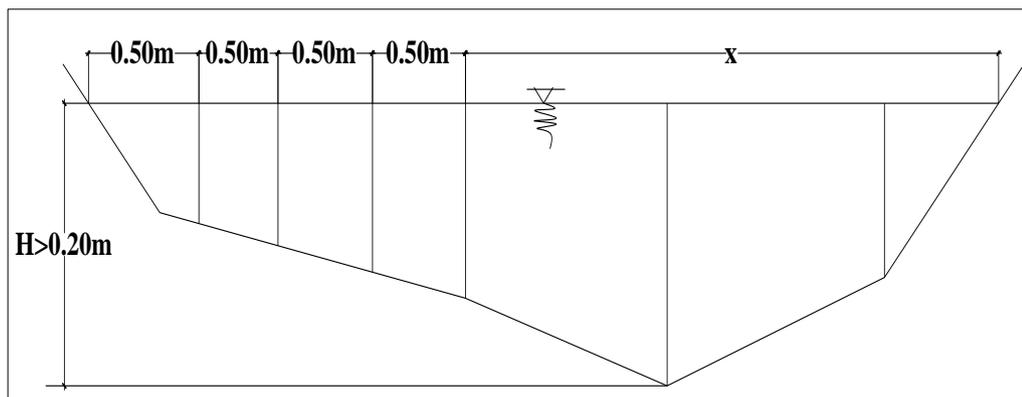
**Gambar 2.4 Lebar Sungai  $\geq 20$  m**

Sumber : Autocad 2007, 2017

Jika lebar sungai kurang dari 20 m (gambar 2.3), maka raai yang pertama berada pada jarak 0,50 m dari tepi penampang basah, kemudian dilakukan dengan raai berikutnya (jarak raai minimum 0,50 m dan jumlah raai maksimum adalah 20 buah).

Kalau kedalaman raai pertama  $\geq 0,20$  m, maka dapat dilakukan untuk raai berikutnya.

Sedangkan untuk kedalaman raai pertama  $< 0,20$  m, apabila menggunakan alat current meter universal maka ukur dan catat kedalaman air dan amati apakah terdapat aliran atau hanya genangan pada raai pertama, kemudian pindah dari raai pertama sejarak 0,50 m dan selanjutnya hingga tercapai kedalaman  $\geq 0,20$  m.



**Gambar 2.5 Kedalaman air,  $H \geq 0,20$  m**

Sumber : Autocad 2007, 2017

6. Pengukuran kecepatan aliran dapat dilakukan pada beberapa kedalaman yaitu sebagai berikut:

a. Untuk kedalaman sungai  $< 0,5$  m atau  $H_{air} < 6 \times \varnothing$  propeller

Lakukan pengukuran pada kedalaman satu titik saja yaitu pada kedalaman  $0,6H$  (dimana  $H$  adalah kedalaman air, dan  $0,6H$  diukur dari permukaan air)

$$V = V_{0,6} \text{ m/dtk} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

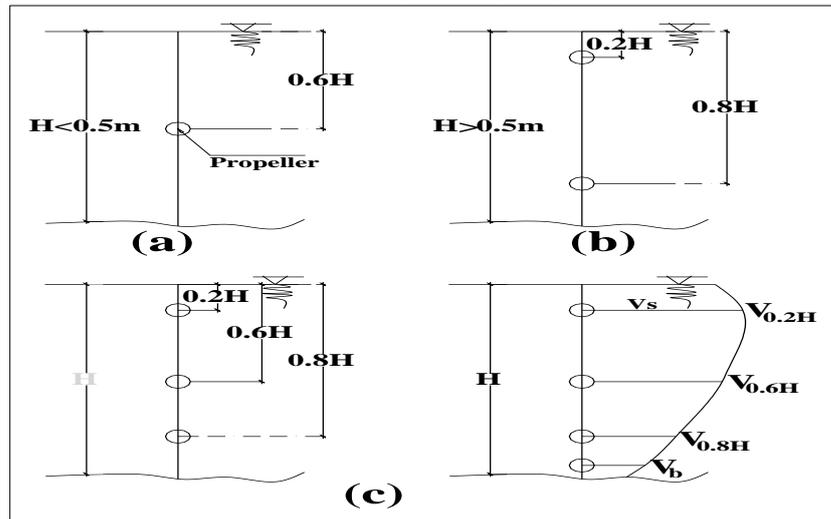
$V$  = kecepatan aliran pada vertical kedalaman  
 $V_{0,6}$  =Kecepatan aliran pada kedalaman 0,6H (m/s)

b. Untuk kedalaman air  $\geq 0,50$  m

Pengukuran pada dua titik yaitu pada kedalaman 0,2H dan 0,8H

$$V = \frac{V_{0,8} + V_{0,2}}{2} \dots\dots\dots(2.24)$$

Apabila distribusi kecepatan kearah vertikal tidak normal, maka kecepatan aliran ditentukan dengan :  $V = \left\{ V_{0,6+} \right\} \cdot \frac{V_{0,i}}{V_b}$  m/dtk

