

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Tanah dan Akuifer

2.1.1. Air Tanah

Air tanah yang tersimpan di bawah permukaan tanah, merupakan sumber air yang seharusnya dapat memberikan kontribusi dalam menjamin pemenuhan keperluan hidup makhluk yang ada di bumi. Oleh karena itu harus dijaga kelestariannya. Sesuai dengan amanat Undang-Undang Republik Indonesia nomer 7 tahun 2004, pengembangan dan pengelolaan air tanah berbasis cekungan air tanah. Oleh karenanya pemanfaatan air tanah dalam suatu cekungan air tanah harus selalu diikuti dengan konservasinya.

Agar pemanfaatan air tanah tidak melebihi kapasitas cekungan air tanah, maka sebelum pemanfaatan harus dilakukan studi untuk mengetahui batas areal cekungan air tanah, kondisi geologi, perkiraan kapasitas, kualitas air dan lain-lain yang perlu, serta prioritas kegiatan apa dalam rangka memanfaatkan air tanah tersebut.

Ada banyak pengertian dan definisi mengenai air tanah. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomer 7 tahun 2004 tentang sumber daya air, Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Sedangkan menurut beberapa para ahli air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat didalam ruang antar butir-butir tanah yang meresap ke dalam tanah dan bergabung membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer.

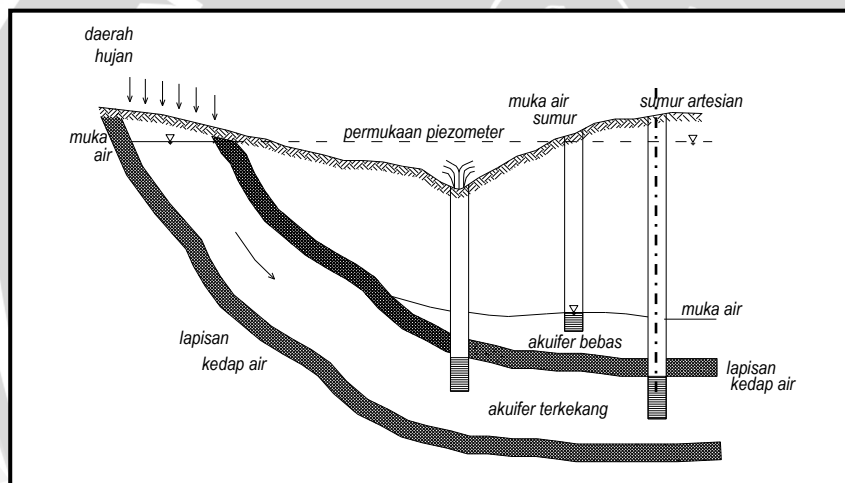
Ketersediaan air tanah adalah adanya potensi air yang berada atau tersimpan di bawah permukaan tanah yang dapat memberikan kontribusi dalam keperluan sehari-hari seperti untuk irigasi, air minum atau air baku, dan lain-lain. Untuk mengetahui ada atau tidaknya potensi air tanah tersebut, maka dilakukan survei geolistrik. Setelah itu maka akan diketahui data log litologi dari sumur tersebut. Selanjutnya dicari jenis akuifer sumur tersebut dengan menggunakan data *long period test* yaitu uji sumur dengan debit tetap. Uji ini dilakukan untuk mengetahui jenis akuifer sumur. Setelah itu menghitung debit optimum sumur tersebut dengan data *step drawdown test* yaitu uji pemompaan dengan debit bertahap. Jika debit yang dihasilkan sumur tersebut cukup besar maka dapat digunakan untuk irigasi, namun jika debit yang dihasilkan sumur kecil maka hanya dapat digunakan untuk air minum atau bahkan tidak dapat dimanfaatkan. Jadi ketersediaan air tanah adalah banyaknya atau potensi air bawah permukaan yang dapat dimanfaatkan untuk kelangsungan hidup sehari-hari.

2.1.2 Akuifer

Akuifer merupakan tempat penyimpanan air tanah. Akuifer dapat dibedakan menjadi dua, yaitu akuifer bebas dan tertekan. Pada dasarnya, yang membedakan antara air tanah bebas dan air tanah tertekan adalah variasi konduktivitas hidraulik material geologinya (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 40, 1987).

Definisi akuifer ialah suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang *permeable* baik yang terkonsolidasi (lempung, misalnya) maupun yang tidak terkonsolidasi (pasir) dengan kondisi jenuh air dan mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik (K) sehingga dapat membawa air (atau air dapat diambil) dalam jumlah (kuantitas) yang ekonomis (Kodoatie, 1996).

Sedangkan akuifer menurut Freeze dan Chery (1979) adalah lapisan geologi yang permeabel yang dapat membawa air dalam jumlah besar di bawah gradien hidraulik.



Gambar 2.1. Lapisan Akuifer.

Sumber: Bisri, 1991 : 6

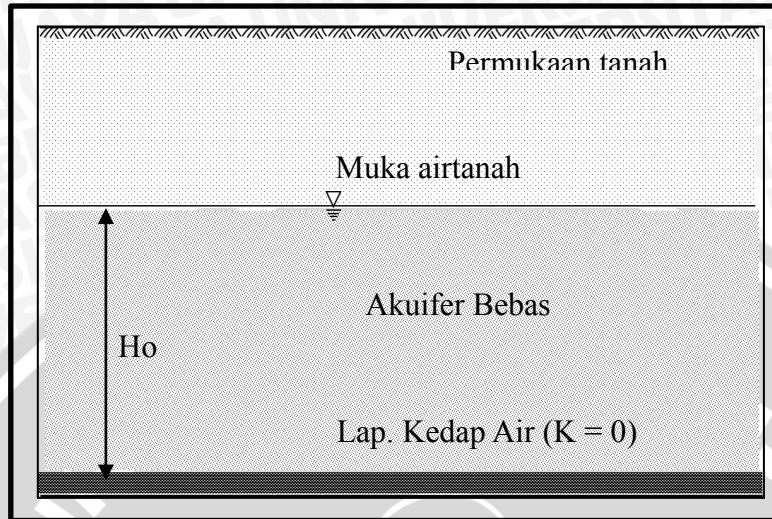
2.1.2.1. Jenis Akuifer

Berdasarkan susunan lapisan geologi (litologinya) dan besarnya koefisien kelulusan air (K), akuifer dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*), Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*), Akuifer Setengah Tertekan (*Semiconfined Aquifer*), Akuifer Menggantung (*Perched Aquifer*).

1. Akuifer Bebas.

Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*) merupakan akuifer jenuh air (*saturated*). Lapisan pembatasnya, yang merupakan *aquitard*, hanya pada bagian bawahnya dan tidak ada pembatas *aquitard* di lapisan atasnya, batas di lapisan atas berupa muka air tanah. Dengan kata lain merupakan akuifer yang mempunyai muka air tanah (Kodoatie, 1996).

Akuifer ini disebut juga sebagai *phreatic aquifer*. Sedangkan nilai $(K') = (K)$. Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*) dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini

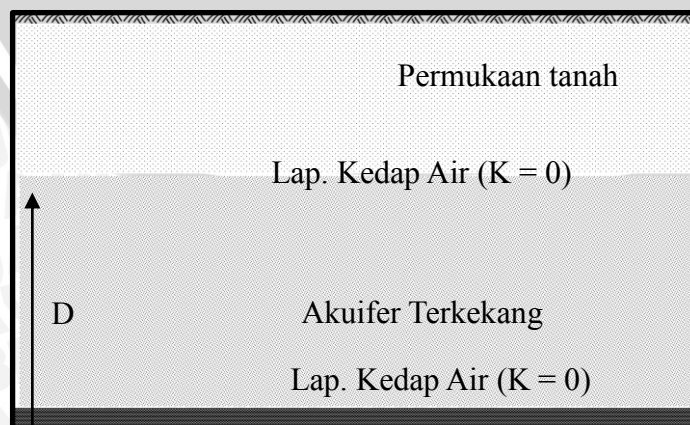


Gambar 2.2. Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*)

Sumber : <http://sumiadi.files.wordpress.com>

2. Akuifer Tertekan

Akuifer tertekan (*Confined Aquifer*) merupakan akuifer jenuh air yang dibatasi oleh *aquiclude* pada lapisan atas dan bawahnya dan tekanan airnya lebih besar daripada tekanan atmosfer. Pada lapisan pembatasnya tidak ada air yang mengalir (*no flux*). Akuifer tertekan adalah akuifer yang batas lapisan atas dan lapisan bawah adalah formasi tidak tembus air, muka air akan muncul di atas formasi tertekan bawah. Akuifer tertekan terisi penuh oleh air tanah dan tidak mempunyai muka air tanah yang bersifat bebas, sehingga pengeboran yang menembus akuifer ini akan menyebabkan naiknya muka air tanah di dalam sumur bor yang melebihi kedudukan semula. Akuifer ini disebut juga dengan *pressure aquifer*. Sedangkan nilai $(K') = 0$, $(K) > (K')$. Dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.

