

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Studi Kebutuhan Air Bersih

Studi Kebutuhan Air Bersih untuk sebuah sistem penyediaan air minum, perlu diketahui besarnya kebutuhan dan pemakaian air. Kebutuhan air dipengaruhi oleh besarnya populasi penduduk, tingkat ekonomi dan faktor-faktor lainnya. Oleh karena itu, data mengenai keadaan penduduk daerah yang akan dilayani dibutuhkan untuk memudahkan permodelan evaluasi sistem distribusi air minum.

Kebutuhan air bersih berbeda antara kota yang satu dengan kota yang lainnya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan air bersih menurut skripsi MHD.Irfan Yani Siregar Universitas Sumatra Utara adalah :

1. Iklim

Kebutuhan air untuk mandi, menyiram taman, pengaturan udara dan sebagainya akan lebih besar pada iklim yang hangat dan kering daripada di iklim yang lembab. Pada iklim yang sangat dingin, air mungkin diboroskan di keran-keran untuk mencegah bekunya pipa-pipa.

2. Ciri-ciri Penduduk

Pemakaian air dipengaruhi oleh status ekonomi dari para langganan. Pemakaian perkapita di daerah miskin jauh lebih rendah daripada di daerah-daerah kaya. Di daerah-daerah tanpa pembuangan limbah, konsumsi dapat sangat rendah hingga hanya sebesar 10 gpcd (40 liter / kapita per hari).

3. Masalah Lingkungan Hidup

Meningkatnya perhatian masyarakat terhadap berlebihannya pemakaian sumber-sumber daya telah menyebabkan berkembangnya alat-alat yang dapat dipergunakan untuk mengurangi jumlah pemakaian air di daerah pemukiman.

4. Keberadaan Industri dan Perdagangan

Keberadaan industri dan perdagangan dapat mempengaruhi banyaknya kebutuhan air per kapita dari suatu kota.

5. Iuran Air dan Meteran

Bila harga air mahal, orang akan lebih menahan diri dalam pemakaian air dan industri mungkin mengembangkan persediaannya sendiri dengan biaya yang lebih murah. Para langganan yang jatah air diukur dengan meteran akan cenderung untuk memperbaiki kebocoran-kebocoran dan mempergunakan air dengan jarang. Pemasangan meteran pada beberapa kelompok masyarakat telah menurunkan penggunaan air hingga sebanyak 40 persen.

6. Ukuran Kota

Penggunaan air per kapita pada kelompok masyarakat yang mempunyai jaringan limbah cenderung lebih tinggi di kota-kota besar daripada di kota kecil. Secara umum, perbedaan itu diakibatkan oleh lebih besarnya pemakaian oleh industri, lebih banyaknya taman-taman, lebih banyaknya pemakaian air untuk perdagangan dan barang kali juga lebih banyak kehilangan dan pemborosan di kota-kota besar.

Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 mengelompokkan klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas:

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi, pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Untuk memproyeksi jumlah kebutuhan air bersih dapat dilakukan berdasarkan perkiraan kebutuhan air untuk berbagai macam tujuan ditambah

perkiraan kehilangan air. Adapun kebutuhan air untuk berbagai macam tujuan pada umumnya dapat dibagi dalam :

- a. Kebutuhan domestik
 - sambungan rumah
 - sambungan kran umum
- b. Kebutuhan non domestik
 - Fasilitas sosial (Masjid, panti asuhan, rumah sakit dan sebagainya)
 - Fasilitas perdagangan/industri
 - Fasilitas perkantoran dan lain-lainnya

Sedangkan kehilangan air dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu :

- a. Kehilangan air akibat faktor teknis, misalnya kebocoran dari pipa distribusi
- b. Kehilangan air akibat faktor non teknis, antara lain sambungan tidak terdaftar, kerusakan meteran air, untuk kebakaran dan lain-lainnya.

2.2 Kebutuhan Air Baku Untuk Domestik

Menurut skripsi MHD.Irfan Yani Siregar Universitas Sumatra Utara yang mengambil buku (Kindler and Russel,1984) , kebutuhan air untuk tempat tinggal (kebutuhan domestik) meliputi semua kebutuhan air untuk keperluan penghuni. Meliputi kebutuhan air untuk mempersiapkan makanan, toilet, mencuci pakaian, mandi (rumah ataupun apartemen), mencuci kendaraan dan untuk menyiram pekarangan. Tingkat kebutuhan air bervariasi berdasarkan keadaan alam di area pemukiman, banyaknya penghuni rumah, karakteristik penghuni serta ada atau tidaknya penghitungan pemakaian air.

Sedangkan menurut (Linsey and Franzini, 1986) yang mengambil skripsi MHD.Irfan Yani Siregar, penggunaan rumah tangga adalah air yang dipergunakan di tempat-tempat hunian pribadi, rumah-rumah apartemen dan sebagainya untuk minum, mandi, penyiraman taman, saniter dan tujuan-tujuan lainnya. Taman dan kebun-kebun yang luas mengakibatkan sangat meningkatnya konsumsi pada masa-masa kering.

Penggunaan air kota dan jumlah-jumlah yang dipakai di Amerika Serikat, untuk keperluan rumah tangga berkisar antara 40-80 GPCD (gallon per kapita per hari) atau 150-300 LPCD (liter per kapita per hari) dan umumnya berkisar antara 65

GPCD (gallon per kapita per hari) atau 250 LPCD (liter per kapita per hari), sedangkan menurut Kindler and Russel (1984), penggunaan air rata-rata untuk rumah tangga adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Penggunaan Air Rata-rata Untuk Rumah Tangga

Jenis Kegiatan	Kebutuhan Air (liter / orang / hari)
Dapur	45
Kamar mandi	60
Toilet	70
Mencuci pakaian	45
Lainnya (termasuk keperluan diluar rumah)	75
Total	295

Sumber : J. Kindler and C.S. Russel, 1984. hal 153.

Pada umumnya kualitas air baku akan menentukan besar kecilnya investasi instalasi penjernihan air dan biaya operasi serta pemeliharannya. Sehingga semakin jelek kualitas air semakin berat beban masyarakat untuk membayar harga jual air bersih.

Kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk, tingkat pertumbuhan, kebutuhan air per kapita dan proyeksi waktu air akan digunakan (Yulistiyanto dan Kironoto,2008). Standar kebutuhan air domestik adalah dari Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah Tahun 2003 dan SNI Tahun 2002 dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Standar Kebutuhan Air Berdasarkan Jenis Kota Dan Jumlah Penduduk

Jumlah Penduduk	Kategori Kota	Kebutuhan Air (liter / orang / hari)
>2 000 000	Metropolitan	>210
1 000.000 - 2 000 000	Metropolitan	150-210
500 000 - 1 000 000	Besar	120-150
100 000 - 500 000	Besar	100-150
20 000 - 100 000	Sedang	90-100
3 000 - 20 000	Kecil	60-100

Sumber: Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Dep. PU dalam Direktorat Pengairan dan Irigasi Bappenas,2006

2.3 Proyeksi Jumlah Penduduk

Untuk memproyeksikan jumlah penduduk pada tahun yang akan datang digunakan Metode Geometri Meningkat (*Geometrical Increase*). Dasar penggunaan metode ini berdasarkan skripsi Nuryansyah R yang mengambil buku (Anonim,1996:16) :

1. Data yang digunakan untuk penggunaan metode ini mencukupi.
2. Penggunaan metode ini telah banyak diterapkan di negara yang sedang berkembang dan hasilnya cukup meyakinkan.

