

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Bendungan

Bendungan adalah semua jenis konstruksi penahan buatan, baik berupa urugan atau jenis lainnya yang menampung air baik secara alamiah maupun buatan, termasuk pondasi, tebing tumpuan, serta bangunan pelengkap dan peralatannya. Sebagian besar bendungan di Indonesia dimanfaatkan untuk mendukung irigasi, penyediaan air baku, pengendalian banjir, serta pembangkit tenaga listrik.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan, definisi bendungan adalah bangunan melintang yang berupa beton, urugan tanah, urugan batu maupun pasangan batu yang dibangun untuk menahan dan menampung air, dapat juga dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan.

Secara umum fungsi utama bendungan adalah menyediakan simpanan air atau tampungan, sehingga ciri fisik yang paling penting adalah kapasitas simpanan atau tampungan (Linsley, 1995). Bendungan dapat dimanfaatkan antara lain sebagai berikut:

1. Irigasi.

Pada saat musim penghujan, hujan yang turun di daerah tangkapan air sebagian besar akan mengalir ke sungai. Kelebihan air yang terjadi dapat di tampung bendungan sebagai persediaan sehingga pada saat musim kemarau tiba air tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain irigasi lahan pertanian.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Dalam menjalankan fungsinya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), bendungan dikelola untuk mendapatkan kapasitas listrik yang dibutuhkan. PLTA adalah suatu sistem pembangkit listrik yang biasanya terintegrasi dalam bendungan dengan memanfaatkan energi mekanis aliran air

untuk memutar turbin yang kemudian akan diubah menjadi tenaga listrik oleh generator.

3. Pengendali Banjir.

Dalam menjalankan fungsinya sebagai pengendali banjir, bendungan berfungsi sebagai pengendali daya rusak air akibat banjir. Pada saat musim penghujan, hujan yang turun dengan intensitas tinggi di daerah tangkapan air sebagian besar akan mengalir ke sungai. Volume air yang besar dari sungai di hulu ditampung bendungan sehingga di hilir bisa diminimalisasikan terjadinya banjir.

4. Penyedia Air Baku.

Air baku adalah air bersih yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air minum dan air rumah tangga. Bendungan selain sebagai sumber pengairan persawahan juga dimanfaatkan sebagai sumber penyediaan air baku untuk bahan baku air minum dan air rumah tangga. Air yang dipakai harus memenuhi persyaratan sesuai kegunaannya.

5. Pariwisata.

Dengan pemandangan yang indah, bendungan juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat rekreasi.

6. Perikanan Darat.

Untuk mengganti mata pencaharian para penduduk desa yang desanya ditenggelamkan untuk pembuatan bendungan yang dulu bermata pencaharian sebagai petani, sekarang beralih ke perikanan. Dengan memanfaatkan bendungan ini para penduduk dapat membuat rumah apung yang digunakan untuk perikanan air tawar.

1.2 Klasifikasi Penggunaan Bendungan

Berdasarkan fungsinya, bendungan diklasifikasikan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

1. Bendungan Eka Guna (*Single Purpose*).

Bendungan eka guna adalah bendungan yang dioperasikan untuk memenuhi satu kebutuhan saja, misalnya untuk kebutuhan air irigasi, air baku atau PLTA. Pengoperasian bendungan eka guna lebih mudah dibandingkan dengan bendungan multi guna dikarenakan tidak adanya konflik kepentingan

di dalam. Pada bendungan eka guna pengoperasian yang dilakukan hanya mempertimbangkan pemenuhan satu kebutuhan.

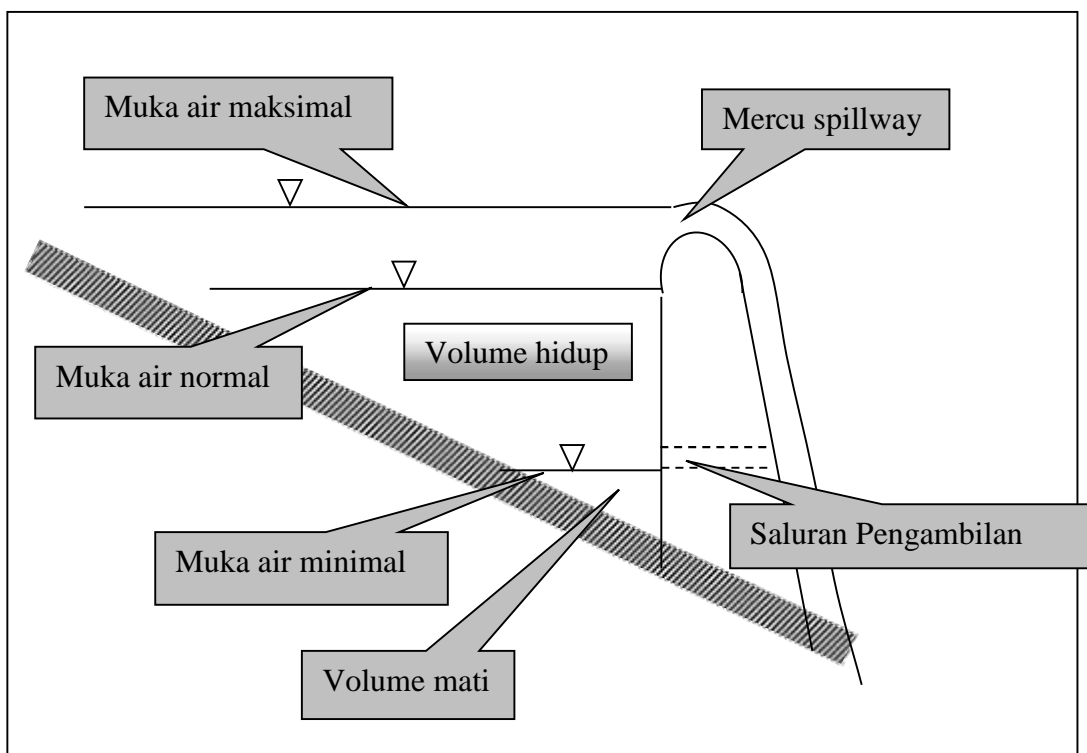
2. Bendungan Serba Guna/Multi Guna (*Multi Purpose*).

Bendungan serba guna/multi guna adalah bendungan yang berfungsi untuk memenuhi berbagai kebutuhan, misalnya bendungan untuk memenuhi kebutuhan air, irigasi, air baku dan PLTA. Kombinasi dari berbagai kebutuhan ini dimaksudkan untuk dapat mengoptimalkan fungsi bendungan dan meningkatkan kelayakan pembangunan suatu bendungan.

1.3 Karakteristik Bendungan

Karakteristik suatu bendungan digambarkan pada gambar 2.1, yang merupakan bagian pokok dari bendungan yaitu volume hidup (*live storage*), volume mati (*dead storage*), tinggi muka air (TMA) maksimum, TMA minimum, tinggi mercu bangunan pelimpah berdasarkan debit rencana.

Dari karakteristik bendungan tersebut didapatkan hubungan antara elevasi dan volume tampungan yang disebut sebagai lengkung kapasitas bendungan. yang berupa data untuk menggambarkan volume tampungan air didalam bendungan pada setiap ketinggian muka air.



Gambar 2.1 Karakteristik Fisik Bendungan

(Sudjarwadi, 1989)

1.4 Kapasitas Bendungan

Adapun beberapa istilah yang berhubungan dengan kapasitas bendungan:

- Kapasitas Tampungan Efektif:

Volume bendungan yang dapat digunakan/dimanfaatkan dengan memenuhi tujuan pembangunannya. Dalam hal ini, tujuan pembangunannya adalah pembangkit listrik tenaga air.