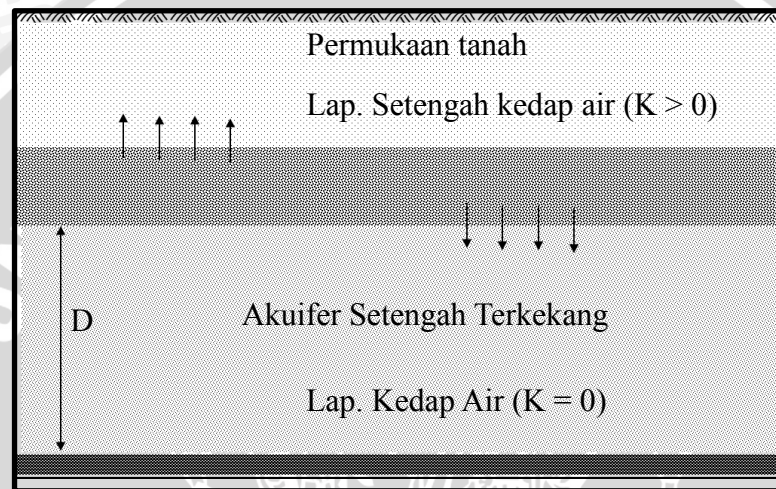


Gambar 2.3. Akuifer Tertekan (*Confined akuifer*)

Sumber : <http://sumiadi.files.wordpress.com>

3. Akuifer Setengah Tertekan

Akuifer setengah tertekan (*Semiconfined Aquifer*) merupakan akuifer jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas berupa *aquitard* dan lapisan bawahnya merupakan *aquiclude*. Pada lapisan pembatas di bagian atasnya karena bersifat *aquitard* masih ada air yang mengalir ke akuifer tersebut (*influx*) walaupun hidraulik konduktivitasnya jauh lebih kecil dibandingkan hidraulik konduktivitas akuifer. Akuifer setengah tertekan (*Semiconfined Aquifer*) dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.

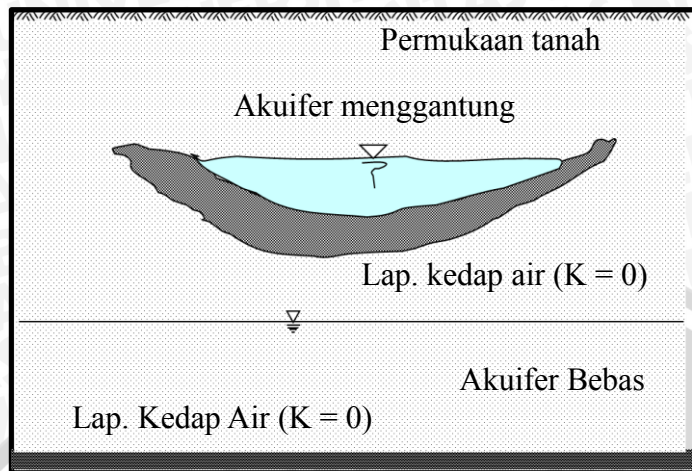


Gambar 2.4. Akuifer Setengah Tertekan (*Semiconfined Aquifer*)

Sumber : <http://sumiadi.files.wordpress.com>

4. Akuifer Menggantung

Akuifer menggantung (*Perched Aquifer*) merupakan akuifer yang massa airtanahnya terpisah dari air tanah induk. Dipisahkan oleh suatu lapisan yang relatif kedap air yang begitu luas dan terletak diatas daerah jenuh air. Biasanya akuifer ini terletak di atas suatu lapisan formasi geologi yang kedap air. Kadang-kadang lapisan bawahnya tidak murni kedap air namun berupa *aquitards* yang juga bisa memberikan distribusi air pada akuifer dibawahnya. Akuifer menggantung (*Perched Aquifer*) dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5. Akuifer Menggantung (*Perched aquifer*)

Sumber : <http://sumiadi.files.wordpress.com>

2.2. Sifat Hidraulik Akuifer

Disamping air tanah bergerak dari atas ke bawah, air tanah juga bergerak dari bawah ke atas (gaya kapiler). Air bergerak horisontal pada dasarnya mengikuti hukum hidrolika, air bergerak horisontal karena adanya perbedaan gradien hidrolik. Gerakan air tanah mengikuti hukum Darcy yang berbunyi “volume air tanah yang melalui batuan berbanding lurus dengan tekanan dan berbanding terbalik dengan tebal lapisan”.

Potensi airtanah diperoleh dari sifat hidrolik akuifer yang meliputi koefisien keterusan Air/nilai Transmisivitas (T) dan koefisien tampungan (S') yang diperoleh dari uji akuifer (*Akuifer Test*).

1. Koefisien Keterusan Air/Nilai Transmisivitas (T).

Koefisien keterusan air koefisien transmisivitas (*Coefficient of Transmissivity*) merupakan banyaknya air yang dapat mengalir melalui suatu bidang vertikal setebal akuifer, selebar satu satuan panjang. Harga koefisien keterusan dapat ditentukan dengan uji pompa (pumping test), atau melalui perhitungan secara teoritis.

Koefisien keterusan air dinyatakan dalam (Bisri, 1991:117):

$$T = K \times D \quad (2-1)$$

dengan :

T = Koefisien keterusan atau trasmisivitas akuifer ($m^2/detik$)

K = Koefisien kelulusan air (m/hari)

D = Tebal dari akuifer (m)

2. Koefisien Tampung (S')

Koefisien Tampung adalah volume air yang dilepaskan dari atau dimasukkan ke dalam akuifer setiap satu satuan luas akuifer pada satu satuan perubahan kedudukan muka air bawah tanah, koefisien cadangan tidak berdimensi (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1451K/10/MEM/2000).

2.3. Uji Pemompaan Air Tanah

Uji pemompaan air tanah adalah memompa air dari suatu sumur dengan debit tertentu, mengamati penurunan muka air selama pemompaan berlangsung dan mengamati pemulihan kembali muka air setelah pompa dimatikan sesuai dengan selang waktu tertentu. Ada 2 macam uji pompa, yaitu (Bisri, 1991:109):

1. Pengujian sumur (*well test*)
2. Pengujian akuifer (*aquifer test*)

2.3.1. Pengujian Sumur

Tujuan dilakukan pengujian sumur adalah untuk menetapkan kemampuan sumur yang akan diproduksi. Dari debit (Q) dan penurunan muka air (S) yang diukur, dapat diperoleh kapasitas jenis sumur atau penurunan jenis sumurnya. Kapasitas jenis sumur merupakan ukuran kemampuan produksi suatu sumur.

Metode yang banyak digunakan di Indonesia guna pengujian sumur adalah *Step Test* atau disebut juga *Step Drawdown Test*, yaitu dengan mengadakan pemompaan secara terus menerus dengan perubahan debit secara bertahap pada sumur-sumur yang telah ditetapkan. Metode ini mempunyai prinsip analisa sebagaimana yang akan dijelaskan berikut ini.