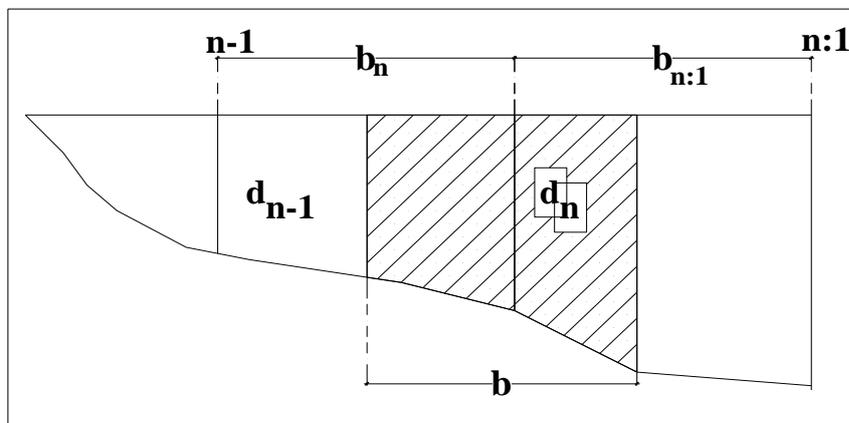


Gambar 2.6 Posisi Penempatan Propeller

Sumber : Autocad 2007, 2017

7. Perhitungan Debit

Perhitungan debit dilakukan dengan menggunakan metode *Mid-Area Method* (Gambar 2.5)



Gambar 2.7 Mid-Area Method

Sumber : Autocad 2007, 2017

Rumus perhitungan debit dengan menggunakan metode *Mid-Area Method*

$$Q = \sum (A \times V)$$

$$A = b \times d_n, \text{ dimana } b = \frac{b_n}{2} + \frac{b_{n+1}}{2} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana :

$b_n$  = Jarak raai (m)

$d_n$  = Kedalaman raai

## 2. Metoda Apung

Metoda ini menggunakan alat bantu suatu benda ringan (terapung) untuk mengetahui kecepatan air yang diukur dalam satu aliran terbuka. Biasanya dilakukan pada sumber air yang membentuk aliran yang seragam (uniform).

Pengukuran dilakukan oleh 3 (tiga) orang yang masing- masing bertugas sebagai pelepas pengapung di titik awal, pengamat di titik akhir lintasan dan pencatat waktu perjalanan alat pengapung dari awal sampai titik akhir.

Pengukuran dilakukan dengan cara menghanyutkan benda terapung dari suatu titik tertentu (start) kemudian dibiarkan mengalir mengikuti kecepatan aliran sampai batas titik tertentu (finish), sehingga diketahui waktu tempuh yang diperlukan benda terapung tersebut pada bentang jarak yang ditentukan tersebut.

Alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran debit air dengan Metoda Apung:

Bola pingpong atau bisa diganti dengan benda lain yang ringan (gabus, kayu kering, dll)

- a. Stop watch atau alat ukur waktu yang lain (arloji/hand phone) yang dilengkapi dengan *stop watch*
- b. Alat ukur panjang (meteran atau tali plastic yang kemudian diukur panjangnya dengan meteran).

Langkah-langkah pelaksanaan pengukuran dengan metoda ini adalah:

- a. Pilih bagian aliran yang tenang dan seragam, hindari aliran yang memiliki pusaran air.
- b. Tentukan dulu panjang saluran/lintasan (P) sungainya dan batasi titik awal (*start*) dan akhirnya (*finish*). (catat dalam form pengukuran).
- c. Bersihkan bagian aliran tersebut dan bentuklah menjadi aliran yang lurus dengan penampang aliran yang memiliki kedalaman yang relatif sama
- d. Bagilah panjang saluran/lintasan menjadi beberapa bagian (misal 5 bagian/titik), ukur lebar sungai (L) pada titik-titik tersebut; dan ukur juga kedalamannya (H) pada bagian tepi kanan, tepi kiri dan tengah aliran. Kemudian hitung masing-masing rata-ratanya. (catat dalam formulir pengukuran)
- e. Hitung luas penampang (A) rata-rata seperti dalam formulir pengukuran.