Persamaan yang digunakan dalam metode Geometri Meningkat adalah sebagai berikut :

$$r = \left(\frac{P_o}{P_t} \right)^t - 1 \quad (2-1)$$

Dengan :

r = angka pertumbuhan penduduk

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun data

P_t = jumlah penduduk pada akhir tahun data

t = tahun

maka :

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

Dengan :

P_n : jumlah penduduk tahun n

p_o : jumlah penduduk pada awal tahun data

r : angka pertumbuhan penduduk

n : jangka waktu dalam tahun proyeksi

2.4 Analisa Aspek Teknis

2.4.1 Prediksi Debit Sungai dengan Metode NRECA

Model NRECA pertama kali dikenalkan oleh Norman H. Crawford (1985), dimana model ini merupakan model konsepsi yang bersifat deterministik, karena basisnya didasari atas teori. Untuk mengetahui ketersediaan air di sungai diperlukan data yang cukup panjang dan handal, sehingga informasi keragaman debit terhadap waktu dan kejadian debit rendah dan tinggi dapat tercakup dan mewakili kejadian-kejadian tersebut. Dengan data yang cukup panjang dapat digunakan analisa statistik untuk mengetahui gambaran umum secara kuantitatif besaran jumlah air dalam bentuk nilai statistik dasar seperti rata-rata, simpangan baku, kepeccengan, dan korelasi serial. Kenyataan di lapangan, data debit aliran biasanya hanya pendek dan kurang layak atau malah tidak ada. Salah satu cara untuk memperkirakan ketersediaan air dapat digunakan bantuan Model NRECA (Adidarma dan Mulyantari, 2003).

1. Struktur Model NRECA

Sebagai model deterministik, Model NRECA mempunyai pola masukan (*input*) yang diketahui sedangkan keluarannya (*output*) bersifat tertentu. Pada sungai yang tidak mempunyai pencatatan data aliran, data hujan dan evapotranspirasi potensial dapat digunakan untuk menghitung debit menjadi aliran yang berkesinambungan. Metode tersebut menggunakan data hujan dan evapotranspirasi potensial bulanan dan mentransformasikan menjadi aliran sesuai dengan periode yang diinginkan.

Debit aliran yang masuk, berasal dari hujan yang turun di dalam daerah tangkapan air (DTA). Sebagian dari hujan tersebut menguap, sebagian lagi turun mencapai permukaan tanah. Hujan yang turun ke permukaan tanah sebagian masuk ke dalam tanah akan mengisi pori-pori tanah, sebagian mengalir menuju alur sungai sebagai aliran bawah permukaan, sedangkan sisanya mengalir di atas permukaan tanah (limpasan permukaan). Jika pori sudah mengalami kejenuhan, air akan masuk ke dalam tampungan airtanah. Gerak air ini disebut perkolasi.

Dalam perhitungan Model NRECA, tampungan air tanah diperoleh dari kelebihan kelengasan, sedangkan kelengasan tanah itu sendiri dipengaruhi oleh curah hujan dan evapotranspirasi potensial yang terjadi. Tampungan air tanah

sedikit demi sedikit mengalir keluar sebagai mata air menuju alur sungai dan disebut dengan aliran dasar. Aliran air tanah ini merupakan tampungan air tanah akhir yang merupakan kumulatif dari tampungan air tanah dan tampungan air tanah awal.

Sisa dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan bersama aliran dasar bergerak masuk menuju alur sungai. Aliran total yang ada kemudian dikalikan dengan luas DAS, hasil dari perkalian keduanya merupakan keluaran dari Model NRECA yang berupa debit aliran sungai sesuai dengan periode yang direncanakan. Total debit aliran sungai dihitung dengan persamaan berikut (Adidarma dan Mulyantari, 2003):

$$Q = (DF + GF).A \quad (2-3)$$

dengan:

Q = total debit sungai (m³/detik)

A = luas DAS (km²)

$$NOM = 100 + 0,2 \times \text{hujan rata-rata tahunan} \quad (2-4)$$

Sr = *Storage ratio* (angka tampungan)

$$= \frac{SMS}{NOM} \quad (2-5)$$

P = *Precipitation*

= curah hujan bulanan rata-rata (mm)

PET = *Potensial Evapotranspiration*

= Evapotranspirasi Potensial (mm)

SMS = Soil Moisture Storage

SMS_n = Coba-coba (50)

$$SMS_{n+1} = SMS_n + D_{\text{storage}} \quad (2-6)$$

$$AET/PET = 1; \text{ jika } \frac{P}{PET} > 1 \text{ atau } Sr > 2 \quad (2-7)$$

$$= \left(\frac{P}{PET} \right) \times (1 - 0,5 \times Sr) + 0,5 \times Sr ; \text{ jika } \frac{P}{PET} < 1 \text{ atau } Sr < 2 \quad (2-8)$$

AET = *Actual Evapotranspiration* (evapotranspirasi aktual) (mm)

$$= PET \times (AET/PET) \quad (2-9)$$

excm = *excess soil moisture* / kelebihan kelengasan tanah (mm)

$$= \text{extrat} \times (P - AET) \quad (2-10)$$

extrat = *excess moisture ratio* / nilai banding kelengasan tanah

$$= 0,5 \times [1 + \tanh(2Sr - 2)], \text{ jika harga } Sr > 0 \quad (2-11)$$

$$= 0, \text{ jika harga } Sr < 0 \quad (2-12)$$

$$D_{\text{storage}} = P - AET - \text{excm.} \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned} \text{Rech} &= \text{infiltrasi atau imbuan ke tampungan airtanah (mm)} \\ &= \text{PSUB} \times \text{excm} \end{aligned} \quad (2-14)$$

$$\text{GWS}_{\text{awal } n} = \text{Coba-coba (950)}$$

$$\text{GWS}_{\text{awal } n+1} = \text{GWS}_{\text{akhir}} - \text{GF} \quad (2-15)$$

$$\begin{aligned} \text{GWS}_{\text{akhir}} &= \text{Ground Water Storage / tampungan airtanah (mm)} \\ &= \text{Rech} + \text{GWS}_{\text{awal}} \end{aligned} \quad (2-16)$$

$$\begin{aligned} \text{GF} &= \text{Groundwater Flow / aliran airtanah (mm)} \\ &= \text{GWF} \times \text{GWS}_{\text{akhir}} \end{aligned} \quad (2-17)$$

$$\begin{aligned} \text{DF} &= \text{Direct Runoff / limpasan langsung (mm)} \\ &= \text{excm} - \text{Rech} \end{aligned} \quad (2-18)$$

2. Parameter Model NRECA

Parameter yang digunakan dalam Model NRECA adalah PSUB (*Percent Sub Surface*), GWF (*Ground Water Flow*), NOM (Nominal), SMS (*Soil Moisture Storage*), dan GWS (*Ground Water Storage*). PSUB merupakan parameter model yang menggambarkan bagian dari kelebihan air yang menjadi imbuan. Sisanya mengalir sebagai aliran langsung yang terdiri dari aliran permukaan dan aliran bawah permukaan. Tampungan air tanah menampung air imbuan tersebut yang dikeluarkan menjadi aliran dasar di sungai. Besarnya aliran dasar yang dikeluarkan adalah GWF kali jumlah tampungan, dengan demikian GWF nilainya lebih kecil dari satu. Makin besar GWF makin banyak air yang dikeluarkan dari tampungan sehingga air tampungan akan cepat habis, begitu pula sebaliknya. Sehingga dapat didefinisikan bahwa GWF adalah persentase limpasan tampungan airtanah yang menuju ke sungai. NOM merupakan indeks atau petunjuk dari kapasitas tampungan kelengasan tanah (*soil moisture storage*) pada DAS. SMS merupakan nilai awal dari tampungan kelengasan tanah sedangkan GWS merupakan nilai awal dari tampungan airtanah. Batasan-batasan untuk parameter Model NRECA adalah sebagai berikut (Adidarma dan Mulyantari, 2003):