- Kapasitas Tampungan Mati:

Volume bendungan yang terletak dibagian dasar bangunan yang bertujuan untuk menampung sebaran sedimen.

- Kapasitas Tampungan Total:

Volume total bendungan yang meliputi volume efektif dan volume mati.

Ada 2 (dua) metode dasar untuk menentukan kapasitas bendungan, yaitu: pendekatan grafis dengan metode Rippl dan pendekatan numerik (*Sequent Peak Algorithm*). Kedua metode memanfaatkan periode kritis, yang merupakan periode aliran keluar (permintaan atau pengambilan) dari bendungan lebih besar daripada aliran masuk. Perbedaan dalam akumulasi pengambilan dan akumulasi aliran masuk selama periode kritis adalah penyimpanan yang diperlukan untuk memasok kebutuhan yang diminta dalam periode kritis (atau untuk menjamin ketersediaan yang aman). Jika periode waktu yang ditinjau mencakup lebih dari 1 (satu) periode kritis, penyimpanan maksimum bendungan terbesar diambil sebagai kapasitas bendungan.

Jelas bahwa jika perhitungan kapasitas bendungan didasarkan pada 1 (satu) tahun data, hal itu mungkin tidak representatif, karena tahun yang mewakili mungkin lebih kering atau lebih basah dari biasanya.

Pendekatan Numerik (*Sequent Peak Algorithm*)

Pendekatan numerik sangat cocok untuk konsep yang tidak konstan dalam waktu. Prosedur menghitung untuk setiap t bulan defisit penyimpanan S dalam bendungan sebagai berikut:

$$S_t = S_{t-1} + O_t - I_t \quad (2 - 1)$$

$$S_t > 0$$

Dimana:

S_t = Kebutuhan kapasitas tampung pada periode waktu t

S_{t-1} = Kebutuhan kapasitas tampung sebelum akhir periode waktu t

O_t = Debit outflow selama periode waktu t

I_t = Debit inflow selama periode waktu t

t = Periode waktu

1.5 Pola Operasi Waduk

Pada dasarnya operasi waduk adalah proses penampungan aliran sungai ke dalam sebuah waduk (*reservoir*) dan pelepasan air yang telah ditampung tersebut untuk berbagai tujuan tertentu. Pedoman pengoperasian waduk yaitu bagaimana caranya memanfaatkan kapasitas tampungan waduk dalam melakukan pengaturan (*regulation*) terhadap aliran sungai untuk berbagai tujuan tertentu. (Soetopo, 2010)

Pola operasi waduk bertujuan untuk membuat keseimbangan antara debit masukan (*inflow*), debit keluaran (*outflow*) dan perubahan tampungan. Oleh karena itu masalah tentang pengoperasiannya harus terencana sesuai dengan kapasitas yang ada untuk memenuhi kebutuhan di hilir.

Pengoperasian bendungan secara efektif, efisien dan optimal merupakan permasalahan yang kompleks karena melibatkan beberapa faktor seperti:

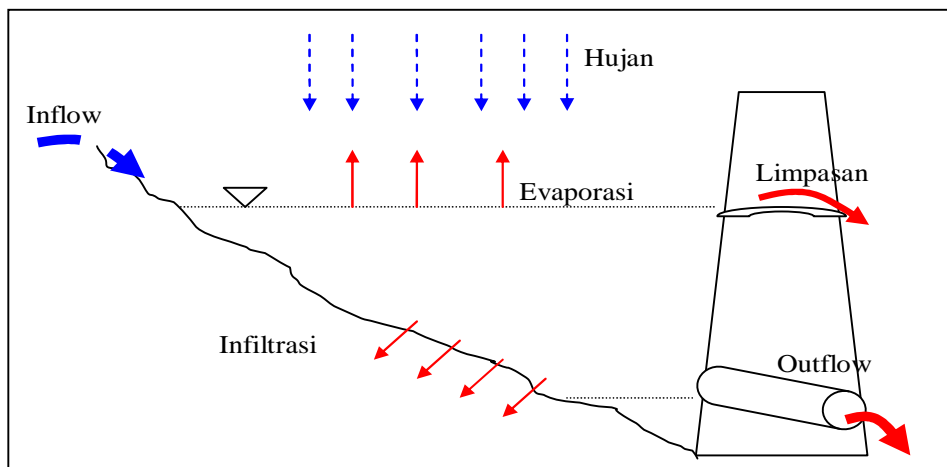
1. Operasional *policy*, pola kebijakan pengoperasian bendungan.
2. Debit *inflow* yang akan masuk ke bendungan yang tergantung dari ketepatan perencanaan debit yang akan masuk ke bendungan tersebut.
3. *Demand*, kebutuhan air untuk irigasi, air baku, dan PLTA.
4. Keandalan peralatan *monitoring* tinggi muka bendungan, debit aliran dan curah hujan.
5. Koordinasi antara instansi yang terkait.
6. Kemampuan operasional.

Bila dalam kegiatan operasi, muka air bendungan masih berada didalam zona operasi, pada prinsipnya operasi/pengeluaran air bendungan masih dapat dilaksanakan sesuai rencana. Bila muka air bendungan berada di luar batas atas dan bawah, maka rencana pengeluaran air bendungan perlu disesuaikan. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.37 Tahun 2010 tentang Bendungan, pola operasi bendungan terdiri atas:

- a. Pola operasi tahun kering.
- b. Pola operasi tahun normal.
- c. Pola operasi tahun basah.

Pola operasi bendungan ditetapkan oleh pengelola bendungan tiap tahun berdasarkan hasil prakiraan curah hujan, dimana pola operasinya harus memuat tata cara pengeluaran air dari bendungan sesuai dengan kondisi volume atau elevasi air bendungan dan kebutuhan air kapasitas sungai dihilir bendungan.

Persamaan dasar pada operasi bendungan yaitu *Aliran Masuk* dikurangi *Aliran Keluar* adalah *Perbedaan Tampungannya* yang persamaannya seperti berikut dan ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Neraca Air Bendungan
(Hadisusanto, 2011)

Dari gambar diatas didapatkan:

$$Inflow(I) - Outflow(O) = \Delta Storage \quad (2 - 2)$$

Untuk persamaan neraca air bendungan adalah sebagai berikut:

$$S_{i+1} = S_i + I_i - (O_i + E_i + R_i) \quad (2 - 3)$$

Kondisi tampungan lebih besar dari tampungan maksimum:

$S_{i+1} > S_{max}$, maka akan terdapat limpasan sebesar $S_{i+1} - S_{max}$

$$S_{i+1} = S_{max}$$

$$O_i = O_t + \text{Limpasan}$$

Kondisi tampungan lebih kecil dari tampungan minimum:

$S_{i+1} < S_{min}$, maka akan terdapat kekurangan sebesar $S_{min} - S_{i+1}$

$$S_{i+1} = S_{min}$$

$$O_t = O_i - \text{Kekurangan}$$

Dimana:

S = tampungan

I = debit inflow

O = debit outflow

E = evaporasi

R = resapan

t = periode waktu

1.6 Analisa Curah Hujan

1.6.1 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Jumlah hujan yang dimanfaatkan oleh tanaman tergantung pada jenis tanaman. Tanaman mengalami kehilangan air yang disebabkan evapotranspirasi tanaman, perkolasi dll., sehingga tanaman memanfaatkan hujan efektif untuk memenuhi kehilangan air tersebut.

Besarnya curah hujan yang terjadi tidak semuanya dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya, oleh karena itu perlu diperhitungkan curah hujan efektifnya. Curah hujan efektif ditentukan berdasarkan besarnya R_{80} , R_{80} merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80% atau dilampauinya 8 kali dari 10 kali kejadian, dengan kata lain kemungkinan terjadi curah hujan yang lebih kecil dari R_{80} adalah 20%.