Kapasitas jenis sumur dinyatakan dengan persamaan (Bisri, 1991:109):

$$q_s = \frac{Q}{S} \quad (2-2)$$

dimana :

- q_s = kapasitas jenis (m^2/dt)
 Q = debit sumur yang dipompa (m^3/dt)
 S = penurunan muka air di sumur (m)

Menurut Jacob bahwa penurunan muka air di sumur akibat pemompaan terdiri atas 2 komponen, yaitu (Bisri, 1991:109):

1. Penurunan muka air pada akuifer (*aquifer loss/BQ*)

yaitu penurunan muka air di sumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran laminar pada akuifer sendiri. Besarnya harga BQ ini bergerak secara linier terhadap perubahan debit pemompaan, dan sangat tergantung pada sifat hidraulik dari akuifer (formasi geologinya). Berarti kondisi itu tidak dapat dirubah atau diperbaiki (bersifat alami).

2. Penurunan muka air pada sumur (*well loss/CQ²*)

yaitu penurunan muka air di sumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran turbulen di dalam sumur. Besarnya harga CQ² ini bergerak secara kuadratis terhadap perubahan debit pemompaan dan sangat tergantung pada karakteristik dari sumur uji, misalnya pencucian sumur kurang bersih akibat adanya hambatan-hambatan pada filter dan pipa saringan. Berarti kondisi ini dapat diperbaiki untuk memperkecil harga *well loss*.

Besarnya total penurunan muka air di sumur (Sw) dapat dinyatakan sebagai berikut (Bisri, 1991:110):

$$S_w = BQ - CQ^2 \quad (2-3)$$

dimana:

S_w = total penurunan muka air (m)

BQ = *aquifer loss* (m)

B = koefisien *aquifer loss* (dt/m²)

CQ² = *well loss* (m)

C = koefisien *well loss* (dt²/m⁵)

Sumur yang produktif menurut Walton dan Bierschenk adalah sumur yang mempunyai harga koefisien *well loss* (C) dan faktor *development* (Fd) yang kecil. Klasifikasi sumur berdasarkan faktor ini diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Kondisi Sumur Berdasarkan Harga Koefisien Well Loss (C) Menurut Walton

Koefisien Well Loss (C) (detik ² /m ⁵)	Kondisi Sumur
< 0,5	Baik
0,5 - 1,0	Mengalami penyumbatan sedikit
1,0 - 4,0	Penyumbatan dibeberapa tempat
> 4,0	Sulit dikembalikan seperti semula

Sumber: (Bisri, 1991:110)

Faktor *development* (Fd) dinyatakan dengan:

$$Fd = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2-4)$$

Klasifikasi sumur berdasarkan faktor *development* ini diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.2. Klasifikasi Sumur Berdasarkan Faktor *Development* (Fd) Menurut Bierschenk

Faktor <i>Development</i> (Fd) (Hari/m ³)	Kelas
< 0,1	Sangat Baik
0,1 - 0,5	Baik
0,5 - 1,0	Sedang
> 1,0	Jelek

Sumber: (Bisri, 1991:111)

Untuk mencari harga B dan C digunakan metode Uji Sumur Muka Air Bertahap (*step drawdown test*) dengan prosedur sebagai berikut (Bisri, 1991:111):

1. Gambar penurunan jenis (S/Q) pada sumbu vertikal dan debit (Q) pada sumbu horisontal untuk masing-masing tahap di atas kertas grafik biasa sehingga berupa garis lurus.
2. Harga B diperoleh dari perpotongan antara garis lurus tersebut dengan sumbu vertikal (S/Q).
3. Sedang harga C didapat dari kemiringan garis (slope atau tangen) yang dibentuk oleh harga S/Q dan Q.

Dari harga B dan C tersebut dapatlah ditentukan harga BQ dan CQ².

2.3.2. Pengujian Akuifer (*Akuifer Test*)

Untuk menentukan besarnya koefisien keterusan Air/nilai Transmisivitas (T) dan koefisien tampungan (S') digunakan empat model uji akuifer, yaitu Metode Theis, Metode Jacob-Cooper, Metode Chow, dan Metode Thiem.

Ada dua kondisi aliran airtanah, yaitu aliran tunak (*steady flow*) dan aliran tidak tunak (*unsteady flow*). (Siswoyo, 2002:8)

- a. Aliran tunak (*steady flow*) yaitu aliran yang tidak berubah atau dapat dianggap tetap selama jangka waktu tertentu. Pada sumur pompa aliran tunak terjadi bila tercapai keseimbangan antara debit yang dipompa dengan debit yang masuk ke dalam akuifer.
- b. Aliran tidak tunak (*unsteady flow*) yaitu aliran yang berubah selama jangka waktu tertentu. Pada sumur pompa aliran tidak tunak terjadi pada saat pemompaan air sumur

dimulai sampai terjadi keadaan tunak dan pada saat berlangsungnya pemulihan kembali.

Pengujian akuifer dengan metode Theis, metode Jacob-Cooper, metode Chow, dan metode Thiem adalah sebagai berikut:

1. Metode Theis

Theis, yang telah mengembangkan rumus untuk aliran tidak tunak, yang mana telah diperkenalkan factor waktu dan koefisien tampungan. Theis mencatat bahwa jika dari suatu sumur yang memasuki akuifer tertekan yang luas, dipompa dengan laju tetap, pengaruh debitnya meluas dengan bertambahnya waktu. Besarnya pengurangan tinggi muka airtanah dikalikan dengan koefisien tampungan, kemudian dijumlahkan untuk seluruh luas daerah pengaruh, akan sama dengan debit. Karena airnya harus didapat dari pengurangan tampungan dalam akuifer, maka tinggi muka air tanah akan terus menurun selama akuifernya bekerja efektif secara tidak terbatas. Oleh karenanya, secara teoritis tidak terjadi keadaan tunak. Tetapi besarnya pengurangan muka airtanah akan menurun terus jika daerah pengaruhnya membesar (Bisri, 1991:96).

Di dalam menggunakan metode Theis, anggapan-anggapan yang dipergunakan adalah (Bisri, 1991:98):

1. Aliran ke sumur adalah aliran tidak tunak.
2. Jenis akuifernya terutama untuk akuifer terkekang.
3. Diameter sumur kecil, sehingga kandungan di dalam sumur dapat diabaikan.
4. Akuifer dianggap meluas tak terhingga dalam bidang horizontal, terletak pada lapisan yang kedap air serta mempunyai ketebalan yang seragam.
5. Akuifer adalah homogen, isotropis dalam daerah yang dipengaruhi oleh pemompaan.
6. Kehilangan tinggi tekan yang disebabkan oleh komponen aliran vertical dalam akuifer diabaikan.
7. Air yang mengalir dalam akuifer merupakan aliran laminar (syarat berlakunya hukum Darcy).
8. Pelepasan air terjadi segera, hal ini disebabkan oleh elastisitas air dan kompaksi material akuifer (material yang tidak termampatkan), sebagai dasar hukum kontinuitas.
9. Muka air pada pisometer dan muka air bebas sebelum pemompaan dalam keadaan hampir horizontal.