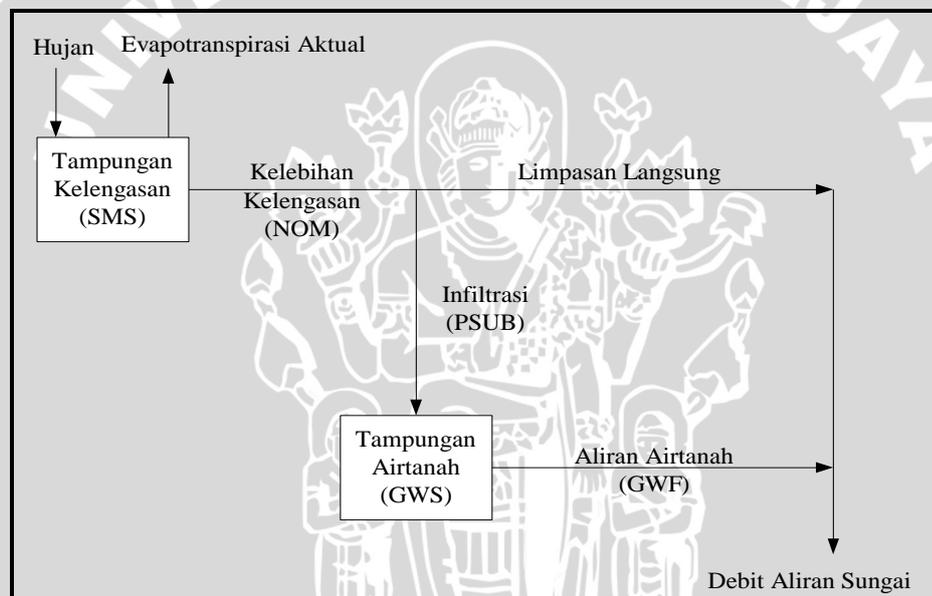
$$\text{a. PSUB : } 0,3 \leq \text{PSUB} \leq 1,0$$

$$\text{b. GWF : } 0,1 \leq \text{GWF} \leq 0,8$$

- c. SMS : tidak ada batasan (*unbounded*)
- d. GWS : tidak ada batasan (*unbounded*)

Kombinasi parameter PSUB dan GWF memegang peranan penting dalam menentukan hidrograf aliran di sungai yang merupakan penjumlahan antara debit limpasan langsung (*direct runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*). Diagram Model NRECA ini dapat dilihat pada gambar 2.1 (Adidarma dan Mulyantari, 2003).

Model NRECA banyak digunakan untuk memprediksi besarnya debit aliran sungai apabila tidak tersedia data pengamatan yang cukup. Selain kegunaan untuk prediksi, Model NRECA dapat dikembangkan pemakaiannya untuk menduga komponen-komponen neraca air dan merencanakan penggunaan lahan guna mewujudkan ketersediaan air yang merata sepanjang tahun.



Gambar 2.1 Struktur Model NRECA

Sumber: Adidarma dan Mulyantari, 2003

2.4.2 Analisa Curah Hujan

Curah hujan daerah atau wilayah harus berdasarkan perkiraan beberapa titik pengamatan curah hujan. Untuk menghitung curah hujan daerah berdasarkan luas daerah jangkauan dapat digunakan pedoman sebagai berikut (Sosrodarsono, Suyono, 1987:51):

1. Daerah dengan luas 250 ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur hujan.

2. Luas 250 ha – 50.000 ha dengan 2 atau 3 titik pengamatan dapat digunakan dengan cara rata-rata aljabar.
3. Untuk daerah antara 120.000 ha – 500.000 ha yang mempunyai titik pengamatan yang tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi, dapat digunakan cara rerata aljabar. Jika titik pengamatan tidak tersebar merata maka digunakan cara Thiesen.
4. Untuk daerah yang lebih besar dari 500.000 ha, dapat digunakan cara isohiet. Berdasarkan data curah hujan selama 10 tahun pada tiga stasiun hujan, dilakukan analisa data curah hujan yang diamati dari setiap titik (*point rainfall*)/ pos stasiun hujan menjadi curah hujan wilayah / daerah (*area rainfall*) adalah dengan menggunakan Metode Rerata Aljabar dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \quad (2-19)$$

Keterangan :

R = Curah hujan rerata tahunan (mm)

n = Jumlah stasiun yang digunakan

$R_1 + R_2 + R_3 + R_n$ = Curah hujan rerata tahunan di tiap titik pengamatan (mm)

Untuk perhitungan curah hujan andalan, data masukan untuk perhitungan yang digunakan adalah tahun dasar perencanaan R_{80} (Metode *Basic Year*). Hal tersebut berarti curah hujan yang terjadi sama atau lebih besar dari R_{80} yaitu 80%.

Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$R_{80} \text{ adalah urutan ke } \frac{n}{5} + 1 \quad (2-20)$$

Dengan:

n = banyaknya tahun pengamatan curah hujan

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Curah hujan tahunan selama n tahun diurutkan dari kecil ke besar.
2. Dengan persamaan 2-4 didapatkan urutan curah hujan yang diambil sebagai curah hujan efektif.
3. R_{80} yang didapatkan merupakan tahun dasar perencanaan.

2.4.3 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan total yang digunakan oleh tanaman selama masa pertumbuhan. Besarnya curah hujan efektif dipengaruhi oleh cara pemberian air irigasi, laju pengurangan air genangan, kedalaman lapisan air yang dipertahankan, jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air.

Berdasarkan pengertian di atas, maka perlu dibedakan antara curah hujan efektif dengan curah hujan nyata:

1. Curah hujan nyata adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dalam kurun waktu tertentu.
2. Curah hujan efektif adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya.

Nilai curah hujan efektif untuk masing-masing tanaman adalah sebagai berikut (Anonim, 1986:10):

1. Untuk tanaman padi, curah hujan efektif ditentukan sebesar 70% dari curah hujan 15 harian yang terlampaui 80% dari waktu dalam periode tersebut. Dirumuskan sebagai berikut:

$$R_e = 0,7 \times R_{80} \quad (2-21)$$

2. Untuk tanaman palawija, curah hujan efektif adalah 50% dari curah hujan bulanan. Dirumuskan sebagai berikut:

$$R_e = 0,5 \times R_{80} \quad (2-22)$$

dimana:

R_e = curah hujan efektif (mm)

R_{80} = curah hujan rancangan dengan probabilitas 80% (mm)

R_{50} = curah hujan rancangan dengan probabilitas 50% (mm)

2.4.4 Kebutuhan Air Irigasi

Setiap tanaman memerlukan air dalam jumlah yang berbeda menurut macam dan usia tanaman agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air irigasi adalah:

1. Evapotranspirasi
2. Koefisien tanaman
3. Penggunaan air konsumtif

4. Perkolasi
5. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan
6. Penggantian lapisan air
7. Curah hujan efektif
8. Kebutuhan air tanaman

Perhitungan kebutuhan air irigasi pada daerah persawahan diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Anonim, 1986:5):

- a. Untuk tanaman padi

$$\text{NFR} = \text{ET} + \text{WLR} + \text{IR} + \text{P} - \text{Re} \quad (2-23)$$

- b. Untuk tanaman palawija

$$\text{NFR} = \text{ET} + \text{P} - \text{Re} \quad (2-24)$$

Dengan:

NFR = Kebutuhan air di sawah ($1\text{mm/hari} \times 10.000/24 \times 60 \times 60 = 1$) (lt/dt/ha)

ET = Kebutuhan air tanaman (mm/hari)

WLR = Kebutuhan air untuk pengolahan tanah (mm/hari)

IR = Kebutuhan air untuk pembibitan (mm/hari)

P = Perkolasi (mm/hari)

Re = Curah hujan efektif (mm/hari)

2.4.4.1 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 (Suyono dan Takeda, 2003:57).