Sebelum menghitung curah hujan efektif, terlebih dahulu menghitung curah hujan rata-rata dari data stasiun pengamatan. Untuk menentukan besarnya curah

hujan daerah, ada 3 cara yang umum digunakan yaitu cara rata-rata aljabar, cara polygon Thiessen dan cara Isohyet. Dalam penulisan ini, analisa hujan rata-rata daerah menggunakan cara polygon Thiessen.

Cara Poligon *Thiessen* ini didasarkan atas rata-rata timbang. Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar.

Misalnya A_1 adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, A_2 luas pos penakar 2 dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + \dots + A_n = A$, adalah jumlah luas seluruh area yang dicari tinggi curah hujannya. Jika pos penakar 1 menakar hujan R_1 , pos penakar 2 menakar hujan R_2 , sehingga pos penakar n menakar R_n , maka :

$$R = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2 - 4)$$

dengan:

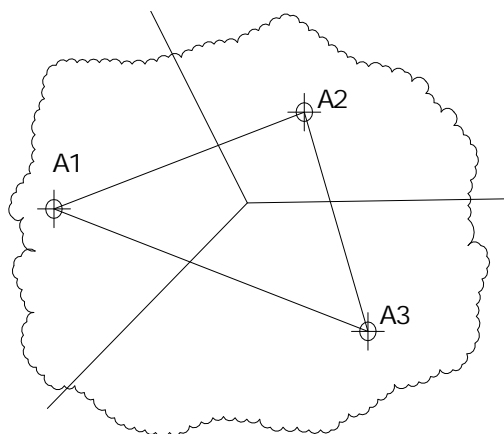
R : Curah hujan daerah rata-rata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n : Curah hujan di tiap titik pos Curah hujan (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n : Luas daerah Thiessen yang mewakili titik pos curah hujan (km^2)

n : Jumlah pos curah hujan

Oleh karena itu hasil perhitungan ini lebih teliti dibandingkan dengan perhitungan cara rata-rata hitung.



Gambar 2.3 Cara Poligon Thiessen.

Sumber : Soemarto, 1987

1.6.2 Validasi Data

Pada umumnya data lapangan setelah diolah dipublikasikan dalam sebuah buku data hidrologi, adalah sebagai data dasar untuk bahan analisa hidrologi. Dimana data disusun dalam bentuk deret berkala (*time series*), mulai tanggal 1 Januari samapai dengan 31 Desember setiap tahun. Oleh karena itu sebelum data digunakan maka perlu dilakukan pengujian atau penyaringan data (*data screening*) sebelum data dipergunakan. Pengujian ini meliputi:

- Ketiadaan trend
- Stasioner
- Persistensi

2.6.2.1. Uji Ketiadaan Trend

Metode statistik yang dapat digunakan untuk menguji ketiadaan trend dalam deret berkala menurut Soewarno (1995:85), meliputi:

- Uji korelasi peringkat metode *Spearman*
- Uji *Mann dan Withney*
- Uji tanda dari *Cox dan Stuart*

Dalam studi ini pengujian ketiadaan trend memakai uji korelasi peringkat metode *Spearman*. Dengan rumus sebagai berikut:

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \quad (2 - 5)$$

$$t = KP - \left[\frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{1/2} \quad (2 - 6)$$

keterangan:

KP = koefisien korelasi peringkat dari *Spearman*

n = jumlah data

dt = $R_t - T_t$

T_t = peringkat dari waktu

R_t = peringkat dari variable hidrologi dalam deret berkala

t = nilai distribusi t, pada derajat kebebasan (n-2) untuk derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5%).

2.6.2.2. Uji Stasioner

Menurut Soewarno, (1995:95), uji Stasioner ini bertujuan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari deret berkala. Pengujian nilai varian dari deret berkala dapat dilakukan dengan Uji-F, dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = \frac{n_1 \cdot s_1^2 \cdot (n_2 - 1)}{n_2 \cdot s_2^2 \cdot (n_1 - 1)} \quad (2 - 7)$$

Keterangan:

F = perbandingan F

n_1 = jumlah sampel kelompok sampel ke-1

n_2 = jumlah sampel kelompok sampel ke-2

S_1 = standar deviasi kelompok sampel ke-1

S_2 = standar deviasi kelompok sampel ke-2

2.6.2.3. Uji Persistensi

Uji persistensi ini merupakan uji ketidak tergantungan dari setiap nilai dalam deret berkala. Dimana harus dihitung besarnya koefisien korelasi serial dengan metode Spearman. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m (di)^2}{m^3 - m} \quad (2 - 8)$$

$$t = KS - \left[\frac{m-2}{1-KS^2} \right]^{1/2} \quad (2 - 9)$$

keterangan:

KP = koefisien korelasi serial

m = $n - 1$

di = perbedaan nilai antara peringkat data X_i dan ke X_{i+1}

t = nilai distribusi t, pada derajat kebebasan ($m-2$) dan derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5 % ditolak, atau 95 % diterima).

1.6.3 Uji Konsistensi

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman data atau pada saat pengukuran. Jika data tidak konsisten (terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dan nilai

sebenarnya), misalnya penakar hujan terlindung oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung tinggi, perubahan cara penakaran dan pencatatan, pemindahan letak penakar dan sebagainya. Sehingga memungkinkan terjadi penyimpangan terhadap trend semula. Hal tersebut dapat diselidiki dengan menggunakan lengkung massa ganda seperti pada gambar 2.1. apabila terjadi penyimpangan (ABC), maka dapat dikoreksi menjadi garis ABC dengan rumus (Sri Harto, 1993):

$$\text{Tg } \alpha = \frac{Y}{X} = \frac{Y_2}{X_2} \quad (2 - 10)$$

$$\text{Tg } \alpha_0 = \frac{Y_0}{X_0} \quad (2 - 11)$$

$$H_z = (\text{Tg } \alpha \cdot \text{Tg } \alpha_0^{-1}) \cdot H_0 \quad (2 - 12)$$

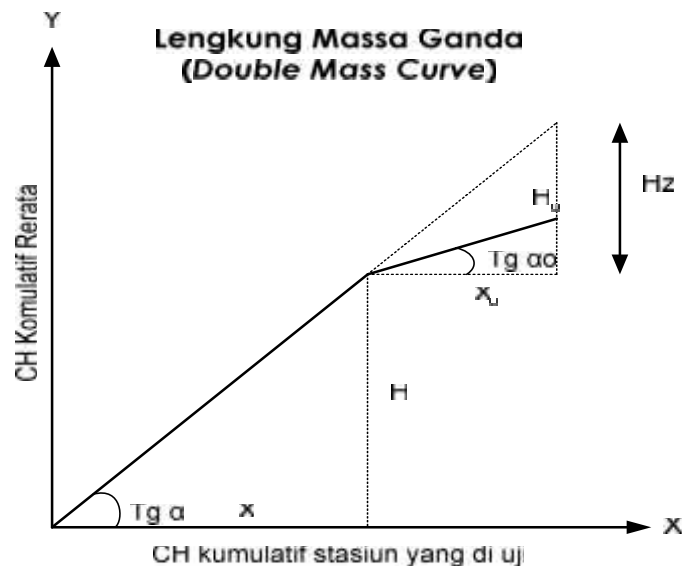
Dengan:

H_z = data hujan terkoreksi (mm)

H_0 = data hujan pengamatan (mm)