10. Pemompaan dilakukan dengan debit yang tepat
11. Sumur yang dipompa menembus penuh akuifer.

Persamaan penurunan muka air tanah dan koefisien tampungan menurut Theis adalah (Bisri, 1991:98):

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(U) \quad \text{atau} \quad T = \frac{Q}{4\pi S} W(U) \quad (2-5)$$

$$U = \frac{r^2 S'}{4Tt} \quad \text{atau} \quad S' = \frac{4T'}{r^2/t} U \quad (2-6)$$

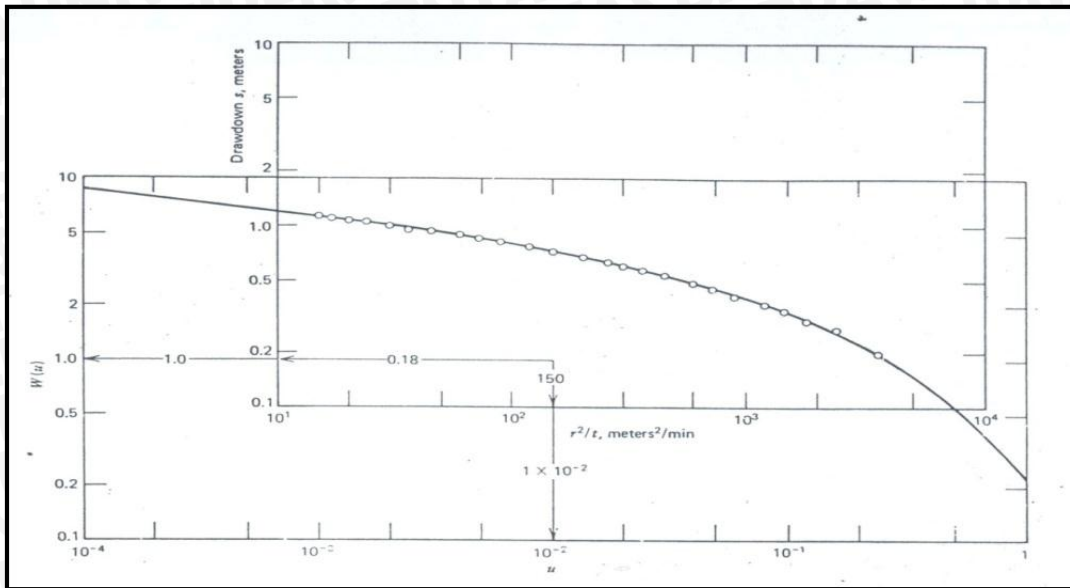
dimana:

- S = Penurunan pisometer pada jarak r (m) dari sumur yang dipompa
- Q = Debit tetap sumur yang dipompa (m³/dt)
- T = Transmisivitas akuifer (m²/dt)
- S' = Koefisien tampungan (tidak berdimensi)
- t = Waktu sejak dimulai pemompaan (detik)
- r = Jari-jari sumur pengamat diukur terhadap sumur yang dipompa (m)

$$W(U) = -0,5772 - \ln U + U - \frac{U^2}{2.2!} + \frac{U^3}{3.3!} - \frac{U^4}{4.4!} + \dots$$

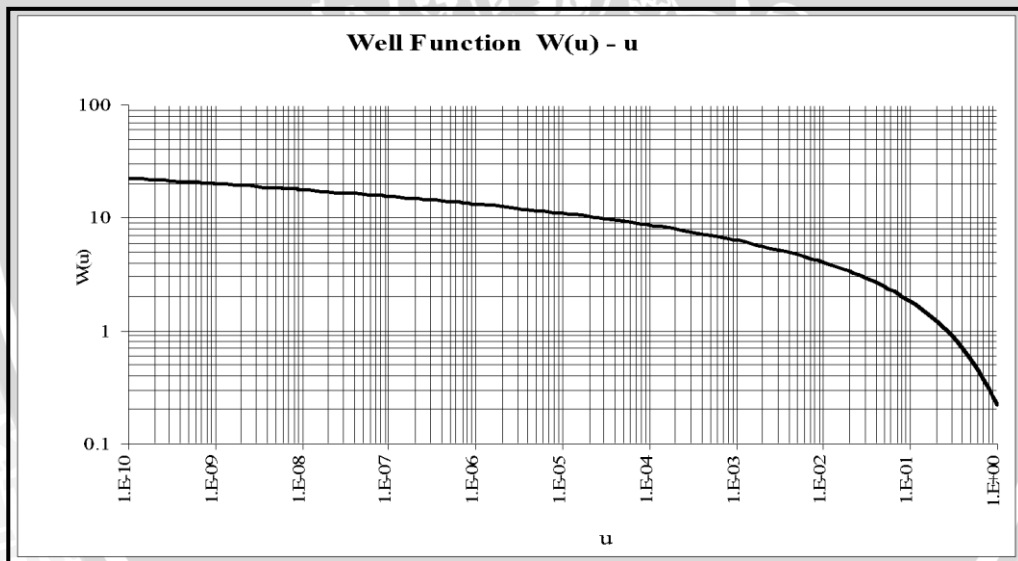
W(U) = Integral eksponensial, atau disebut fungsi sumur U atau juga disebut fungsi sumur Theis

Grafik superposisi Metode Theis pada gambar 2.6. Nilai W(U) dapat diperoleh dengan menggunakan lengkung jenis normal yang dibuat dengan memplot nilai W(U) Vs U, atau lengkung jenis kebalikan yang dapat dibuat dengan memplot nilai W(U) Vs 1/U, pada grafik log-log dengan W(U) sebagai sumbu vertikalnya. Grafik hubungan antara U dan W(U) dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.6. Grafik Superposisi Metode Theis

Sumber: Todd, 1980:128



Gambar 2.7. Grafik Hubungan Antara U dan W(U)

Sumber: Bisri, 1991:100

2. Metode Cooper-Jacob

Metode ini umumnya dikenal dengan nama metode Jacob. Merupakan penurunan dari rumus Theis, tetapi cara ini lebih konsisten dan lebih murah, karena hanya dibutuhkan satu sumur pengamatan. Anggapan-anggapan yang harus dipenuhi adalah sama dengan metode Theis, tetapi nilai U mempunyai batasan lebih kecil dari 0,01 sehingga nilai r kecil dan nilai t besar (Bisri, 1991:100).

Dari penurunan metode Theis, Jacob menurunkan persamaan penurunan muka air tanah S menjadi (Bisri,1991:101):

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \left(-0,5772 - \ln \frac{r^2 S'}{4Tt} \right) \quad \text{atau dapat ditulis dalam logaritma}$$

$$S = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S'} \quad (2-7)$$

dimana:

- S = Penurunan pisometer pada jarak r (m) dari sumur yang dipompa
 Q = Debit tetap sumur yang dipompa (m³/dt)
 T = Transmisivitas akuifer (m²/dt)
 S' = Koefisien tampungan (tidak berdimensi)
 t = Waktu sejak dimulai pemompaan (detik)
 r = Jari-jari sumur pengamat diukur terhadap sumur yang dipompa (m)

Ada tiga cara di dalam analisa data lapangan yaitu:

1. Metode Jacob I, dengan menghubungkan S dan log t.
2. Metode Jacob II, yaitu menghubungkan S dengan log r
3. Metode Jacob III, yaitu menghubungkan S dengan log t/r²

Koefisien tampungan S' dapat dicari dengan kondisi untuk S = 0 dan t = t₀, sehingga:

$$S = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S'}$$

$$0 = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt_0}{r^2 S'} \quad \text{menjadikan} \quad \frac{2.25Tt_0}{r^2 S'} = 1$$

$$S' = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad (2-8)$$

Transmisivitas akuifer diperoleh dengan menggunakan rumus (Bisri, 1991:101):

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi \Delta S} \log \left(\frac{10^{n+1}}{10^n} \right) \quad \text{menjadikan} \quad T = \frac{2.30Q}{2\pi \Delta S} 1$$