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, 1986:43):

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):

$$E_o = \frac{\Delta H / 60 + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (2-25)$$

dimana:

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

H = *head budget*

Δ = 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):

$$R_C = R_A \times [a + b \times (n/D)] \quad (2-26)$$

dimana:

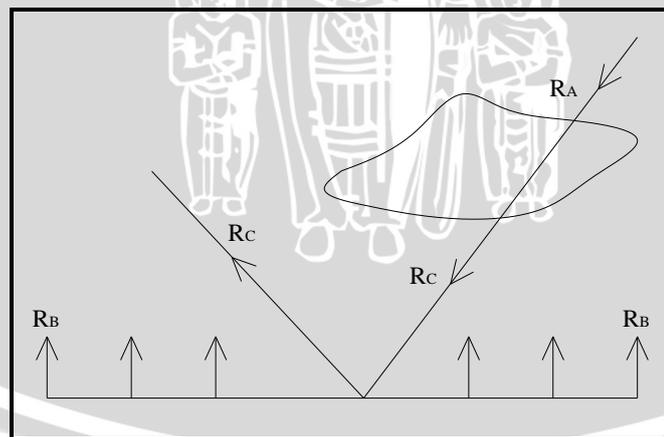
R_C = radiasi gelombang pendek yang diterima bumi (kalori/cm²/hr)

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
= rasio keawanan

n = jumlah jam yang sebenarnya dalam 1 hari matahari bersinar

D = jumlah jam yang dimungkinkan dalam 1 hari matahari bersinar



Gambar 2.2 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):

$$R_I = R_C \times (I - r) \quad (2-27)$$

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):

$$R_B = \sigma \times T_a^4 \times (0,45 - 0,77 \times \sqrt{e_a}) \times [0,2 + 0,8 \times (n/D)] \quad (2-28)$$

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):

$$H = R_I - R_B \quad (2-29)$$

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,1986:44):

- Adanya persediaan air yang cukup (hujan dan lain-lain).
- Faktor-faktor iklim seperti suhu, kelembaban, dan lain-lain.
- Tipe 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):

$$ET_o = c \times E_{to}^* \quad (2-30)$$

$$E_{to}^* = W \times (0,75 \times R_s - R_{n1}) + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d) \quad (2-31)$$

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)

$$= (0,25 + 0,54 \times n/N) \times R_a \quad (2-32)$$

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)

$$Rn_1 = \text{radiasi bersih gelombang panjang (mm/hr)}$$

$$= f(t) \times f(ed) \times f(n/N) \quad (2-33)$$

$$f(t) = \text{fungsi suhu}$$

$$f(ed) = \text{fungsi tekanan uap}$$

$$= 0,34 - [0,044 \times (ed)^{0,5}] \quad (2-34)$$

$$f(n/N) = \text{fungsi kecerahan}$$

$$= 0,1 + [0,9 \times (n/N)] \quad (2-35)$$

$$f(u) = \text{fungsi kecepatan angin (m/dt)}$$

$$= 0,27 (1 + 0,864 \times u) \quad (2-36)$$

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

$$ed = \text{tekanan uap jenuh}$$

$$= ea \times RH \quad (2-37)$$

$$ea = \text{tekanan uap sebenarnya}$$

$$RH = \text{kelembaban udara relatif (\%)}$$

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 (ea), (W), dan $f(t)$ dengan Tabel 2.3.
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 (R_a) dengan Tabel 2.4.
8. Cari data kecerahan matahari (n/N)
9. Berdasar nilai (R_a) dan (n/N) cari besaran (R_s)
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) dengan Tabel 2.5.

15. Berdasar besaran nilai W , $(1-W)$, R_s , R_{n1} , $f(u)$, ea , dan ed yang telah didapat hitung ET_o^*
16. Hitung E_t

Tabel 2.3 Hubungan Suhu (t) dengan nilai ea , W dan $f(t)$

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Ea (mbar)	W	f(t)
24.0	29.85	0.74	15.40
24.2	30.21	0.74	15.45
24.4	30.57	0.74	15.50
24.6	30.94	0.74	15.55
24.8	31.31	0.74	15.60
25.0	31.69	0.75	15.65
25.2	32.06	0.75	15.70
25.4	32.45	0.75	15.75
25.6	32.83	0.75	15.80
25.8	33.22	0.75	15.85
26.0	34.62	0.76	15.90
26.2	34.02	0.76	15.94
26.4	34.42	0.76	15.98
26.6	34.83	0.76	16.02
26.8	35.83	0.76	16.06
27.0	35.25	0.77	16.10
27.2	35.66	0.77	16.14
27.4	36.09	0.77	16.18
27.6	36.50	0.77	16.22
27.8	36.94	0.77	16.26
28.0	37.37	0.78	16.30
28.2	38.25	0.78	16.34
28.4	38.70	0.78	16.38
28.6	39.14	0.78	16.42
28.8	39.61	0.78	16.46
29.0	40.06	0.79	16.50

Sumber: (Suhardjono, 1994:54)

Table.2.4 Besar Nilai Angot (Ra) Untuk Daerah Indonesia Antara 50 LU Sampai 100 LS dalam mm/hr

Bulan	Lintang Utara				Lintang Selatan				
	5	4	2	0	2	4	6	8	10
Januari	13.0	14.3	14.7	15.0	15.3	15.5	15.8	16.1	16.1
Februari	14.0	15.0	15.3	15.5	15.7	15.8	16.0	16.1	16.0
Maret	15.0	15.5	15.6	15.7	15.7	15.6	15.6	15.5	15.3
April	15.1	15.5	15.3	15.3	15.1	14.9	14.7	14.4	14.0
Mei	15.3	14.9	14.6	14.4	14.1	13.8	13.4	13.1	12.6
Juni	15.0	14.4	14.2	13.5	13.5	13.2	12.8	12.4	12.0
Juli	15.1	14.6	14.3	13.7	13.7	13.4	13.1	12.7	11.8
Agustus	15.3	15.1	14.9	14.5	14.5	14.3	14.0	13.7	12.2
September	15.1	15.3	15.3	15.2	15.2	15.1	15.0	14.9	13.3
Oktober	15.7	15.1	15.3	15.5	15.5	15.6	15.7	15.8	14.6
November	14.8	14.5	14.8	15.3	15.3	15.5	15.8	16.0	15.6
Desember	14.6	14.6	14.4	15.1	15.1	15.4	15.7	16.0	16.0

Sumber: (Suhardjono, 1994:55)

Table 2.5 Besaran Angka Koreksi (c) Bulanan

Bulan	Angka Koreksi (c)		
	Blaney-Criddle	Radiasi	Penman
Januari	0.80	0.80	1.10
Februari	0.80	0.80	1.10
Maret	0.75	0.75	1.00
April	0.75	0.75	0.90
Mei	0.70	0.70	0.90
Juni	0.70	0.70	0.90
Juli	0.75	0.75	0.90
Agustus	0.75	0.75	1.00
September	0.80	0.80	1.10
Oktober	0.80	0.80	1.10
November	0.83	0.83	1.10
Desember	0.83	0.83	1.10

Sumber: (Suhardjono, 1994:55)

2.4.4.2 Koefisien Tanaman

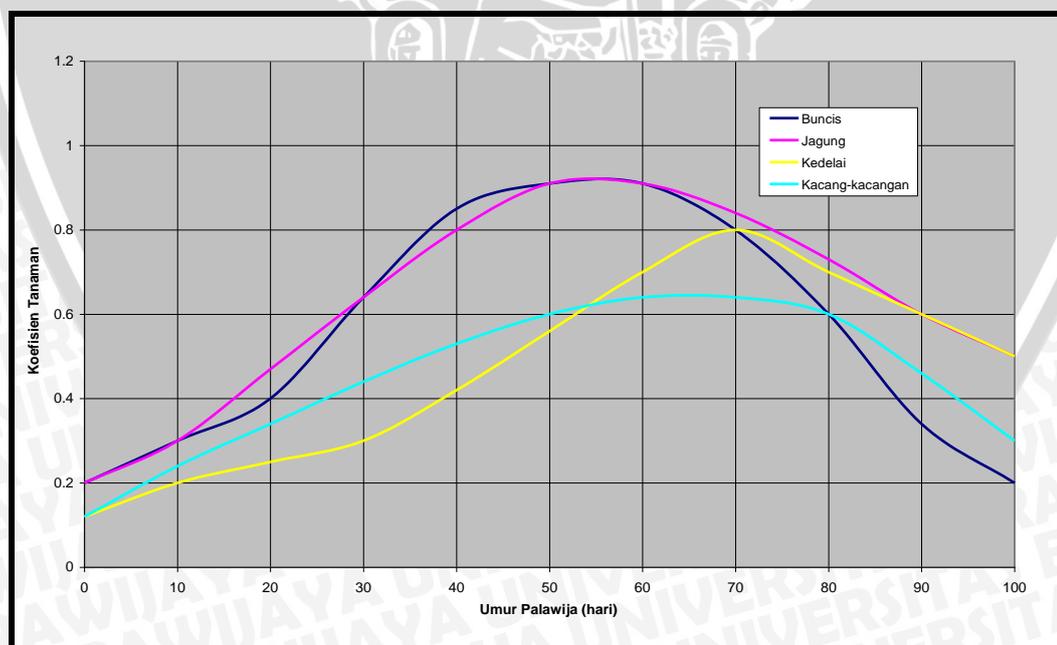
Koefisien tanaman sangat erat hubungannya dengan awal masa tanam, jenis tanaman dan varietas tanaman. Nilai koefisien tanaman untuk tanaman padi dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 2.6 Harga Koefisien Tanaman Padi