$\text{Tg } \alpha$ = kemiringan garis sebelum penyimpangan

$\text{Tg } \alpha_0$ = kemiringan garis setelah penyimpangan



Gambar 2.4 Uji Konsistensi Data Hujan

Sumber: Sri Harto, 1993

Uji konsistensi juga meliputi homogenitas data karena data konsisten berarti data homogen. Karena pada masing-masing DPS memiliki stasiun curah hujan yang sangat jauh dan tidak berpengaruh dengan lainnya maka pengujian juga dilakukan dengan menggunakan satu metode, yaitu *Metode RAPS (Re Adjusted Partial Sums)*

Pengujian konsistensi dilakukan dengan menggunakan data dari masing-masing stasiun, yaitu pengujian dengan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya. Untuk lebih jelasnya mengenai uji konsistensi data hujan dapat dilihat pada uraian dibawah :

$$S_0^* = 0$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad \text{dg } k = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y}$$

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n}$$

nilai statistik Q dan R

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}|$$

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^{**}$$

dengan:

Q = atribut dari besarnya sebuah nilai statistik,

R = atribut dari besarnya sebuah nilai statistik (*range*)

S_k^* = data hujan (X) – data hujan rata-rata (\bar{X})

D_y^2 = nilai kuadrat dari S_k^* dibagi dengan jumlah data

S_k^{**} = nilai S_k^* dibagi dengan D_y

n = jumlah data

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Data hujan diurutkan berdasarkan tahun, kemudian dihitung rata-ratanya
2. Menghitung nilai absolut S_k^* , yaitu tiap data dikurangi data hujan rata-rata
3. Menghitung nilai D_y^2 , yaitu $(S_k^*)^2$ dibagi jumlah data
4. Menghitung jumlah komulatif D_y^2
5. Menghitung D_y , yaitu akar dari D_y^2
6. Menghitung nilai dari S_k^{**} , yaitu S_k^* dibagi D_y
7. Menghitung nilai absolut S_k^{**} dan menentukan nilai S_k^{**} maksimal/minimal
8. Menghitung nilai Q/n dan R/n

Dengan melihat nilai statistik diatas maka dapat dicari nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} . Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai Q/\sqrt{n} syarat dan R/\sqrt{n} syarat, jika lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten.

Tabel 2. 1. Nilai $Q/n^{0.5}$ dan $R/n^{0.5}$

n	Q/n ^{0.5}			R/n ^{0.5}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.48	1.40	1.50	1.70
40	1.314	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.85

Sumber: Sri harto, 1993:18

1.7 Perhitungan Debit dengan Simulasi F. J. Mock

Dr. F. J. Mock (1973) memperkenalkan model sederhana simulasi keseimbangan air bulanan untuk aliran yang meliputi data hujan, evaporasi, dan

karakteristik hidrologi daerah pengaliran. Kriteria perhitungan dan asumsi yang digunakan dalam analisa ini adalah sebagai berikut (Montarcih, 2008):

1.7.1 Evapotranspirasi

Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi (penguapan). Peristiwa penguapan dari tanaman disebut transpirasi. Kedua bersama-sama disebut evapotranspirasi (Sosrodarsono, 2003).

1. Evaporasi

Air akan menguap dari tanah, baik tanah gundul atau yang tertutup oleh tanaman dan pepohonan. Pada permukaan yang tidak tembus air seperti atap dan jalan raya, air bebas mengalir. Laju evaporasi atau penguapan akan berubah-ubah menurut sifat pemantulan permukaan. Laju evaporasi berbeda untuk permukaan yang langsung tersinari oleh matahari dan yang terlindungi dari sinar matahari.

Faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Soemarto,1987:43):

a. Radiasi matahari

Evaporasi berjalan terus hampir tanpa berhenti di siang hari dan kerap kali juga di malam hari. Perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan energi berupa panas untuk evaporasi. Proses evaporasi akan sangat aktif jika ada penyinaran langsung dari matahari.

b. Angin

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

c. Kelembaban relatif

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

d. Suhu (temperatur)

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

Cara pengukuran besarnya evaporasi dapat secara langsung dengan Lysimeter yaitu cara perkiraan banyaknya evaporasi menggunakan panci. Jika alat tersebut tidak ada, maka dapat dipakai rumus empiris dari Penman. Perhitungan besarnya evaporasi dengan menggunakan rumus empiris Penman, diberikan sebagai berikut (Soemarto,1987:67):

$$E_o = \frac{\Delta H / 60 + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (2 - 13)$$

dimana:

E_a = tekanan uap jenuh dari udara pada t °C ($e \times h$) (mm)

H = *head budget*

= kemiringan lengkung tekanan uap pada suhu t (°C)

γ = konstanta Psychrometer = 0,49 jika t dalam °C dan e dalam (mmHg).

Besarnya H perlu diuraikan lebih lanjut. Jika radiasi matahari memasuki batas luar atmosfer (R_A), maka ia akan diteruskan ke bumi menjadi R_C yang besarnya (Soemarto, 1987:68) :

$$R_C = R_A \times [a + b \times \left(\frac{n}{D}\right)] \quad (2 - 14)$$

dimana:

R_C = radiasi gelombang pendek yang diterima bumi
(kalori/cm²/hr)

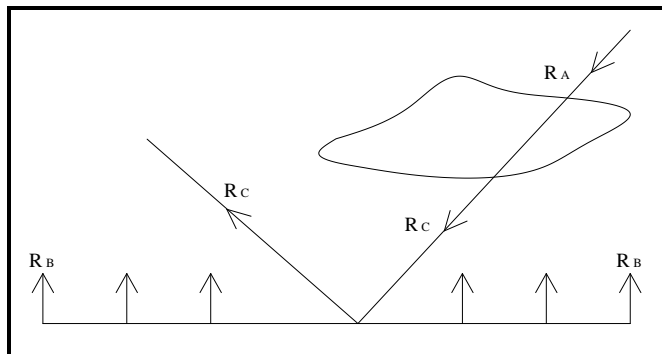
R_A = angka angot (konstanta yang berbeda-beda untuk tiap-tiap lokasi) (kalori/cm²/hr)

a,b = konstanta yang tergantung pada letak suatu tempat di atas bumi

$\frac{n}{D}$ = rasio keawanan

n = jumlah jam yang sebenarnya dalam 1 hari matahari bersinar

D = jumlah jam yang dimungkinkan dalam 1 hari matahari bersinar



Gambar 2.5 Radiasi Matahari

Sumber: Soemarto, 1987:68

Sebagian dari R_C dipantulkan sebagai radiasi gelombang pendek. Jumlah bersihnya (R_I) disimpan dalam tanah sebesar (Soemarto, 1987:70) :

$$R_I = R_C \times (I - r) \quad (2 - 15)$$

dimana:

R_I = jumlah bersih radiasi yang diserap di permukaan setelah dipantulkan

pada hari terang (kal/cm²/hari)

r = faktor pantulan atau albedo besarnya r untuk:

air terbuka = 0,06

batu = 0,12 – 0,15

rumput = 0,08 – 0,09

tanaman hijau = 0,2

Sebagian dari R_I dipancarkan kembali sebagai gelombang panjang R_B siang dan malam, dan proses ini terjadi paling cepat kalau angkasanya tidak berawan dan udaranya kering. Besarnya R_B ditentukan secara empiris sebagai berikut (Soemarto, 1987:70) :

$$R_B = \sigma T_a^4 \times (0,45 - 0,77 \times \sqrt{e_a}) \times [0,2 + 0,8 \times (\frac{H}{D})] \quad (2 - 16)$$

dimana:

R_B = radiasi matahari dari angkasa yang benar-benar diterima di permukaan pada hari terang (kal/cm²/hari)

T_a = suhu absolut dalam °K (273 + t °C)

e_a = tekanan uap sebenarnya udara (mmHg)

$\sigma \times T_a^4$ = radiasi benda hitam Stephan Baltzman

Jadi jumlah energi tersisa yang masih tertinggal di bumi adalah H , secara empiris sebagai berikut (Soemarto, 1987:70):

$$H = R_I - R_B \quad (2 - 17)$$

2. Transpirasi

Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya, dan masing-masing jenis tanaman berbeda-beda kebutuhannya. Hanya sebagian kecil air yang tinggal di dalam tubuh

tumbuh-tumbuhan dan sebagian besar air setelah diserap lewat akar-akar dan dahan-dahan akan ditranspirasikan lewat bagian tumbuh-tumbuhan yang berdaun (Soemarto,1986 : 44).