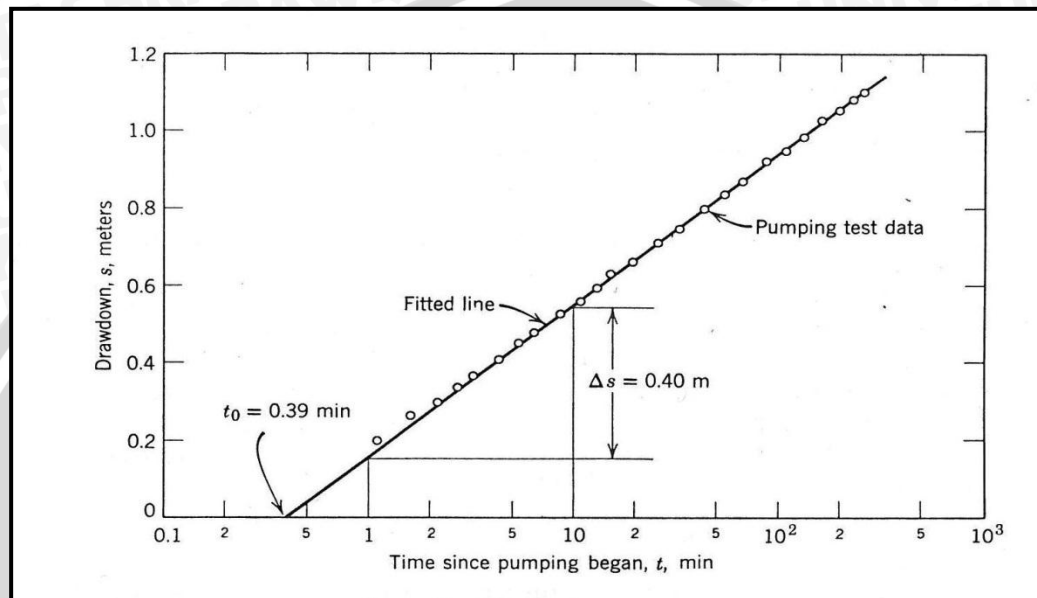
Atau:

$$T = \frac{2.30Q 86,40}{4\pi \Delta S} \quad \text{dimana Q dalam liter/detik} \quad (2-9)$$

dimana:

- Q = Debit pemompaan (m³/hari)

- ΔS = Nilai penurunan muka air per siklus log (m)
 T = Transmisivitas ($m^2/hari$)
 S' = Koefisien tampungan (tidak berdimensi)
 T_0 = Diperoleh dari grafik Jacob
 r = Jari-jari sumur pengamat diukur terhadap sumur yang dipompa (m)



Gambar 2.8. Grafik Metode Cooper - Jacob

Sumber: Todd, 1980:129

3. Metode Chow

Chow telah mengembangkan sebuah metode dengan menghindari penarikan garis lurus secara sembarang dari titik-titik data hasil pengamatan. Pengukuran penurunan muka airtanah, boleh dilakukan dengan menempatkan sumur pengamatan yang dekat dengan sumur pompanya. Metode ini menggunakan grafik semi-logaritma. Pada grafik tersebut dipilih titik A sembarang, sehingga koordinat t dan S diperoleh. Perbedaan $S_2 - S_1$

adalah ΔS . Sehingga: $F(U) = \frac{S}{\Delta S}$ yang menghasilkan nilai $W(U)$ dan U .

Harga transmisivitas dan koefisien tampungan dari akuifer dihitung dengan rumus Theis, yaitu (Bisri, 1991:103):

$$T = \frac{Q}{4\pi S} W(U) \quad (2-10)$$

$$S' = \frac{4TtU}{r^2} \quad (2-11)$$

dimana:

Q = Debit pemompaan (m^3/hari)

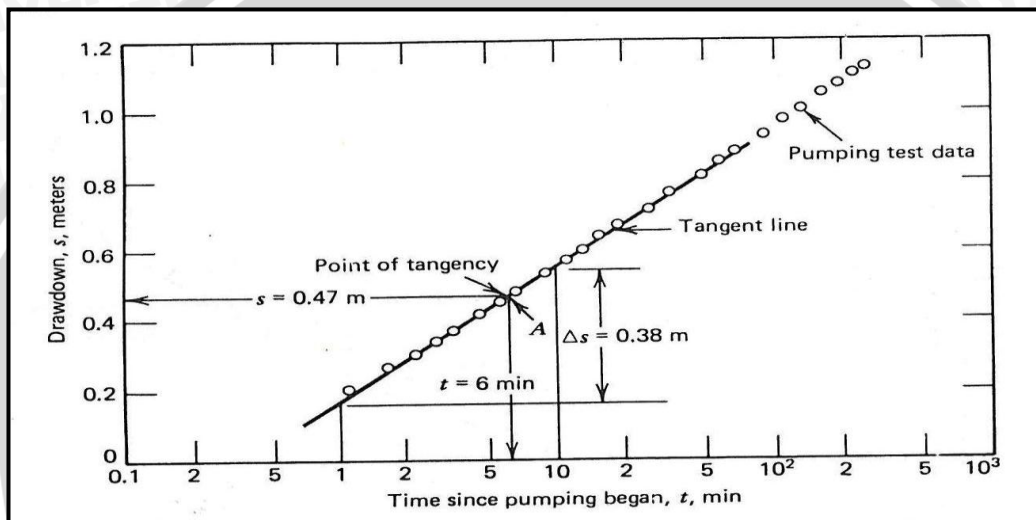
T = Transmisivitas (m^2/hari)

S' = Koefisien tampingan (tidak berdimensi)

r = Jari-jari sumur pengamat diukur terhadap sumur yang dipompa (m)

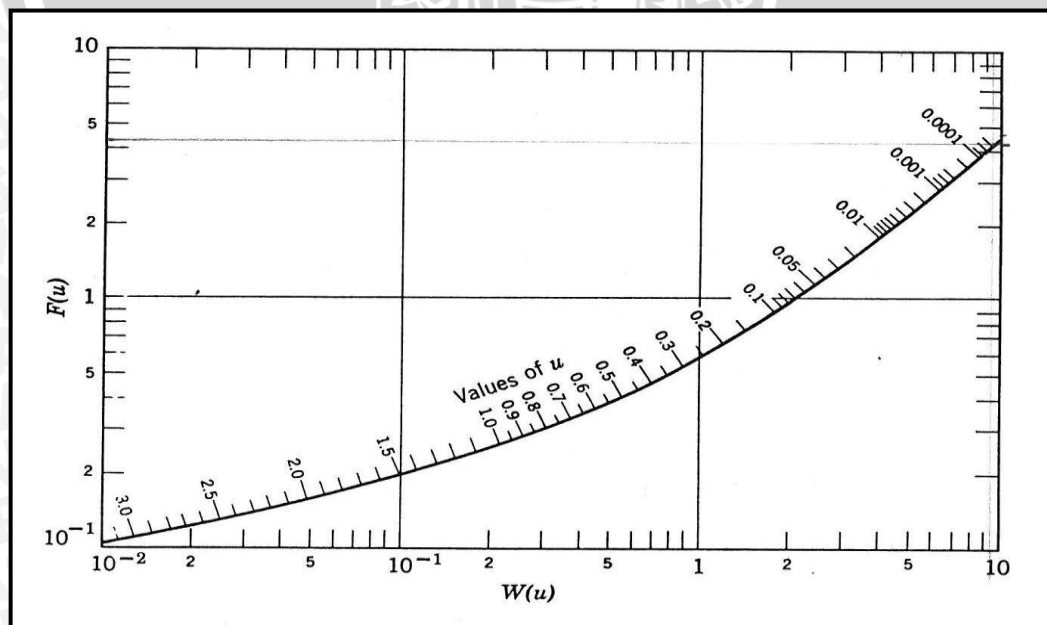
S = Penurunan pisometer pada jarak r (m) dari sumur yang dipompa

Grafik metode Chow dapat dilihat pada gambar 2.9 dan Grafik hubungan $F(U)$, $W(U)$ dan U metode Chow dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.9. Grafik Metode Chow

Sumber: Todd, 1980:129



Gambar 2.10. Grafik Hubungan $F(u)$ $W(u)$ dan u Metode Chow

Sumber: Todd, 1980:131

4. Metode Theim

Di dalam metode Long Period Test, metode analisa yang dapat dilakukan adalah dengan metode Theim. Di mana anggapan yang paling penting dari cara ini adalah aliran ke dalam sumur adalah aliran tunak (*steady flow/equilibrium atau steady stage*). Adapun bentuk persamaan Theim adalah (Bisri, 1991:117):