- f. Gunakan benda apung (bola pingpong, kayu kering, gabus, dll) yang dapat mengalir mengikuti aliran air dan tidak terpengaruh angin.
- g. Lepaskan benda terapung pada titik awal lintasan (start) bersamaan dengan menekan stop watch (tanda start) dan tekan kembali stop watch (tanda stop) pada titik akhir lintasan (*finish*) dan hitung waktunya (T).
- h. Ulangi pengukuran waktu tempuh 5 kali ulangan.
- i. Catat waktu tempuh benda apung dan hitung waktu rata-ratanya.
- j. Hitung kecepatannya (V) menggunakan variabel luas penampang rata-rata (A) dan waktu rata-rata (T) sesuai rumus.
- k. Hitung Debit air (Q) yang mengalirnya sesuai rumus

## 2.3 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi sebagian besar dicakupi dari air permukaan. Kebutuhan air irigasi dipengaruhi berbagai faktor seperti klimatologi, kondisi tanah, koefisien tanaman, pola tanam, pasokan air yang diberikan, luas daerah irigasi, efisiensi irigasi, penggunaan kembali air drainase untuk irigasi, sistem golongan, jadwal tanam dan lain-lain.

Kebutuhan air irigasi dihitung dengan persamaan (Yulianri, 2014):

Menurut Departemen Pekerjaan Umum, Standar Perencanaan Irigasi KP – 03 (1986). Kebutuhan air sawah atau NFR (Net Field Water Requirement) untuk tanaman padi ditentukan oleh faktor-faktor berikut:

- a. Cara penyiapan lahan
- b. Kebutuhan air untuk tanaman
- c. Perkolasi dan rembesan
- d. Pergantian lapisan air
- e. Curah hujan efektif

### 2.3.1 Penyiapan Lahan

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan air irigasi maksimum pada suatu proyek irigasi. Pada tanaman padi diperlukan penyiapan lahan untuk perlakuan awal terhadap tanah berupa perendaman sehingga mendapatkan kelembaban yang cukup untuk ditanami. Faktor-faktor penting yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan (Rachmayani, 2014) adalah sebagai berikut :

#### 1. Lamanya waktu penyiapan lahan

Lamanya waktu penyiapan lahan untuk petak sawah tersier yang dikerjakan tanpa bantuan traktor diambil selama 1 bulan, apabila digunakan dengan traktor secara luas maka lamanya waktu tersebut diambil selama 1 bulan.

#### 2. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan

Kebutuhan air selama penyiapan lahan dipengaruhi oleh porositas tanah di sawah. Untuk tanah bertekstur berat tanpa retak-retak kebutuhan air untuk penyiapan lahan diambil 200 mm. Ini termasuk air untuk penjemuran dan pengolahan tanah. Pada permulaan transplantasi (pemindahan bibit ke petak sawah) tidak akan ada lapisan air yang tersisa di sawah. Setelah transplantasi selesai lapisan air di sawah akan ditambah 50 mm. Secara keseluruhan lapisan air yang diperlukan 250 mm untuk penyiapan lahan dan untuk lapisan air awal setelah transplantasi selesai. Pada lahan yang dibiarkan atau tidak digarap dalam jangka waktu 2,5 bulan atau lebih, maka lapisan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan diambil 300 mm, 250 mm untuk penyiapan lahan dan 50 mm untuk penggenangan setelah transplantasi.

Pada umumnya waktu penyiapan lahan berkisar antara 30 dan 45 hari. Besarnya kebutuhan air selama penyiapan lahan dihitung dengan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (Rachmayani, 2014). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam  $l/dt$  selama periode penyiapan lahan. Rumus tersebut adalah sebagai berikut :

$$IR = M.e^k / (e^k - 1) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$M = E_o + P \dots\dots\dots(2.27)$$

$$k = M.T / S \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

- $IR$  = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)
- $M$  = Kebutuhan air untuk mengganti/mengkonpensasi air yang hilang akibat evaporasi dan perkolasi disawah yang telah dijenuhkan (mm/hari)
- $E_o$  = Evaporasi air terbuka ( $1,1 \times E_{to}$ ) selama penyiapan lahan (mm/hari)
- $P$  = Perkolasi (mm/hari)
- $K$  = Parameter fungsi dari air yang diperlukan untuk penjemuran waktu penyiapan lahan dan kebutuhan air untuk lapisan pengganti
- $T$  = Jangka waktu penyiapan lahan (hari)
- $S$  = Kebutuhan air untuk penjemuran ditambah dengan lapisan air (mm)