Proses transpirasi berlangsung terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari, namun pada malam hari pori-pori daun menutup. Pori-pori tersebut terletak di bagian bawah daun, yang disebut stomata. Apabila pori-pori ini menutup menyebabkan terhentinya proses transpirasi secara drastis. Faktor lain yang penting adalah jumlah air yang tersedia cukup banyak. Jika jumlah air yang tersedia melebihi dari yang dibutuhkan oleh tanaman, maka jumlah air yang ditranspirasikan akan lebih besar dibandingkan apabila ketersediaan air di bawah keperluan.

3. Evapotranspirasi

Dalam kondisi lapangan tidaklah mungkin untuk membedakan antara evaporasi dan transpirasi, apalagi jika tanahnya tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Proses evaporasi dan transpirasi saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Jumlah kadar air yang hilang dari tanah oleh evapotranspirasi tergantung pada (Soemarto,1987:44):

- A
danya persediaan air yang cukup (hujan dan lain-lain).
- F
aktor-faktor iklim seperti suhu, kelembaban, dan lain-lain.
- T
ipe dan cara kultivasi tumbuh-tumbuhan tersebut.

Besarnya evapotranspirasi potensial dapat dihitung dengan menggunakan Metode Penman yang sudah dimodifikasi guna perhitungan di daerah Indonesia adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994:54) :

$$E_{To} = c \times E_{to}^* \quad (2 - 18)$$

$$E_{to}^* = W \times (0,75 \times R_s - R_{n1}) + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d) \quad (2 - 19)$$

dimana:

c = angka koreksi Penman yang besarnya mempertimbangkan perbedaan cuaca

W = faktor yang berhubungan dengan suhu (t) dan elevasi daerah

R_s = radiasi gelombang pendek (mm/hr)

$$= (0,25 + 0,54 \times \frac{H}{N}) \times R_a$$

R_a = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (angka angot), tergantung letak lintang daerah (mm/hr).

n = lama kecerahan matahari yang nyata (tidak terhalang awan) dalam 1 hari (jam)

N = lama kecerahan matahari yang mungkin dalam 1 hari (jam)

R_{n1} = radiasi bersih gelombang panjang (mm/hr)

$$= f(t) \times f(ed) \times f\left(\frac{H}{N}\right)$$

$f(t)$ = fungsi suhu

$f(ed)$ = fungsi tekanan uap
 $= 0,34 - [0,044 \times (ed)^{0,5}]$

$f\left(\frac{H}{N}\right)$ = fungsi kecerahan
 $= 0,1 + [0,9 \times \left(\frac{H}{N}\right)]$

$f(u)$ = fungsi kecepatan angin (m/dt)
 $= 0,27 (1 + 0,864) \times u$

$(e_a - e_d)$ = perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang Sebenarnya

e_d = tekanan uap jenuh
 $= e_a \times RH$

e_a = tekanan uap sebenarnya

RH = kelembaban udara relatif (%)

Prosedur perhitungan E_{to}^* berdasar rumus Penman yang sudah dimodifikasi adalah sebagai berikut:

1. Mencari data temperatur rata-rata bulanan (t , °C)
2. Berdasar nilai (t) cari besaran (e_a), (W), ($1-W$) dan $f(t)$
3. Mencari data kelembaban relatif (RH , %)

4. Berdasar nilai (ea) dan (RH) cari (ed)
5. Berdasar nilai (ed) cari f(ed)
6. Cari letak lintang daerah yang ditinjau
7. Berdasar letak lintang cari nilai (Ra)
8. Cari data kecerahan matahari (n/N)
9. Berdasar nilai (Ra) dan (n/N) cari besaran (Rs)
10. Berdasar nilai (n/N) cari f(n/N)
11. Cari data kecepatan angin rata-rata bulanan (u)
12. Berdasar nilai (u) cari f(u)
13. Hitung besar Rn_1
14. Cari besarnya angka koreksi (c)
15. Berdasar besaran nilai W, (1-W), Rs, Rn_1 , f(u), ea, dan ed yang telah didapat hitung ET_o^*
16. Hitung E_t .

1.7.2 Keseimbangan Air di Permukaan Tanah

Air hujan yang mencapai permukaan tanah dapat dirimuskan sebagai berikut (Montarich, 2008:197):

$$D_s = P - E_t \quad (2 - 20)$$

dengan:

D_s = air hujan yang mencapai permukaan tanah (mm/hr)

P = curah hujan (mm/hr)

E_t = evapotranspirasi terbatas (mm/hr)

Bila harga D_s positif ($P > E_t$) maka air akan masuk ke dalam tanah bila kapasitas kelembaban tanah belum terpenuhi, dan sebaliknya akan melimpas bila kondisi tanah jenuh. Bila harga D_s negatif ($D_s < E_t$) sebagian air tanah akan keluar dan terjadi kekurangan (defisit).

Perubahan kandungan air tanah (*soil storage*) 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.

Kapasitas kelembaban tanah (*Soil Moisture Capacity*) awal diperlukan pada saat dimulainya simulasi dan besarnya tergantung dari kondisi porositas lapisan tanah atas dari daerah pengaliran. Besarnya diambil 50 sampai dengan 250 mm, yaitu kapasitas kandungan air dalam tanah per m³. Jika porositas tanah lapisan atas tersebut makin besar, maka kapasitas kelembaban tanah akan makin besar pula. Jika pemakaian model dimulai bulan januari, yaitu pertengahan musim hujan, maka tanah dapat dianggap berada pada kapasitas lapangan (*field capacity*). Sedangkan jika model dimulai dalam musim kemarau, akan terdapat kekurangan, dan kelembaban tanah awal yang mestinya di bawah kapasitas lapangan.

1.7.3 Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah (*Runoff and Groundwater Storage*)

a. Koefisien infiltrasi (i)

Koefisien infiltrasi diperlirakan berdasarkan kondisi porositas tanah serta kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang mempunyai porous misalnya pasir halus mempunyai infiltrasi lebih tinggi dibandingkan tanah lempung. Lahan terjal dimana air tidak sempat infiltrasi ke dalam tanah maka koefisien infiltrasi akan kecil. Batasan koefisien infiltrasi adalah 0,00 - 1,00.

b. Penyimpanan air tanah (*Groundwater Storage*)

Pada permulaan simulasi harus ditentukan penyimpanan awal (*initial storage*) yang besarnya tergantung dari kondisi geologi setempat dan waktu. Sebagai contoh: dalam daerah pengaliran kecil yang mana kondisi geologi lapisan bawah adalah tidak tembus air dan mungkin tidak ada air di sungai pada musim kemarau, maka penyimpanan air tanah menjadi nol. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Montarcih, 2008:198):

$$V_n = k \times V_{n-1} + \frac{1}{2} \times (1 + k) \times i_n \quad (2 - 21)$$

$$DV_n = V_n - V_{n-1} \quad (2 - 22)$$

dengan:

V_n = volume air tanah bulan ke n

V_{n-1} = volume air tanah bulan ke n-1

$k = qt/q_0$ = faktor resesi aliran air tanah (*catchment area recession factor*)

qt = aliran air tanah pada waktu t (bulan ke t)

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

i_n = infiltrasi bulan ke n

DV_{n-1} = perubahan volume aliran air tanah

Faktor resesi air tanah (k) adalah 0 – 1. Harga k yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air (*permeable*).

c. Limpasan (*Runoff*)

Aliran dasar = infiltrasi dikurangi perubahan volume aliran dalam tanah

Limpasan langsung = kelebihan air (*water surplus*) – infiltrasi

Limpasan = aliran dasar + limpasan langsung

Debit andalan = aliran sungai dinyatakan dalam m^3 /bulan

Langkah-langkah perhitungan debit menggunakan metode F. J. Mock adalah sebagai berikut (montarjih, 2008):

1. Mempersiapkan data-data yang diperlukan, antara lain rerata hujan daerah (P), evapotranspirasi potensial (Eto), jumlah hari hujan (n), faktor resesi aliran air tanah (k), dan angka koefisien infiltrasi (i).
2. Menentukan evapotranspirasi terbatas.
3. Menentukan besar hujan di permukaan tanah (Ds).
4. Menentukan harga kelembaban tanah (SMC).
5. Menentukan infiltrasi (i), dengan koefisien antara 0 – 1,00.
6. Menentukan air lebih tanah (*water surplus*).
7. Menentukan kandungan air bawah tanah (Vn).
8. Menentukan perubahan kandungan air bawah tanah (DVn).
9. Menentukan aliran dasar dan aliran langsung.
10. Menentukan debit yang tersedia di sungai.

1.8 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang tersedia dari alam melalui hujan dan kontribusi air tanah. Kebutuhan air untuk tanaman pada suatu jaringan irigasi merupakan air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman yang optimal tanpa adanya kekurangan air yang dinyatakan dalam *Netto Kebutuhan Air Lapangan* (*Net Field Requirement* atau NFR).

Kebutuhan air sawah dinyatakan dalam mm/hari atau liter/detik/hari dan ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut:

1. Penyiapan lahan.
2. Penggunaan konsumtif.
3. Perkolasi dan rembesan.
4. Curah hujan efektif.
5. Pergantian lapisan air.

Dari ke lima faktor diatas maka perkiraan kebutuhan air untuk irigasi adalah sebagai berikut: (Standar Perencanaan Irigasi lampiran 2, 1986)

$$NFR = Etc + P - Re + WLR \quad (2 - 23)$$

$$Etc = Kc \times Eto \quad (2 - 24)$$

Dimana:

NFR = kebutuhan air di sawah

Etc = evapotranspirasi potensial

Kc = koefisien tanaman yang tergantung dari jenis tanaman dan tahap pertumbuhannya.

Eto = evaporasi potensial (mm/hr)

P = perkolasi peresapan (mm/hr)

Re = curah hujan efektif (mm/hr)

WLR = penggenangan (mm/hr)

Untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman, penentuan pola tanam merupakan hal yang perlu dipertimbangkan. Untuk contoh pola tanam dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Pola Tanam

Ketersediaan Air Untuk Jaringan Irigasi	Pola tanam dalam 1 Th
Tersedia air cukup banyak	Padi – Padi – Palawija
Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi – Padi – Bera Padi – Palawija – Palawija
Air yang tersedia kurang	Padi – Palawija – Bera Pala – Padi – Bera

Sumber: Irigasi dan Bangunan Air (Sidharta, 1997)

1.8.1 Penyiapan Lahan

Untuk perhitungan kebutuhan irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode yang didasarkan laju air konstan dalam l/dt selama penyiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut:

$$IR_p = M \cdot e_k / (e_k - 1) \quad (2 - 25)$$

dimana :

IR_p = Kebutuhan air irigasi persawahan, mm/ hari

M = Kebutuhan air untuk mengkompensasi kehilangan air akibat evaporasi serta perkolasi yang ada di sawah.

$$M = E_o + P \quad (2 - 26)$$

E_o = Evaporasi air terbuka diambil 1,1x E_{To} saat penyiapan lahan (mm/ hari)

P = Perkolasi

$$k = M.T/S \quad (2 - 27)$$

T = waktu penyiapan lahan.

S = Kebutuhan air, penjumlahan ditambah lapisan air 50 mm.

1.8.2 Persemaian (Pembibitan)

Persemaian harus sudah disiapkan antara 20-30 hari sebelum masa tanam padi di sawah. Luas lahan untuk persemaian berkisar antara 3-5% dari luas lahan seluruhnya yang akan ditanami padi.

Sebelum benih disebar petak persemaian yang sudah dibuat airnya dikurangi hingga permukaan tanah bebas dari air lalu dipupuk dengan pupuk TSP sebanyak 10 gram/m² baru setelah itu benih ditabur dengan kerapatan dua genggam untuk setiap meter persegi. Pada jarak 10 cm dari tepi tidak boleh ditaburi benih. Selesai menabur maka benih dibenamkan ke dalam lumpur sampai tertutup tipis dengan lumpur.

Tanah untuk persemaian dibajak, digaru, kemudian dicangkul sampai menjadi lumpur. Pada umur 25 hari bibit siap untuk dipindah ke petak-petak sawah yang telah disediakan.

1.8.3 Perkolasi

Laju perkolasi tergantung pada sifat-sifat tanah. Tanah lempung berat dengan karakteristik pengelolaan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3 mm/ hari. Tanah-tanah yang ringan, laju perkolasi lebih tinggi. Hasil-hasil penyelidikan tanah pertanian serta penyelidikan kelulusan, besarnya laju perkolasi dan tingkat kesamaan tanah, pengolahan tanah ditetapkan dan dianjurkan pemakaiannya, untuk menentukan laju perkolasi. Tinggi muka air tanah harus dihitung. Rembesan akan terjadi akibat meresap air melalui tanggul-tanggul yang berada sawah.

1.8.4 Pergantian Lapisan Air

Pergantian lapisan air erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Beberapa saat setelah penanaman, air yang digenangkan di permukaan sawah akan kotor dan mengandung zat-zat yang tidak lagi diperlukan tanaman. Air genangan ini perlu dibuang agar tidak merusak tanaman di lahan. Air genangan yang dibuang perlu diganti dengan air baru yang bersih.

Adapun ketentuan-ketentuan dalam penggantian lapisan air adalah sebagai berikut (Limantara,2008):

1. penggantian lapisan air diperlukan saat terjadi pemupukan maupun penyiangan, yaitu 1-2 bulan dari penanaman pertama.
2. penggantian lapisan air = 50 mm (diperlukan penggantian lapisan air, diasumsikan = 50 mm).
3. Jangka waktu penggantian lapisan air = 1,5 bulan (selama 1,5 bulan air digunakan untuk WLR sebesar 50 mm).

1.9 Kebutuhan Air Listrik

Prinsip dasar pembangkit listrik adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik. Sebuah skema pembangkit listrik memerlukan 2 (dua) hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) ke dalam bentuk energi mekanik dan energi listrik tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik oleh turbin air, kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan tenaga listrik.