1. Persamaan ini digunakan apabila pisometer lebih dari satu

$$T = \frac{2,30}{2\pi (S_1 - S_2)} \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (2-12)$$

2. Persamaan ini digunakan apabila pisometer hanya satu

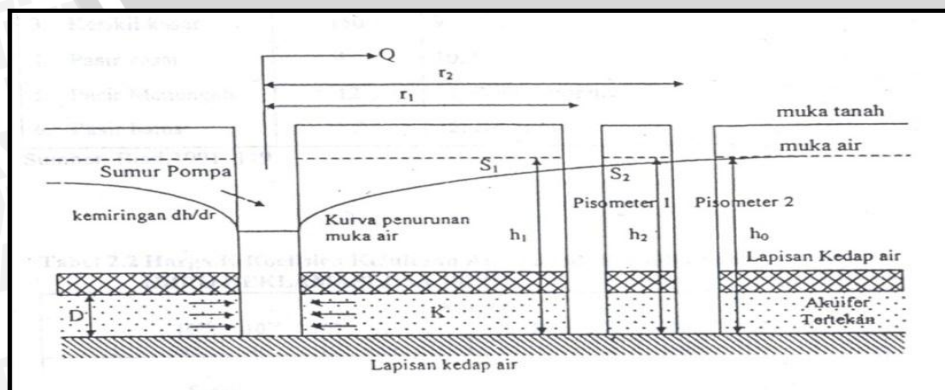
$$T = \frac{2,3Q}{2\pi (S_w - S_1)} \log \left(\frac{r_1}{r_w} \right) \quad (2-13)$$

3. Persamaan ini digunakan apabila pisometer diabaikan

$$T = \frac{1,22Q}{S_w} \quad (2-14)$$

dimana:

- Q = Debit sumur yang dipompa (m³/detik)
- T = Transmisivitas Akuifer (m²/detik)
- S₁ = Penurunan air pada pisometer 1 (m)
- S₂ = Penurunan muka air pada pisometer 2 (m)
- r₁ = Jarak pisometer 1 ke sumur pompa (m)
- r₂ = Jarak pisometer 2 ke sumur pompa (m)
- r_w = Jari-jari sumur yang dipompa (m)
- S_w = Penurunan muka air di dalam sumur yang dipompa (m)
- r_e = Jari-jari pengaruh sumur (m)



Gambar 2.11. Potongan Akuifer sebagai Penjelasan Rumus Theim

Sumber: Todd, 1991:118

2.4. Analisis Debit Optimum Sumur

Dalam menentukan kapasitas optimum sumur pompa dapat digunakan Metode Grafis Sichardt. Adapun langkah-langkah perhitungan dari metode ini adalah sebagai berikut (Nurkartika, 2001:11):

1. Data pemompaan dievaluasi dengan metode uji sumur muka air bertahap (*step drawdown test*) untuk mendapatkan persamaan garis $S_w = BQ + CQ^2$.
2. Gambar persamaan garis tersebut pada kertas grafik, dengan memasukkan nilai Q sebagai absis (x) dan nilai S_w sebagai ordinat (y).
3. Hitung kapasitas maksimum sumur atau debit maksimum (Q_{maks}) dengan persamaan Huisman sebagai berikut:

$$Q_{maks} = 2\pi \times r_w \times D \times \left(\frac{\sqrt{K}}{15} \right) \quad (2-15)$$

dimana:

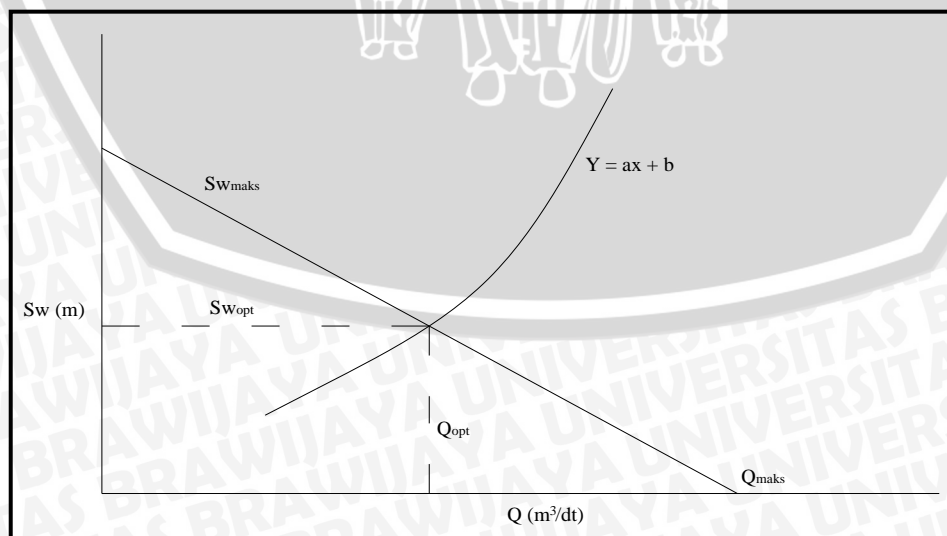
Q_{maks} = debit maksimum (m^3/dt)

r_w = jari-jari konstruksi sumur (m)

D = tebal akuifer (m)

K = koefisien kelulusan air (m/dt)

4. Hubungkan titik kapasitas maksimum (Q_{maks}) dengan penurunan muka air ($S_{w_{maks}}$) sehingga berupa garis lurus yang berpotongan dengan gambaran persamaan (2-2).
5. Dari titik potong di atas didapat harga kapasitas optimum (Q_{opt}) dan penurunan muka air optimum ($S_{w_{opt}}$).



Gambar 2.12. Evaluasi Uji Surut Bertahap Metode Grafis Sichardt

2.5. Pengolahan Data Hujan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di daerah yang bersangkutan. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm. Curah hujan daerah ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik dengan cara rata-rata aljabar adalah sebagai berikut (Suyono dan Takeda, 2003:27):

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2-16)$$

dimana:

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

n = jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan

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

2.6. 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):

$$NFR = ETc + WLR + P - Re \quad (2-17)$$

dimana:

NFR = kebutuhan air irigasi di sawah (mm/hari)

ETc = kebutuhan air tanaman/penggunaan air konsumtif (mm/hari)

WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)

P = kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

2.7. 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):

$$E_o = \frac{\Delta H / 60 + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (2-18)$$

dimana:

E_a = tekanan uap jenuh dari udara pada t °C (e x 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):

$$R_C = R_A \times [a + b \times (\frac{n}{D})] \quad (2-19)$$

dimana:

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

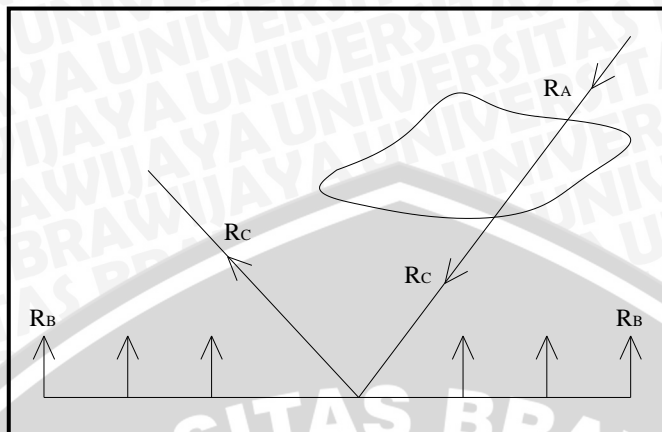
R_A = angka angot (konstanta yang berbeda-beda untuk tiap-tiap lokasi) (kalori/cm²/hr)

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 2.13. 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):

$$R_I = R_C \times (1 - r) \quad (2-20)$$

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

rumpun = 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):

$$R_B = \sigma \times T_a^4 \times (0,45 - 0,77 \times \sqrt{e_a}) \times [0,2 + 0,8 \times (\frac{n}{D})] \quad (2-21)$$