**Tabel.2.2 Kebutuhan air selama penyiapan lahan**

| Eo + P<br>Mm hari | T= 30 hari |            | T = 45 hari |            |
|-------------------|------------|------------|-------------|------------|
|                   | S=250 mm   | S = 300 mm | S= 250 mm   | S = 300 mm |
| 5,0               | 11         | 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       | 10,4        | 11,4       |
| 8,5               | 13,3       | 14,8       | 10,8        | 11,8       |
| 9,0               | 13,6       | 15,2       | 11,2        | 112,5      |
| 9,5               | 14,0       | 15,5       | 12,6        | 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 : Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

### 2.3.2 Penggunaan Konsumtif

Kebutuhan air konsumtif dipengaruhi oleh evatranspirasi potensial, yaitu gabungan dari evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan. Evaporasi adalah berubahnya air menjadi uap yang bergerak dari permukaan tanah atau air menuju ke udara, sedangkan transpirasi adalah penguapan yang terjadi melalui tanaman. Besarnya penggunaan konsumtif air untuk tanaman padi dihitung berdasarkan metode prakira empiris, dengan menggunakan data iklim dan koefisien tanaman pada tahap pertumbuhan (Rachmayani, 2014) dengan rumus berikut :

$$Etc = K_c \times ETo \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

*Etc* = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

*K<sub>c</sub>* = Koefisien tanaman padi

*ETo* = *Evapotranspirasi potensial (mm/hari)*

Nilai koefisien pertumbuhan tanaman tergantung jenis tanaman yang ditanam. Untuk tanaman yang jenisnya sama juga berbeda menurut varietasnya pada tabel 1 disajikan harga-harga koefisien tanaman padi dengan varietas unggul dan varietas biasa menurut Nedeco/Prosida dan FAO.

**Tabel 2.3 Tabel.harga koefisien tanaman padi**

| Periode<br>15 hari ke | Nedeco/Prosida |         | FAO     |         |
|-----------------------|----------------|---------|---------|---------|
|                       | Varitas        | Varitas | Varitas | Varitas |
|                       | Biasa          | Unggul  | Biasa   | Unggul  |
| 1                     | 1,20           | 1,20    | 1,10    | 1,10    |
| 2                     | 1,20           | 1,27    | 1,10    | 1,10    |
| 3                     | 1,32           | 1,33    | 1,10    | 1,05    |
| 4                     | 1,40           | 1,30    | 1,10    | 1,05    |
| 5                     | 1,35           | 1,30    | 1,10    | 0,95    |
| 6                     | 1,25           | 0       | 1,05    | 0       |
| 7                     | 1,12           | -       | 0,95    | 0       |
| 8                     | 0              | -       | 0       | -       |

Sumber : ,Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01 1986

**Tabel 2.4 Harga Koefisien Tanaman Palawija**

| Setengah bulan<br>ke | <i>Koefisien tanam</i> |        |           |        |        |       |
|----------------------|------------------------|--------|-----------|--------|--------|-------|
|                      | kedelai                | jagung | Kac.tanah | Bawang | buncis | kapas |
| 1                    | 0,50                   | 0,50   | 0,50      | 0,50   | 0,50   | 0,50  |
| 2                    | 0,75                   | 0,59   | 0,51      | 0,51   | 0,64   | 0,50  |
| 3                    | 1,00                   | 0,96   | 0,66      | 0,59   | 0,89   | 0,58  |
| 4                    | 1,00                   | 1,05   | 0,85      | 0,90   | 0,99   | 0,75  |
| 5                    | 0,82                   | 1,02   | 0,95      | 0,95   | 0,88   | 0,91  |
| 6                    | 0,45                   | 0,95   | 0,95      | -      | -      | 1,04  |
| 7                    | -                      | -      | 0,55      | -      | -      | 1,05  |
| 8                    | -                      | -      | 0,55      | -      | -      | 1,05  |
| 9                    | -                      | -      | -         | -      | -      | 1,05  |
| 10                   | -                      | -      | -         | -      | -      | 0,78  |
| 11                   | -                      | -      | -         | -      | -      | 0,65  |
| 12                   | -                      | -      | -         | -      | -      | 0,65  |
| 13                   | -                      | -      | -         | -      | -      | 0,65  |