Daya yang masuk (*P_{gross}*) merupakan penjumlahan dari daya yang dihasilkan (*P_{net}*) ditambah dengan faktor kehilangan energi (*loss*) dalam bentuk suara atau panas. Pendekatan yang umum digunakan bersifat *parametric* (Zuhal, 1992). Daya yang dapat dibangkitkan akan berkurang setelah melalui turbin dan generator yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = 9,8 Q \cdot H \cdot eff \quad (2 - 28)$$

Dimana:

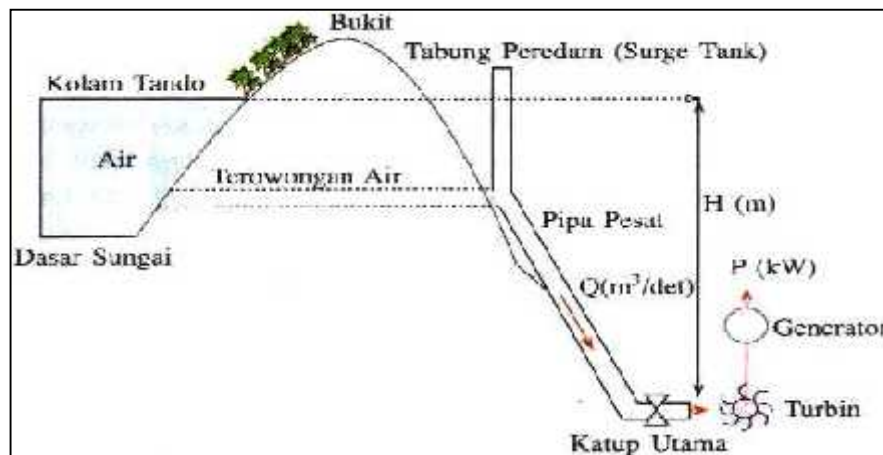
P = Tenaga yang dihasilkan (Kw)

Q = Debit air dalam (m³/dt)

H = Tinggi jatuh air dalam (m)

eff = Efisiensi Generator (0,8 s/d 0,95)

Pada Gambar 2. 6 menunjukkan secara skematis bagaimana potensi tenaga air, yaitu sejumlah air yang terletak pada ketinggian tertentu diubah menjadi tenaga mekanik oleh turbin air.



Gambar 2. 6 Proses Konversi Energi dalam Pembangkit Listrik

(Marsudi, 2005)

1.10 Kebutuhan Air Baku

Waduk juga akan berfungsi untuk penyediaan air baku untuk daerah hilir. Besarnya kebutuhan air untuk penduduk berdasarkan prediksi jumlah penduduk. Dalam melakukan perencanaan pemanfaatan air ke depan dibutuhkan untuk mengetahui jumlah penduduk dan kebutuhan air rata-rata setiap hari di masa depan. Maka dilakukanlah proyeksi jumlah penduduk, dalam kajian ini proyeksi atau perkiraan jumlah penduduk dilakukan sampai 10 tahun. Untuk memperkirakan proyeksi jumlah penduduk dapat dilakukan dengan 3 metode yaitu metode Aritmatik, metode Geometrik dan metode Eksponensial.

1.10.1 Metode Aritmatik

Metode ini adalah metode perhitungan perkembangan penduduk dengan jumlah sama setiap tahun (*absolute number*) dengan rumus sebagai berikut

$$P_n = P_0 + (1 + rn) \quad (2 - 29)$$

dengan:

P_n = jumlah penduduk dalam tahun ke-n (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar (jiwa)

r = angka pertumbuhan penduduk tiap tahun (%)

n = jumlah tahun proyeksi (tahun)

1.10.2 Metode Geometrik

Metode ini adalah metode rumus bunga berganda. Dalam metode ini pertumbuhan rata-rata penduduk berkisar pada persentase r yang konstan setiap tahun. Perhitungan dengan metode ini dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = P_0 + (1 + r)^n \quad (2 - 30)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu

1.10.3 Metode Eksponensial

Perkembangan jumlah penduduk berdasarkan metode eksponensial dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = P_0 \cdot e^{(r \cdot n)} \quad (2 - 31)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu

e = konstanta eksponensial = 2.718

1.10.4 Kesesuaian Metode Produksi

Kriteria pemilihan dari kedua metode diatas berdasarkan Uji Korelasi Sederhana pada nilai koefisien korelasi terbesar, maksudnya nilai koefisien korelasi (r) paling besar yang nantinya dipilih. Nilai koefisien korelasi dapat dihitung berdasarkan atas persamaan berikut :

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left(n \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right) \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right)}} \quad (2 - 32)$$

dimana :

- r = koefisien korelasi
 X = tahun proyeksi
 Y = jumlah penduduk hasil proyeksi

1.10.5 Kebutuhan Domestik

Kebutuhan domestik merupakan kebutuhan air bersih yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum, yang jumlah kebutuhannya ditentukan dari catatan (data) dari kota atau daerah yang bersangkutan berdasarkan karakteristik dan perkembangan konsumen pemakai air bersih. Kebutuhan air domestik sangat ditentukan oleh jumlah penduduk. Estimasi jumlah penduduk dimasa mendatang merupakan salah satu parameter utama dalam penentuan kebutuhan air domestik. Besarnya kebutuhan domestik ini dapat dihitung dengan rumus:

$$Q_d = M_n * S \quad (2 - 33)$$

dengan:

- Q_d = kebutuhan domestik
 M_n = jumlah penduduk
 S = standar kebutuhan air/orang/hari

Tingkat kebutuhan air untuk keperluan domestik antara satu kota dengan kota yang lain akan sangat berbeda. Semakin besar suatu kota maka tingkat kebutuhan air juga akan semakin besar, demikian pula semakin modern suatu masyarakat maka akan konsumsi airnya juga akan semakin besar.

1.10.6 Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik merupakan kebutuhan air bersih selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum, seperti penyediaan air untuk sarana sosial, tempat ibadah, sekolah, rumah sakit, asrama dan juga untuk keperluan komersil, seperti industri, hotel, perdagangan, pelabuhan, serta untuk pelayanan jasa umum. Untuk kota kecil dan sedang, konsumsi air untuk keperluan non domestik tidak seberapa besar seperti pada kota besar. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No: 18/PRT/M/2007, besarnya kebutuhan non domestik adalah sebesar 15% dari kebutuhan domestik. Rumus kebutuhan non domestik:

$$Q_{nd} = 15\% * Q_d \quad (2 - 34)$$

dengan:

Q_{nd} = kebutuhan non domestik

Q_d = kebutuhan domestik

1.11 Debit Andalan

Debit andalan (*dependable flow*) merupakan debit yang paling minimum yang ada di sungai untuk memenuhi yang sudah ditentukan agar dapat dipakai untuk irigasi. Dari hasil debit rerata tahunan diurutkan dari yang terbesar sampai yang terkecil dengan presentasi waktu disamai atau terlampaui dapat di hitung dengan rumus *weibull* (Subarkah, 1980: 111):

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2 - 35)$$

Dimana :

m = nomor urut data

n = Jumlah data

Pengelompokan kelompok pola debit inflow tahunan misalnya pada kondisi debit air musim kering, debit air rendah normal, debit air normal dan debit air cukup dengan batasan :

- Debit air musim kering : debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 355 hari dalam setahun. Keandalan $(355/365) \times 100\% = 97,3 \%$.
- Debit air rendah : debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 275 hari dalam setahun. Keandalan $(275/365) \times 100\% = 75,3 \%$.
- Debit air normal : debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 185 hari dalam setahun. Keandalan $(185/365) \times 100\% = 50,7 \%$.
- Debit air cukup (*affluent*) : debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 95 hari dalam setahun. Keandalan $(95/365) \times 100\% = 26 \%$.

1.12 Model Optimasi

Air merupakan kebutuhan pokok bagi makhluk hidup di bumi ini. Sejalan dengan meningkatnya keadaan sosial ekonomi masyarakat, maka kebutuhan air semakin beragam jenisnya, juga jumlahnya yang semakin meningkat, disamping

tuntutan ketersediannya pada waktu dan tempat yang berbeda – beda pula. Oleh karena itu perlu adanya penjataan air supaya maksud tersebut dapat tercapai, maka perlu dibuat suatu model sehingga dapat dilakukan analisis optimasi.