Bulan Ke	Nedeco/Prosida		F A O	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0.5	1.20	1.20	1.10	1.10
1	1.20	1.27	1.10	1.10
1.5	1.32	1.33	1.10	1.05
2	1.40	1.30	1.10	1.05
2.5	1.35	1.30	1.10	1.05
3	1.24	0.00	1.05	0.95
3.5	1.12	0.00	0.95	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00

Sumber: (Anonim, 1986:164)

Sedangkan untuk tanaman palawija, nilai koefisien tanaman adalah seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.3 Koefisien Tanaman Palawija

Sumber: Anonim, Dirjen Pengairan, Bina Program PSA. 010, 1985

2.4.4.3 Penggunaan Air Konsumtif

Penggunaan air konsumtif oleh tanaman diperkirakan berdasarkan metode prakira empiris dengan menggunakan data iklim, koefisien tanaman pada tahap pertumbuhan, seperti dinyatakan di bawah ini (Anonim, 1987:6):

$$ET_C = K_C \times ET_o \quad (2-38)$$

dimana:

K_C = koefisien tanaman

ET_o = evaporasi potensial (mm/hr)

2.4.4.4 Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zona tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah di bawah permukaan air tanah) (Soemarto, 1987:80).

Laju perkolasi sangat bergantung pada sifat-sifat tanah. Pada tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3 mm/hr. Pada tanah-tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi (Anonim, 1986:165).

Perkolasi dibedakan berdasarkan kemiringan dan tekstur tanah. Berdasarkan kemiringan, lahan dibedakan menjadi lahan datar dengan perkolasi 1 mm/hari dan lahan miring > 5% dengan perkolasi 2-5 mm/hari. Berdasarkan tekstur, tanah dibedakan menjadi tanah berat (lempung) perkolasi 1-2 mm/hari, tanah sedang (lempung berpasir) perkolasi 2-3 mm/hari dan tanah ringan dengan perkolasi 3-6 mm/hari.

2.4.4.5 Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Untuk menghitung kebutuhan air selama masa penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra. Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut (Anonim, 1986:160):

$$IR = M \times \frac{e^k}{(e^k - 1)} \quad (2-39)$$

$$M = E_o + P \quad (2-40)$$

$$k = M \times \frac{T}{S} \quad (2-41)$$

dimana:

IR = kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan (mm/hr)

M = kebutuhan air pengganti kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah dijenuhkan (mm/hr)

Eo = evaporasi air terbuka (diambil $1,1 \times ETo$) (mm/hr)

$$k = \frac{M \times T}{S}$$

P = perkolasi (mm/hr)

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = kebutuhan air untuk penjenuhan (mm)

Tabel 2.7 Kebutuhan Air Irigasi Untuk Penyiapan Lahan

Eo + P (mm/hr)	T 30 hari		T 45 hari	
	S250 mm	S 300 mm	S250 mm	S 300 mm
5.0	11.1	12.7	8.4	9.5
5.5	11.4	13.0	8.8	9.8
6.0	11.7	13.3	9.1	10.1
6.5	12.0	13.6	9.4	10.4
7.0	12.3	13.9	9.8	10.8
7.5	12.7	14.2	10.1	11.1
8.0	13.0	14.5	10.5	11.4
8.5	13.3	14.8	10.8	11.8
9.0	13.6	15.2	11.2	12.1
9.5	14.0	15.5	11.6	12.5
10.0	14.3	15.8	12.0	12.9
10.5	14.7	16.2	12.4	13.2
11.0	15.0	16.5	12.8	13.6

Sumber: (Anonim, 1986:161)

2.4.4.6 Penggantian Lapisan Air

Penggantian ini dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan air yang terputus akibat kegiatan di sawah. Adapun ketentuan di dalam melakukan penggantian lapisan air adalah sebagai berikut (Anonim, 1986:165):

1. Setelah pemupukan diusahakan untuk menjadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan.

2. Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, lakukan penggantian sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hr selama setengah bulan) selama satu bulan dan dua bulan setelah transplantasi.

2.4.4.7 Analisis Neraca Air

Perhitungan neraca air dilakukan untuk memeriksa apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan di daerah yang bersangkutan. Analisis neraca air dalam perencanaan embung kali ini di hitung dengan menggunakan metode simulasi waduk. Persamaan yang digunakan adalah kontinuitas tampungan (*mass storage equation*) yang memberi hubungan antara masukan, keluaran dan perubahan tampungan.

Persamaan secara matematika simulasi kapasitas tampungan embung dinyatakan, sebagai berikut

$$S_t = S_{t-t} + I - D \quad (2-42)$$

Dengan :

S_t : Tampungan embung akhir satuan waktu

S_{t-t} : Tampungan embung pada awal satuan waktu t

I : inflow embung pada periode t

D : Outflow embung pada periode t

Periode waktu yang umum dalam simulasi waduk adalah satu bulan, tetapi periode yang lain juga dapat dipakai. Aliran yang masuk sebagai *inflow* dalam neraca air ini merupakan jumlah dari perkiraan debit aliran bulanan dan hujan efektif bulanan. Teori untuk menentukan perkiraan debit aliran bulanan dan hujan efektif bulanan seperti yang telah dijelaskan.

Sedangkan *outflow* dalam simulasi embung ini adalah kebutuhan air untuk penduduk dan kebutuhan irigasi.

2.4.4.8 Manfaat Irigasi

Manfaat irigasi merupakan manfaat bersih dari hasil pertanian. Manfaat bersih perhektar yaitu pendapatan produksi pertanian dikurangi total biaya produksi.

Langkah-langkah menghitung manfaat air bersih beserta peningkatannya selama setahun, yaitu :

1. Mencari data harga satuan biaya produksi (bibit, pupuk dan lain-lain).
2. Menentukan berapa banyak jumlah bibit, pupuk dan lain-lain per hektar yang digunakan dalam satu tahun.
3. Menghitung biaya produksi dengan mengalikan harga satuan dengan jumlah bahan yang dibutuhkan.
4. Masing-masing biaya produksi untuk bibit, pupuk dan lain-lain dijumlahkan semua untuk mendapatkan total biaya.
5. Mencari data hasil produksi perhektar (t/ha/thn) dan harga satuan (Rp/t/thn).
6. Menentukan per ha dengan mengalikan hasil produksi per ha dengan harga satuan produksi.
7. Pendapatan per hektar yaitu produksi dikurangi total biaya.
8. Manfaat bersih adalah pendapatan per hektar dikalikan luas daerah irigasi.
9. Peningkatan manfaat bersih dengan adanya proyek per tahun yaitu selisih antara manfaat bersih tanpa proyek dan dengan proyek.