Sumber : Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

### 2.3.3 Perkolasi

Perkolasi adalah pergerakan air ke bawah yang disebabkan oleh gaya vertikal dan gaya hidrostatis pada proses penjuanan tanah *sub surface*. Perkolasi akan menyebabkan kehilangan air akibat rembesan. Laju perkolasi sangat tergantung pada sifat-sifat tanah. Besarnya perkolasi yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis tanah, topografi, muka air tanah dan tebalnya lapisan pada permukaan. Laju

perkolasi dan rembesan untuk tanaman palawija sama dengan tanaman padi, pada daerah yang mempunyai tanah lempung diperkirakan berkisar antara 1 – 3 mm/hari. Tanah yang mengandung pasir, laju perkolasi dan rembesan dapat mencapai angka yang tinggi (Rachmayani, 2014).

**2.3.4 Pergantian Lapisan Air**

Pergantian lapisan air atau WLR (*Water Losses Requirement*) setinggi 50 mm dilakukan dua kali, yaitu satu bulan setengah pemindahan bibit ke petak sawah (transplantasi) dan dua bulan setelah transplantasi. Pergantian lapisan air dilakukan setelah proses pemupukan dilakukan. Oleh karena itu, jadwal pergantian lapisan air sangat dipengaruhi oleh umur tanaman padi. Pergantian lapisan air dapat diberikan selama setengah bulan yaitu 50 mm dibagi setengah bulan (15 hari) sebesar 3,3 mm/hari dan selama satu bulan yaitu 50 mm dibagi satu bulan yaitu (30 hari) sebesar 1,7 mm/hari (Rachmayani, 2014) dan (standar perencanaan irigasi,1986 KP-01)

**2.3.5 Curah Hujan Efektif**

Penyediaan air yang dapat dijadikan sebagai sumber untuk keperluan pertanian pada daerah irigasi diperoleh dari curah hujan, baik secara langsung jatuh diareal pertanian/persawahan maupun jatuh pada daerah tangkapan (*catchment area*) yang kemudian menjadi aliran debit andalan untuk keperluan kebutuhan melalui bangunan pengambilan. Dari data hujan yang terkumpul dapat diramalkan besarnya curah hujan andalan dengan presentase kemungkinan akan terjadi pada periode ulang tertentu.

Curah hujan andalan atau curah hujan efektif ( $R_e$ ) untuk memenuhi kebutuhan secara langsung pada areal pertanian ditetapkan berdasarkan curah hujan dengan kemungkinan terjadi untuk tanaman padi 80% ( $R_{80}$ ) yaitu  $R_{e80} = 70\% R_{80}$  sedangkan untuk tanaman palawija 50% ( $R_{50}$ ) yaitu  $R_{e50} = 70\% R_{50}$ . Untuk perencanaan kebutuhan air irigasi, curah hujan yang dipakai adalah curah hujan efektif, yaitu bagian curah hujan yang secara efektif tersedia untuk memenuhi air tanaman. Perhitungan curah hujan efektif didasarkan pada curah hujan tengah bulanan dengan kemungkinan terjadi 80% untuk tanaman padi dan 50% untuk tanaman palawija (KP-01,hal 165)

$$R_e = \frac{0,7 \times R_{80}}{15} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$R_e = \frac{0,7 \times R_{50}}{15} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana:

- $R_e$  = Curah hujan efektif (mm/hari)
- $R_{80}$  = Curah hujan andalan 80% (untuk tanaman padi)
- $R_{50}$  = Curah hujan andalan 50% (untuk tanaman palawija)

### 2.3.6 Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Menurut Departemen Pekerjaan Umum, Standar Perencanaan Irigasi KP – 03 (1986) kebutuhan bersih air sawah atau NFR untuk tanaman padi dipengaruhi oleh faktor penyiapan lahan, penggunaan konsumtif, perkolasi atau rembesan, pergantian lapisan air dan curah hujan efektif. Dalam hal ini NFR untuk tanaman padi dibedakan atas dua kondisi, yaitu :

1. Kebutuhan air pada saat sesudah penanaman padi, dapat dihitung dengan rumus:

$$NFR = Etc + P - Re + WLR \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana :

- NFR = Kebutuhan air bersih untuk tanaman padi (mm/hari)
- IR (LP) = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)
- Re = Curah hujan efektif (mm/ hari)
- Etc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)
- P = Perkolasi (mm/hari)
- WLR = Penggantian lapisan air (mm/hari)