Dalam hal yang dimaksud dengan model optimasi adalah penyusunan model suatu sistem yang sesuai dengan keadaan nyata, yang nantinya dapat dirubah ke dalam model matematis dengan pemisahan elemen – elemen pokok agar suatu penyelesaian yang sesuai dengan sasaran atau tujuan pengambilan keputusan dapat tercapai.

1.12.1 Optimasi dengan Program Linier

Optimasi adalah suatu rancangan dalam pemecahan model –model perencanaan dengan mendasarkan pada fungsi matematika yang membatasi. Yang termasuk dalam teknik optimasi berkendala antara lain:

1. *Langrange Multipliers (Pendarap Langrange)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan kendala linier

2. *Linier Prigramming (Programasi Linier)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan linier

3. *Quadratic Programming (programasi Kuadratik)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan program matematis dengan fungsi linier dan fungsi tujuan non linier

4. *Geometric Programming (programasi Geometrik)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan geometri

5. *Dynamic Programming (Programasi Dinamik)*

Adalah suatu pendekatan untuk mengoptimasi proses – proses keputusan bertahap ganda

Analisis pada studi ini dipakai programasi linier. Pemilihan ini didasarkan karena penggunaan programasi linier memiliki keuntungan sebagai berikut :

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

4. Hasilnya cukup handal

Langkah – langkah di dalam melaksanakan perhitungan programasi linier adalah :

1. Membuat model optimasi
2. Menentukan sumber – sumber yang akan dioptimasi (dalam hal ini air dimanfaatkan untuk irigasi)
3. Menghitung kuantitas masukan dan keluaran untuk setiap satuan kegiatan
4. Penyusunan model matematika

1.12.2 Model Programasi Linier

Pada dasarnya model programasi linier memiliki tiga unsur penting, yaitu :

1. Variabel Putusan

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

2. Fungsi Tujuan

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

3. Fungsi Kendala

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

Model matematis yang digunakan untuk mengemukakan suatu permasalahan pemrograman linier dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Fungsi Tujuan :

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n \quad (2 - 36)$$

Fungsi Kendala :

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \quad (2 - 37)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \quad (2 - 38)$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m \quad (2 - 39)$$

$$X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; \dots; X_n \geq 0 \quad (2 - 40)$$

Persamaan diatas juga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

Fungsi tujuan:

Memaksimumkan

$$Z = \sum_{n=1}^n c_n x_n \quad (2 - 41)$$

Kendala:

$$\sum_{n=1}^n a_{mn} x_n \leq b_m \quad (2 - 42)$$

dan

$$x_n \geq 0 \quad (2 - 43)$$

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

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

dimana:

Z = fungsi tujuan (keuntungan maksimum hasil pertanian, pembangkit listrik dan kebutuhan air baku) (Rp)

x_n = variabel sasaran irigasi (luas areal irigasi) (Ha)

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

b_m = volume ketersediaan air (m^3)

c_n = keuntungan / manfaat bersih (Rp/Ha)

m = jumlah kendala

n = jumlah variabel keputusan

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

1.12.3 Penyelesaian Program Linier

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

Penyelesaian program linier yang memiliki jumlah variabel keputusan kurang dari samadengan dua ($n < 2$) maka dapat dipakai secara grafis. Sedangkan untuk persamaan yang memiliki jumlah variabel keputusan lebih dari samadengan dua ($n > 2$), maka penyelesaiannya harus menggunakan cara matematis/analitis.

Program-program aplikasi komputer banyak dikembangkan berdasarkan metode simpleks yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan Program Linier. Diantaranya yaitu TORA, QS, QSB, dan lain sebagainya. Dalam studi ini menggunakan perangkat lunak yang ada yaitu fasilitas *Solver* dalam *Microsoft Excel* untuk menyelesaikan permasalahan program linier sesuai dengan permasalahan yang ada dilapangan.

1.13 Fasilitas Solver pada Microsoft Excel

Solver adalah fasilitas didalam program *Microsoft Excel* pada *Windows*. Digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi. *Solver* digunakan untuk mencari solusi maksimum maupun minimum suatu permasalahan yang kita hadapi.

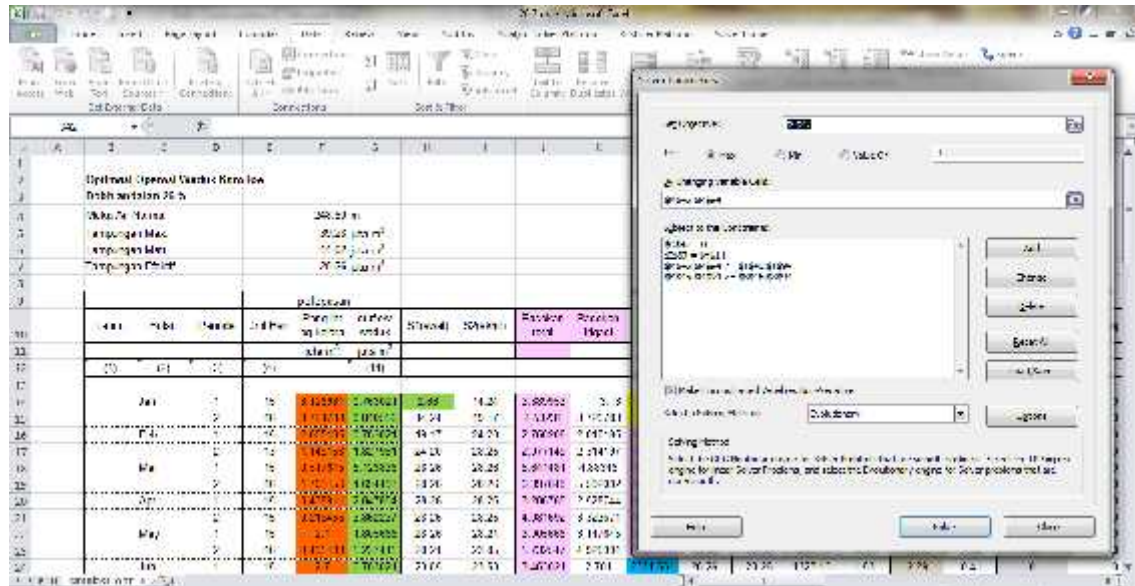
Solver menggunakan *code optimasi non linier Generalized Redveed Gradien* (GRG2) yang dikembangkan oleh *Leon Lasdon* doktor Universitas Texas di Austin, dan *Allan Waren* dari *Cleveland State University*. Pemecahan permasalahan pada *Solver* menggunakan metode logaritma Simplek dengan batasan pada variabelnya.

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

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

Langkah pertama yang diberikan yaitu menentukan nilai terkaan pada sel yang diubah tersebut. *Solver* akan melakukan proses coba dan salah berdasarkan

nilai terkaan yang diberikan hingga akhirnya diperoleh solusi yang memenuhi tujuan dan kendala.



Gambar 2.7 Fasilitas Solver dalam Microsoft Excel

Tahap-tahap dalam menggunakan fasilitas *solver* yaitu:

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

15. Pilih *solver* (tekan *enter*).
16. Setelah melakukan perhitungan sejenak, *Microsoft Excel* akan menampilkan kotak dialog *Solver result* yang memberi tahu bahwa solusi telah ditemukan.
17. Pilih *ok*, selesai (nilai pada X1, X2 dan nilai tujuan akan berubah yang merupakan nilai sosial).