2.5 Evaluasi Ekonomi

Di samping analisis atau evaluasi secara ekonomis (*Economic analysis*), suatu proyek biasanya juga di bahas dari segi fisiknya (*Physical analysis*) dan finansialnya. Analisis fisik keadaan fisik proyek itu sendiri, sedangkan analisis finansial melihat keadaan proyek dari arus pemasukan dan pengeluaran dana (*cash flows*). Analisis finansial lebih banyak menggunakan analisis rasio (*Ratio analysis*). Analisis rasio ini sering di pakai sebagai dasar pertimbangan untuk mengambil keputusan perusahaan-perusahaan swasta dan pemerintah. Berdasarkan skripsi Nuryansyah R yang mengambil buku (Pudjosumarto. 1984 : 11)

Tujuan analisis proyek:

1. Analisis dapat digunakan sebagai alat perencanaan di dalam pengambilan keputusan, baik oleh pemimpin pelaksana proyek, pejabat, atau pemberi bantuan kredit dan lembaga lain yang berhubungan dengan proyek tersebut.
2. Analisis dapat digunakan sebagai pedoman dalam pengawasan apakah proyek dapat berjalan sesuai dengan rencana atau tidak.

Aspek-aspek dalam evaluasi proyek :

- Aspek teknis
- Aspek managerial, organisasi dan institusi
- Aspek sosial
- Aspek finansial
- Aspek ekonomis

Analisis proyek ini biasanya lebih menitik beratkan pada analisis aspek finansial dan analisis aspek ekonomisnya, walaupun sebenarnya aspek-aspek lain juga diperlukan.

Analisis ekonomi adalah analisis yang melihat suatu proyek dari sudut perekonomian secara keseluruhan. Dengan demikian yang diperhatikan dalam analisis ekonomi ini adalah hasil total atau productifikasi suatu proyek untuk masyarakat atau perekonomian secara keseluruhan. Hasil analisis ekonomi di sebut dengan “*the sosial returns*” atau “*the economic returns*”.

Dalam analisis ekonomi harga yang dipakai pedoman adalah *shadow price* Atau *accounting price*, pembayaran pajak tidak dikurangkan dalam perhitungan *benefit* dari suatu proyek, besarnya subsidi harus ditambahkan (*adjusted*) pada harga pasar barang-barang input. Besarnya modal biasanya tidak dipisahkan atau dikurangkan dari hasil *kotor*.

2.6 Manfaat (benefit) proyek

Dalam pengembangan sumberdaya air manfaat proyek dapat dibedakan atas manfaat langsung atau manfaat utama (*Direct / main benefits*) dan manfaat tidak langsung (*Indirect Benefit* atau *Secondary Benefit*). Direct benefit adalah manfaat yang langsung dapat dinikmati setelah proyek selesai, misalnya tersedianya tenaga listrik, pengurangan kerugian akibat dari bencana banjir atau peningkatan produksi pertanian. Manfaat tidak langsung adalah manfaat yang akan dinikmati secara berangsur-angsur dan dalam jangka waktu panjang. (Adhi Suyanto, 2001:65).

Benefit dari proyek terdiri dari (Kadirah- Lien Karlina – Clive Gray,1976:4):

1. Manfaat langsung (*Direct Benefits*)

Manfaat langsung adalah manfaat yang langsung dapat diperoleh dari suatu proyek yang berupa :

- Kenaikan dalam output fisik

- Perbaikan mutu produk (*Quality Improvement*)
- Perubahan dalam lokasi dan waktu penjualan
- Perubahan dalam bentuk (*Grading and Processing*)
- Penurunan biaya (*Cost*)
- Keuntungan dari mekanisasi

2. Manfaat tak langsung (*Indirect Benefit* atau *Secondary Benefit*)

Manfaat tak langsung adalah manfaat yang timbul atau dirasakan di luar proyek karena adanya realisasi suatu proyek. Ada tiga macam manfaat tak langsung (*Indirect Benefit*), yaitu :

- Manfaat yang “*induced*” oleh proyek, yang biasa disebut *multiplier effect* dari proyek
- Manfaat yang disebabkan karena adanya “*Economics of scale*”
- Manfaat yang ditimbulkan karena adanya “*Dynamic Secondary Effect*”
- Misalnya berupa perubahan dalam produktivitas tenaga kerja yang disebabkan oleh perubahan kesehatan atau keahlian (*health and education*)

3. Manfaat nyata (*Tangible Benefit*)

Manfaat nyata (*Tangible Benefit*) adalah manfaat nyata yang dapat diukur dalam bentuk suatu nilai uang.

4. Manfaat tidak nyata (*Intangible Benefit*)

Manfaat tidak nyata (*Intangible Benefit*) adalah merupakan manfaat yang sulit dinilai dengan uang, seperti :

- Perbaikan lingkungan hidup
- Perbaikan pemandangan
- Perbaikan distribusi pendapatan
- Integritas nasional
- Pertahanan nasional

2.7. Hubungan Manfaat – Biaya

Menurut (Kuiper,1973:131), ada tiga parameter yang sering dipakai dalam analisis manfaat dan biaya, yaitu :

- 1.Perbandingan Manfaat dan Biaya (*Benefit Cost Ratio* atau B/C)
- 2.Selisih Manfaat dan Biaya (*Net Benefit* atau B-C)

3. Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return* atau IRR)

2.7.1. Perbandingan Manfaat dan Biaya (*Benefit Cost Ratio* atau B/C)

Kenyataan yang ada dilapangan, yang dipakai adalah B/C karena sesungguhnya biaya oprasional dan pemeliharaan (OP) merupakan bagian dari biaya keseluruhan biaya proyek yang harus dikeluarkan. Disamping itu pendapatan tunai atau manfaat bertambah secara akumulatif pada suatu kelompok social yang jadi objek perencanaan. Misalnya, dengan adanya proyek adalah lokasi dari kelompok tersebut yang menjadi aman dari banjir dengan periode ulang tertentu.

Sedangkan biaya proyek termasuk OP merupakan produk dari kelompok lain (pemerintah misalnya) akibat membangun suatu bangunan tertentu yang membutuhkan biaya OP agar umur proyek dapat terpenuhi. Oleh sebab itu pengurangan OP dari biaya proyek atau sebagai komponen pengurangan dari biaya manfaat suatu tipuan dalam memperbesar ratio manfaat dan biaya (B/C).

2.7.2. Selisih Manfaat dan Biaya (*Net Benefit* atau B-C)

Pada perhitungan B-C tidak ada pengaruh dengan mengurangi biaya O & P dari biaya proyek karena hasilnya akan sama. Maka tinggi tingkat suku bunga, maka selisih manfaat dan biaya akan semakin kecil.

2.7.3. Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return* atau IRR)

Tingkat pengembalian internal dapat didefinisikan sebagai tingkat suku bunga yang membuat manfaat dan biaya mempunyai nilai yang sama atau $B-C = 0$ atau tingkat suku bunga yang membuat $B/C = 1$. Bila biaya dan manfaat tahunan konstan, perhitungan Tingkat Pengembalian Internal dapat dilakukan dengan dasar tahunan, tapi bila tidak konstan dapat dilakukan dengan dasar nilai keadaan sekarang (*present value*) dan dicari dengan coba-coba (*trial and error*). Parameter Tingkat Pengembalian Internal tidak terpengaruh dengan bunga komersil yang berlaku, sehingga sering disebut dengan istilah *Internal Rate of Return* . Bila besarnya Tingkat Pengembalian Internal ini sama dengan besarnya bunga komersil yang berlaku maka proyek dikatakan impas, namun bila lebih besar dikatakan proyek ini menguntungkan.

Dari tiga parameter diatas tidak ada yang paling baik, karena pada suatu kondisi dengan analisis yang mendetail akan didapatkan salah satu parameter yang

akan dipakai. Disamping itu sering terjadi konsistensi mengenai hubungan ketiga parameter itu, sehingga bias terjadi IRR besar tetapi B/C nya kecil atau sebaliknya, bias terjadi pula B/C besar tetapi B-C minimum.