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):

$$H = RI - RB \quad (2-22)$$

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):

$$ET_o = c \times Eto^* \quad (2-23)$$

$$Eto^* = W \times (0,75 \times R_s - R_{n1}) + (1 - W) \times f(u) \times (ea - ed) \quad (2-24)$$

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)

$$= (0,25 + 0,54 \times \frac{n}{N}) \times R_a \quad (2-25)$$

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)

$$= f(t) \times f(ed) \times f(\frac{n}{N}) \quad (2-26)$$

$f(t)$ = fungsi suhu

$f(ed)$ = fungsi tekanan uap

$$= 0,34 - [0,044 \times (ed)^{0,5}] \quad (2-27)$$

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

$$= 0,1 + [0,9 \times (\frac{n}{N})] \quad (2-28)$$

$f(u)$ = fungsi kecepatan angin (m/dt)

$$= 0,27 (1 + 0,864) \times u \quad (2-29)$$

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

ed = tekanan uap jenuh

$$= ea \times RH \quad (2-30)$$

ea = tekanan uap sebenarnya

RH = kelembaban udara relatif (%)

Prosedur perhitungan Eto^* 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), (1-W) dan f(t) dengan Tabel 2.5.
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) dengan Tabel 2.6.
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) dengan Tabel 2.7.
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_o

Tabel 2.3. Hubungan Suhui (t) dengan nilai ea, W dan f(t)

Suhu (°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

Suhu (°C)	Ea (mbar)	W	f(t)
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

Tabel 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)

Tabel 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)

2.7.1. Koefisien Tanaman

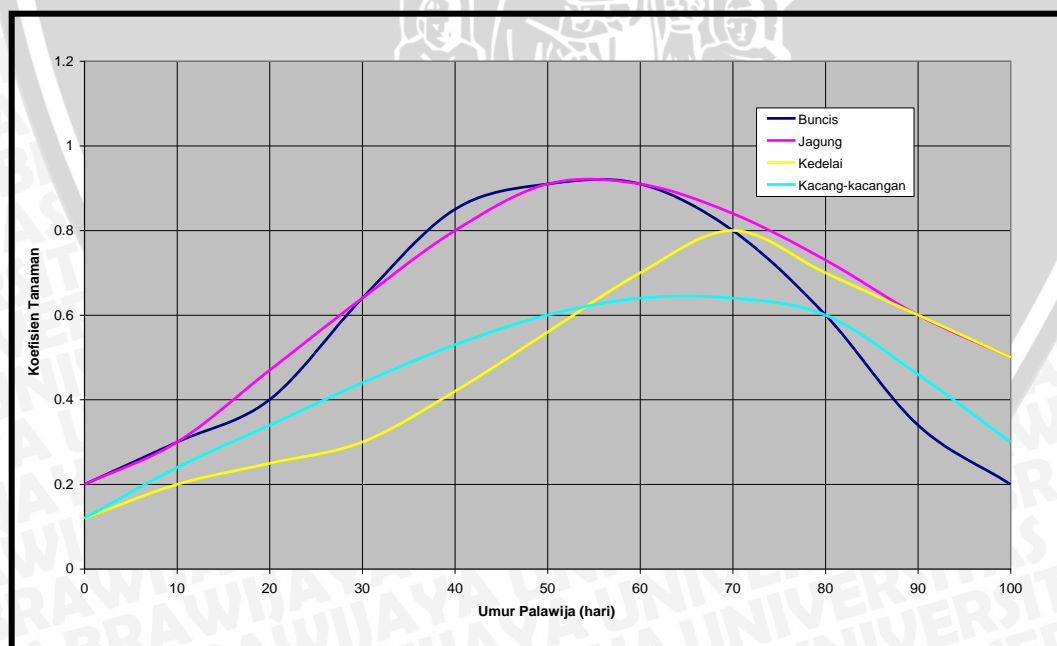
Koefisien tanaman sangat erat hubungannya dengan awal masa tanam, jenis tanaman dan varietas tanaman. Nilai koefisien tanaman untuk tanaman padi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 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 2.14. Koefisien Tanaman Palawija

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

2.7.2. 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):

$$ET_C = K_C \times ET_o \quad (2-31)$$

dimana:

K_C = koefisien tanaman

ET_o = evaporasi potensial (mm/hr)

2.7.3. 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.

2.7.4. 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):

$$IR = M \times \frac{e^k}{(e^k - 1)} \quad (2-32)$$

$$M = E_o + P \quad (2-33)$$

$$K = M \times \frac{T}{S} \quad (2-34)$$

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 $1,1 \times E_{To}$) (mm/hr)
- 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)

2.7.5. 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.

2.7.6. Curah Hujan Efektif

Pengertian curah hujan efektif adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Curah hujan efektif merupakan sebagian saja dari curah hujan nyata.

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:

$$Re = 0,7 \times R_{80} \quad (2-35)$$

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

$$Re = R_{50} \quad (2-36)$$

dimana:

Re = curah hujan efektif (mm)

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

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

2.7.7. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Perhitungan kebutuhan air irigasi dilakukan dengan menggunakan metode standart perencanaan irigasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air irigasi adalah:

1. Luas daerah irigasi
2. Pola tata tanam yang direncanakan
3. Evapotranspirasi potensial
4. Koefisien tanaman
5. Teknik pengolahan lahan
6. Perkolasi

7. Curah hujan efektif
8. Efisiensi irigasi

Tahap perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menggambar pola tata tanam sesuai dengan jenis tanaman dan waktu mulai tanam.
2. Menentukan koefisien tanaman sesuai dengan grafik periode umur tanaman.
3. Rerata koefisien tanaman dihitung dengan rumus:
Rerata = koefisien : jumlah koefisien
4. Memasukkan harga evapotranspirasi potensial dari hasil perhitungan evapotranspirasi potensial dengan metode Penman yang telah dimodifikasi.
5. Menghitung penggunaan air konsumtif (PAK) dengan rumus:
 $PAK = \text{rerata koefisien tanaman} \times E_t$
6. Rasio luas penggunaan air konsumtif.
7. Penggunaan air konsumtif dengan rasio luas dihitung dengan rumus:
 $PAK_{\text{rasio luas}} = PAK \times \text{Rasio Luas}$
8. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan.
9. Rasio luas penyiapan lahan.
10. Penyiapan lahan dengan rasio luas dihitung dengan rumus:
 $PL_{\text{rasio luas}} = \text{kebutuhan air untuk PL} \times \text{rasio luas PL}$
11. Perkolasi dapat diketahui berdasarkan jenis tanah.
12. Penggantian lapisan air (WLR).
13. Rasio luas penggantian lapisan air.
14. Penggantian lapisan air dengan rasio luas dihitung dengan rumus:
 $WLR_{\text{rasio luas}} = WLR \times \text{rasio luas WLR}$
15. Kebutuhan air kotor di sawah dihitung dengan rumus:
 $\text{Keb. air kotor} = PAK_{\text{rasio luas}} + PL_{\text{rasio luas}} + \text{perkolasi} + WLR_{\text{rasio luas}}$
16. Curah hujan efektif.
17. Kebutuhan air bersih di sawah (NFR).

2.8. Luas Layanan Irigasi

Pada prinsipnya penentuan luas layanan irigasi dari tiap sumur pompa didasarkan atas besarnya rencana debit optimum dibagi dengan angka kebutuhan air irigasi yang menjadikan beban sumur pompa tersebut dinyatakan sebagai beban pompa yang

tergantung dari jenis tanah dan pola tata tanam. Dirumuskan sebagai berikut (Nurkartika, 2001:16):

$$A = \frac{Q_{\text{opt}}}{q} \times \frac{T}{24} \quad (2-37)$$

dimana:

A = luas layanan irigasi (ha)

Q_{opt} = debit optimum (lt/dt)

q = kebutuhan air tanaman (lt/dt/ha)

T = operasi pompa dalam 1 hari (18-21 jam)

2.8.1. Analisa Neraca Air

Analisa neraca air dilakukan untuk melihat apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Ada 3 unsur pokok dalam analisa neraca air, yaitu (Anonim, 1986:101):

- Tersediannya air.
- Kebutuhan air irigasi
- Neraca air.