2. Kebutuhan air irigasi untuk padi adalah :

$$IR = \frac{NFR}{E} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana :

- IR = Kebutuhan air irigasi (mm/hr)
- e = Efisiensi irigasi secara keseluruhan

3. Kebutuhan air irigasi untuk palawija

$$IR = (ET_C - Re) / e \dots \dots \dots (2.34)$$

4. Kebutuhan pengambilan air pada sumbernya

$$DR \frac{IR}{8,64} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana :

- DR = Kebutuhan pengambilan air pada sumbernya (lt/dt/ha)
- 1/8,64 = Angka konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/ha

### 2.4 Pola Tanam dan Tata Tanam

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

**Tabel 2.5 Pola tanam dan ketersediaan air**

| Ketersediaan air untuk jaringan irigasi | Pola Tanam dalam satu tahun                      |
|---|--|
| Tersedia air cukup banyak               | Padi – Padi – Palawija                           |
| Tersedia air dalam jumlah cukup         | Padi – Padi – Bera<br>Padi – Palawija – Palawija |
| Daerah yang cenderung kekurangan air    | Padi – Palawija – Bera<br>Palawija – Padi – Bera |

Sumber :Seri Modul Kebutuhan Air Irigasi (PT1), 2000

Pola tanam merupakan salah satu faktor yang cukup menentukan dalam perhitungan besarnya areal irigasi yang dapat diairi karena ketersediaan air disungai pada musim hujan atau bulan-bulan tertentu cukup tersedia serta kondisi sawah yang ada dalam keadaan jenuh air akan tetapi pada saat musim kemarau besarnya pemakaian air dapat bertambah lagi. Pemakaian sistem rotasi teknis sangat dibutuhkan untuk dapat memperoleh luasan areal irigasi yang lebih luas lagi.

Pola tanam ini diterapkan dengan rencana tata tanam atau jadwal tanam. Hal ini sangat penting karena saat ini persaingan antara pemakai air baik di tingkat (DI) maupun di tingkat sungai atau waduk sangat ketat dan sudah sangat mengkhawatirkan. perencanaan kebutuhan air di tingkat daerah inggris (DI) dapat di lakukan melalui penyusunan suatu rencana tata tanam tahunan. Secara lengkap, rencana tata tanam tahunan berisi tentang;

- a. Luas lahan yang akan di tanami
- b. Tanggal dimulainya masa pengolahan tanah dalam setiap golongan
- c. Pembagian golongan tanaman
- d. Jumlah golongan dalam satu daerah irigasi
- e. Tanggal dimulainya masa pengelolahan tanah dalam setiap golongan
- f. Luas tanaman padi gadu yang di sepakati dalam satu golongan
- g. Luas tanaman (palawija,sayuran dan tebu) yang akan di tanam setiap golongan.

### **2.5.1 Sistem Golongan**

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

adilnya. Kebutuhan air yang tertinggi untuk suatu petak tersier adalah  $Q_{max}$ , yang didapat sewaktu merencanakan seluruh sistem irigasi. Besarnya  $Q$  yang tersedia tidak tetap, bergantung pada sumber dan luas tanaman yang harus diairi.

Pada saat-saat dimana air tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman dengan pengaliran menerus, maka pemberian air tanaman dilakukan secara bergilir. Dalam musim kemarau dimana keadaan air mengalami krisis, maka pemberian air tanaman akan diberikan/diprioritaskan kepada tanaman yang telah direncanakan.

Dalam pemberian air secara bergilir ini, permulaan tanam tidak serentak, tetapi bergiliran menurut jadwal yang ditentukan, dengan maksud penggunaan air lebih efisien. Sawah dibagi menjadi beberapa golongan dan saat permulaan pekerjaan sawah bergiliran menurut golongan masing-masing.

Keuntungan-keuntungan yang dapat diperoleh dari sistem giliran adalah:

- a. berkurangnya kebutuhan pengambilan puncak
- b. kebutuhan pengambilan bertambah secara berangsur-angsur pada awal waktu pemberian air irigasi (pada periode penyiapan lahan)

Sedangkan hal-hal yang tidak menguntungkan adalah:

- a. timbulnya komplikasi sosial
- b. eksploitasi lebih rumit
- c. kehilangan air akibat eksploitasi sedikit lebih tinggi
- d. jangka waktu irigasi untuk tanaman pertama lebih lama, akibatnya sedikit waktu tersedia untuk tanaman kedua
- e. daur/siklus gangguan serangga, pemakaian insektisida