2.8 Biaya Proyek

Biaya proyek dapat dibedakan menjadi dua (Kodoatie. 2002), yaitu :

1. Biaya Modal (*Capital Cost*)

Biaya modal (*Capital Cost*) adalah semua pengeluaran yang dibutuhkan mulai dan pra studi sampai proyek selesai dibangun. Semua pengeluaran yang termasuk biaya modal dibagi menjadi dua bagian :

- Biaya langsung (*Direct Cost*)

Biaya ini merupakan biaya yang diperlukan untuk pembangunan suatu proyek. Biaya ini terdiri dari biaya pembebasan tanah dan biaya konstruksi.

- Biaya tak langsung (*Indirect Cost*)

a. Kemungkinan/ hal yang tidak diduga (*Contingencies*) dari biaya langsung. Kemungkinan/ hal yang tidak pasti ini bila dikelompokkan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

i. Biaya/ pengeluaran yang makin timbul, tetapi tidak pasti

ii. Biaya yang makin timbul, namun belum terlihat

iii. Biaya yang mungkin timbul, akibat tidak tetapnya pada waktu yang akan datang (misal adanya kenaikan harga) atau disebut eskalasi. Biasanya biaya untuk ini merupakan suatu angka prosentase dari biaya langsung, misalnya 5%, 10%, 15%. Hal ini sangat tergantung pada pihak pemilik dan perencana. Semakin berpengalaman pemilik atau perencana, besarnya prosentase ini lebih kecil.

b. Biaya teknik/ *Engineering cost*, biaya teknik adalah biaya untuk pembuatan desain mulai dari studi awal (*preliminary study*), pra studi kelayakan, studi kelayakan, biaya perencanaan dan biaya pengawasan selama waktu pelaksanaan konstruksi. Bunga (*Interest*), dari periode waktu dari ide sampai pelaksanaan fisik, bunga berpengaruh terhadap biaya langsung, biaya kemungkinan dan biaya teknik

2. Biaya Tahunan (*Annual Cost*)

Waktu sebuah proyek selesai dibangun merupakan waktu awal dari proyek sesuai dengan rekayasa teknik yang telah dibuat pada waktu detail desain. Biaya tahunan ini merupakan beban yang masih harus di tanggung oleh pihak pemilik/ investor. Pada prinsipnya biaya yang masih diperlukan sepanjang umur proyek yang merupakan biaya tahunan (A) terdiri dari tiga komponen, yaitu :

- Bunga, biaya ini merupakan penyebab terjadinya perubahan biaya modal karena adanya tingkat suku bunga selama umur proyek. Besarnya bisa berbeda dengan bunga selama waktu dari ide sampai pelaksanaan fisik selesai. Bunga merupakan komponen terbesar yang diperhitungkan terhadap biaya modal.
- Depresiasi atau amortisasi, dua istilah ini hampir sama tetapi berbeda fungsi. Depresiasi adalah turunnya/ penyusutan suatu harga/ nilai dari sebuah benda karena pemakaian dan kerusakan atau keusangan benda itu. Amortisasi adalah pembayaran dalam suatu periode tertentu (tahunan misalnya) sehingga hutang yang ada akan tersebar lunas pada akhir periode tersebut.
- Biaya operasi dan pemeliharaan, untuk dapat memenuhi umur proyek sesuai dengan yang direncanakan pada detail desain, maka diperlukan biaya untuk operasi dan pemeliharaan proyek tersebut yang harus dikeluarkan setiap tahunnya.

Diantara berbagai macam biaya, khususnya biaya finansial hubungan dengan terwujudnya suatu proyek, maka bagian terbesar harus diperhatikan dalam membandingkan antara benefit proyek dengan biaya ekonomis yang dikeluarkan untuk proyek tersebut. Tetapi ada juga yang hendaknya diabaikan dalam mengadakan analisis benefit-cost yang bertujuan meletakkan dasar untuk keputusan dilaksanakan tidaknya suatu proyek (Kadirah- Lien Karlina – Clive Gray, 1976:6). Misalnya :

1. Sunk Cost

Sunk Cost adalah biaya yang telah dikeluarkan pada masa lalu untuk sebuah proyek sebelum proyek dilaksanakan, atau biaya yang sudah dikeluarkan sebelum diambil keputusan untuk menjalankan proyek. Biasanya ini tidak dihitung dalam evaluasi proyek, dan tidak mempengaruhi pilihan proyek.

2. Penyusutan

Penyusutan atau depresiasi adalah pengalokasian biaya investasi suatu proyek pada setiap tahun sepanjang umur ekonomis tersebut, demi menjamin agar angka biaya operasi yang dimasukkan dalam neraca rugi-laba tahunan banar-banar mencerminkan adanya biaya modal itu. Tetapi penyusutan sendiri tidaklah mengandung unsur pengeluaran uang ataupun sumber riil, sebaliknya yang merupakan pengeluaran sehubungan dengan pemakaian faktor modal dalam suatu proyek ialah investasi semula atau dalam syarat-syarat tertentu perlunasan pembiayaan proyek beserta bunganya.

3. Perlunasan beserta bunganya

Dimasukkan tidaknya pengeluaran angsuran dan bunga dalam biaya ekonomi bergantung pada apakah ada beban sosial yang di anggap harus ditanggung masyarakat sehubungan dengan perlunasan pembiayaan suatu proyek. Adapun biaya-biaya investasi suatu proyek dapat diperhitungkan pada waktu :

- a. Investasi tersebut dikeluarkan, cara perhitungan akan timbul pada proyek-proyek yang dana investasinya X. Artinya dana investasi yang tersedia itu masih punya kemungkinan lain untuk digunakan pada proyek-proyek yang menguntungkan bagi masyarakat.
- b. Pinjaman untuk investasi dilunasi beserta bunganya, cara perhitungan ini akan timbul apabila suatu proyek X dibiayai dengan pinjaman/ kredit yang terikat. Yaitu kredit/ pinjaman yang hanya diberikan untuk suatu proyek tertentu dan akan dibatalkan pemberiannya jika proyek tersebut tidak dilaksanakan. Untuk jenis semacam ini beban sosial (*Economic Cost*) yang diperhitungkan bukanlah jumlah investasi, akan tetapi berdasarkan jumlah angsuran dan bunga yang mulai dilakukan dan harus di bayar. Jadi, *social opportunity cost* pelaksanaan investasi dalam proyek dibebankan pada waktu pembiayaannya, dilunasi pada saat yang akan datang, dan bukan pada saat dilaksakannya proyek tersebut.

4. *Engineering and Feasibility Studies*

Engineering studies meliputi :

- a. *Preliminary Design* biaya-biaya untuk *feasibility study* termasuk *preliminary design* tidak diperhitungkan dalam biaya investasi dari

proyek yang sedang dipelajari atas dasar *feasibility study* tersebut, Sebab dianggap merupakan *sunk cost*.

b. *Final design*

Biaya-biaya yang nanti akan dikeluarkan untuk membuat *final design* perlu dimasukkan dalam biaya investasi, karena *final design* dibuat baru sesudah ada keputusan bahwa proyek ini dilaksanakan. Namun apabila *final design* itu dibiayai dengan *supplier* kredit, maka nilai yang akan dimasukkan dalam biaya proyek adalah besarnya angsuran kredit tersebut

5. Tanah

Biaya untuk ini diperhitungkan apabila ada pengorbanan produksi (*production foregone*) yaitu bila tanah digunakan untuk proyek tersebut merupakan tanah yang memberikan hasil, misalnya : tanah sawah, perkebunan dan sebagainya, maka yang dihitung adalah *net present value* dari produksi yang dikorbankan itu harga pasarlah yang biasanya digunakan sebagai pegangan menilai output tanah tersebut.

6. Biaya konstruksi atau pengadaan peralatan

- Peralatan adalah termasuk segala peralatan yang digunakan dalam pengerjaan proyek tersebut. Jika nilai peralatan tersebut terdapat peralatan yang harus diimpor, maka perlu diperhatikan untuk menerapkan atau tidak menerapkannya *shadow price* dari devisa
- Bahan-bahan adalah segala bahan yang diperlukan dalam kegiatan proyek. Harga yang digunakan untuk menilai bahan-bahan tersebut adalah harga yang berlaku.
- Tenaga kerja (gaji dan upah) yaitu tenaga kerja yang digunakan untuk mengerjakan suatu proyek. Proyek perlu dibedakan antara *skilled* dan *unskilled laboar* (tenaga terlatih dan tidak terlatih). Jika terdapat biaya yang digunakan untuk latihan boleh diperhitungkan sebagai *economic cost*. Biasanya di negara sedang berkembang, pembayaran gaji dan upah tidak mencerminkan nilai yang sebenarnya atau kadang-kadang lebih besar dari *social opportunity cost*, sehingga perlu adanya *shadow pricing*.

7. Bunga selama kontruksi

- Kadang-kadang biaya ini dihitung dan dimasukkan dalam jumlah investasi tetapi tidak dibayar sebelum proyek mulai, menghasilkan benefit (jadi biaya tersebut di “capitalize”). Dalam hal ini, maka bunga selama masa konstruksi tidak pernah dihitung sebagai biaya ekonomis. Bila biaya ini betul-betul harus bayar selama masa konstruksi, maka perlu diterapkan kriteria sebagai berikut.
- *Social opportunity cost* dari investasi dibebankan pada saat investasi tersebut dikeluarkan, maka pembayaran bunga selama masa konstruksi tidak diperhitungkan dalam biaya ekonomis
- *Social opportunity cost* dari investasi tersebut dianggap terdiri dari arus perlunasan hutang beserta bunganya selama waktu yang akan datang, maka pembayaran bunga tidak diperhitungkan dalam biaya ekonomis.
- *Social opportunity cost* dari investasi tersebut dianggap terdiri dari arus perlunasan hutang beserta bunganya selama waktu yang akan datang, maka pembayaran bunga selama masa konstruksi termasuk arus perlunasan tersebut dan perlu diperhitungkan sebagai biaya ekonomis.

8. Modal Kerja

Modal kerja adalah modal yang digunakan dan terikat dalam suatu proyek. Di dalam hal ini modal kerja tersebut sudah tidak dapat digunakan untuk tujuan inventasi yang lainnya. Dalam perhitungannya modal ini dimasukkan sebagai biaya tahunan pertama proyek tersebut berjalan.

9. Biaya operasi dan pemeliharaan

Biaya ini merupakan biaya yang harus dikeluarkan secara rutin dalam tiap tahunnya selama proyek mempunyai umur ekonomis, yang meliputi:

- Bahan baku (untuk bidang industri dan pertanian)
- Bahan bakar (seperti solar dan bahan lainnya)
- Air (*water*), listrik (*power*), dan telekomunikasi (telecommunication)
- Gaji dan upah atau tunjangan karyawan
- Dan biaya lainnya seperti biaya konsultan, keperluan kantor (*office suppliance*) dan sebagainya yang berhubungan dengan kegiatan proyek.

10. Biaya pembaharuan atau penggantian

Biaya ini adalah merupakan tambahan biaya-biaya yang diperlukan selama proyek tersebut berjalan. Misalnya dalam jangka waktu 40 tahun, pada setiap 10 tahun sekali proyek tersebut memerlukan pembaharuan atau pengganti terhadap peralatan tertentu.

11. Biaya tak terduga (*contingencies*)

Contingencies adalah merupakan biaya-biaya yang harus ditambahkan pada biaya kontraksi karena adanya perubahan-perubahan atau adanya kesalahan dalam perhitungan (adanya *under-estimate*). Hal ini dapat dicontohkan dengan:

- Adanya pengaruh inflasi yang dapat menyebabkan kenaikan harga barang dan jasa yang dipakai dalam suatu proyek.
- Adanya pekerjaan-pekerjaan yang lebih sukar dari perkiraan semula, sehingga memerlukan waktu lembur dan tambahan biaya.

12. Intangible Costs

Intangible Costs merupakan hal-hal yang riil. Akan tetapi sulit untuk diperhitungkan dengan nilai uang, namun mencerminkan nilai-nilai yang sebenarnya. Bentuk dari biaya ini dapat dimisalkan seperti adanya polusi, suara bising, pemandangan yang kurang nyaman dan lain sebagainya.

2.9 Indikator Kelayakan Ekonomi

2.9.1 Net Present Worth Net Present Value

NPV adalah selisih antara benefit (penerima) dengan cost (pengeluaran) yang telah dipresent valuekan. Kriteria ini mengatakan bahwa proyek akan dipilih jika $NPV > 0$. Dengan demikian, jika suatu proyek mempunyai $NPV > 0$, maka tidak akan dipilih atau tidak layak untuk dijalani.

Dalam proyek rumus NPV ditulis sebagai berikut :

$$NPV = \sum^n B_t - C_t \quad (2-43)$$

- Dimana :
- Bt : Benefit pada tahun ke-t
 - Ct : Biaya / pengeluaran pada tahun ke-t
 - I : Tingkat discount rate
 - N : Umur ekonomis proyek

2.9.2 Net B/C ratio

Untuk menghitung ini terlebih dahulu harus dihitung $\frac{Bt - Ct}{(1 + i)^t}$

Untuk setiap t. net B/C merupakan angka perbandingan antara jumlah present value yang positif sebagai jumlah pembilang (sebagai pembilang) dengan jumlah present value yang negatif (sebagai penyebut). Secara umum rumusnya adalah :

$$\text{Net B/C ratio} = \frac{\sum_{t=1}^n \Rightarrow Bt - Ct > 0}{\sum_{t=1}^n \Rightarrow Bt - Ct < 0} \quad (2-44)$$

Dimana : Ct : Biaya / pengeluaran pada tahun ke-t
Bt : Manfaat (benefit) pada tahun ke-t

2.9.3 Payback period

Payback period merupakan jangka waktu periode yang diperlukan untuk membayar kembali (mengembalikan) semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek. Payback period ini akan dipilih yang paling cepat dapat mengembalikan biaya investasi, makin cepat pengembaliannya makin baik dan kemungkinan besar akan terpilih.

Kelemahan-kelemahan metode payback (Husnan,2000 : 209) :

1. Diabaikannya nilai waktu uang
2. Diabaikannya aliran kas setelah periode payback

$$\text{Payback periods} = \frac{I}{A_b} \quad (2-45)$$

Dimana, I : Besarnya biaya investasi yang diperlukan

A_b . benefit bersih yang dapat diperoleh pada setiap tahun

2.9.4 Benefit Cost Ratio (BCR)

Perbandingan antara benefit dan cost yang dihitung dengan membagi harga present value komponen benefit dengan harga present value komponen cost. Kalau parameter B/C ratio ini menjadi penentu kelayakan proyek kemudian proyek dikatakan ekonomis dan layak untuk dibangun apabila harga B/C ratio lebih besar dari 1,0

2.9.5 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas bertujuan untuk melihat apakah yang akan terjadi dengan hasil proyek jika suatu kemungkinan perubahan dalam dasar-dasar asumsi pada perhitungan biaya dan manfaat. Karena dalam penentuan nilai-nilai untuk biaya dan manfaat masih merupakan perkiraan, maka sudah barang tentu dalam asumsi-asumsi ini terdapat kemungkinan bahwa keadaan yang sebenarnya akan terjadi tidak sama dengan nilai asumsi yang telah dibuat pada waktu perencanaan.

Tujuan lainnya adalah mengurangi risiko kerugian dengan menunjukkan beberapa tindakan pencegahan yang harus diambil. Secara teoritis ada tiga hal yang perlu di perhatikan dalam melakukan analisis sensitivitas :

1. Perubahan dalam perbandingan harga terhadap tingkat harga umum, misalnya penurunan hasil pendapatan akibat penurunan jumlah pemakaian / konsumsi air irigasi.
2. Menurunnya debit air sungai dari perhitungan yang diandalkan
3. Berdasarkan ketentuan diatas maka dalam studi kelayakan ini analisis kepekaan proyek akan dihitung terhadap kondisi pesimis.