Analisa neraca air akan sampai pada kesimpulan mengenai pola tata tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang direncanakan.

1. Tersediannya air

Dalam perencanaan jaringan irigasi air tanah, faktor tersedinya air yang dimaksud adalah debit optimum yang dihasilkan oleh sumur. Debit optimum sumur ini didapat dari perhitungan yang telah dijelaskan di atas.

2. Kebutuhan air irigasi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan air irigasi yaitu:

- Evapotranspirasi
- Koefisien tanaman
- Penggunaan air konsumtif
- Perkolasi
- Kebutuhan air untuk penyiapan lahan
- Penggantian lapisan air
- Curah hujan efektif

3. Neraca Air

Dalam perhitungan neraca air, kebutuhan air irigasi yang dihasilkan untuk pola tata tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit air yang tersedia. Apabila debit yang tersedia melimpah, maka luas daerah irigasi akan terpenuhi kebutuhannya terhadap air. Bila debit yang tersedia tidak berlimpah dan kadang-kadang terjadi kekurangan debit, maka ada 3 pilihan yang harus dipertimbangkan (Anonim, 1986:108):

- Luas daerah irigasi dikurangi

Pengurangan terhadap luas layanan irigasi yang akan dialiri oleh sumur.

- Melakukan modifikasi dalam pola tata tanam

Dapat diadakan perubahan dalam pemilihan tanaman atau tanggal dimulainya tanam untuk mengurangi kebutuhan air irigasi di sawah, agar ada kemungkinan untuk mengairi areal yang lebih luas dengan debit yang tersedia.

- Rotasi teknis atau golongan

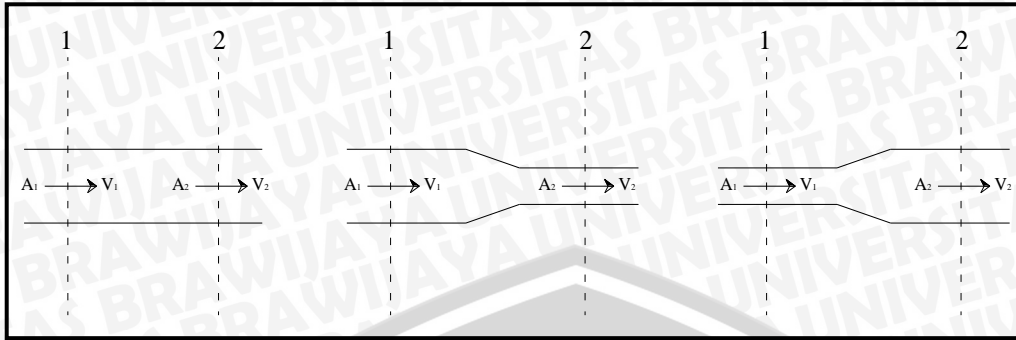
Melakukan pembagian air secara rotasi atau golongan terhadap daerah layanan irigasi.

2.9. Analisa Hidrolika Jaringan Perpipaan

Analisa jaringan perpipaan umumnya membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, keberadaan perangkat komputer (*software*) biasanya digunakan dalam membantu menganalisa jaringan tersebut. Dalam jaringan perpipaan, biasanya erat kaitannya dengan aspek hidrolika yang mempengaruhi hasil dari perhitungan atau perencanaan jaringan tersebut.

2.9.1. Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam suatu pipa secara terus menerus yang mempunyai luas penampang (A) m^2 dan kecepatan (V) m/det akan memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya. Dalam persamaan hukum kontinuitas dinyatakan bahwa debit yang masuk ke dalam pipa sama dengan debit yang keluar, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.15. Pipa Lurus, Penyempitan Pipa dan Pembesaran Pipa

Sumber: (Linsley, 1996:276)

Hubungan antara hukum kontinuitas dengan ketiga bagan pada gambar di atas dapat ditunjukkan dengan dua persamaan berikut (Priyantoro, 1991:8):

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} \tag{2-38}$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \tag{2-39}$$

dengan:

Q = debit yang mengalir (m^3/detik)

A = luas penampang (m^2)

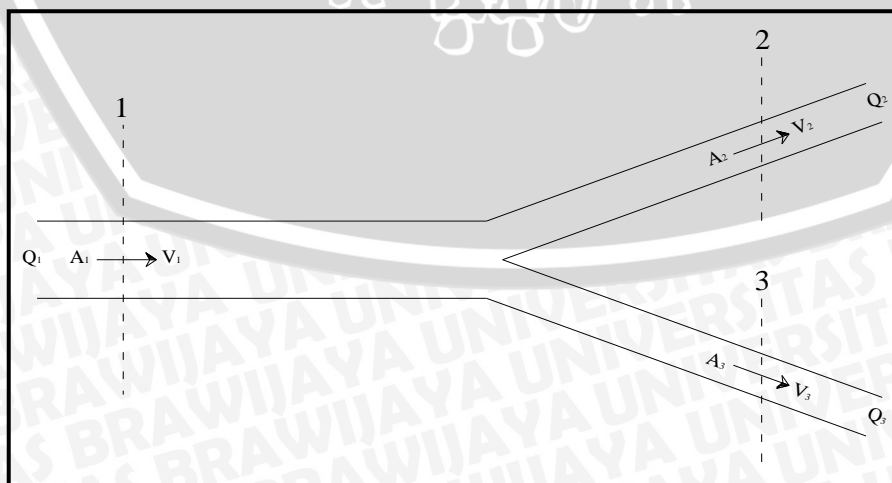
V = kecepatan (m/detik)

Hal ini juga berlaku pada pipa bercabang. Hukum kontinuitas pada pipa bercabang, dimana debit yang masuk ke dalam pipa akan sama dengan penjumlahan dari debit-debit yang keluar dari percabangan pipa.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \tag{2-40}$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 + A_3 \times V_3 \tag{2-41}$$

Hukum Kontinuitas pada pipa bercabang seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.16. Pipa Bercabang

Sumber: (Linsley, 1996:276)



Pada jaringan irigasi perpipaan, pipa merupakan komponen yang utama. Pipa berfungsi sebagai sarana mengalirkan zat cair dari suatu titik simpul ke titik simpul yang lain. Aliran dalam pipa timbul bila terjadi perbedaan tekanan pada dua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena digunakannya pompa.

2.9.2. Hukum Bernoulli

Air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar menuju tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil. Aliran tersebut memiliki tiga macam energi yang bekerja di dalamnya, yaitu:

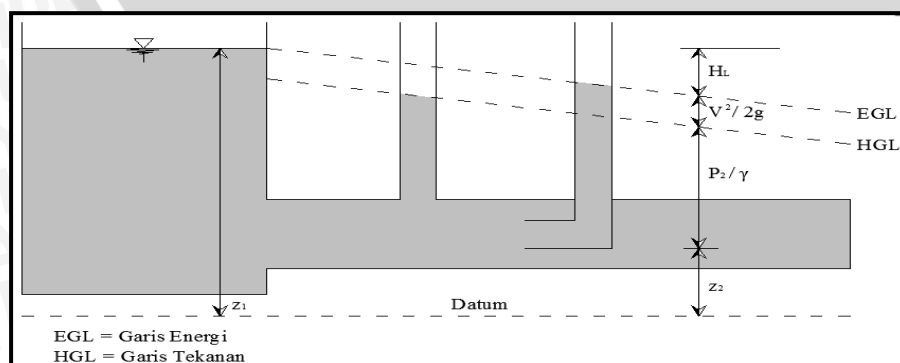
1. Energi kinetik, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan kecepatannya.
2. Energi tekanan, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan tekanannya.
3. Energi ketinggian, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan ketinggiannya terhadap garis referensi (*datum line*).

Seperti yang dikatakan di atas bahwa air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar menuju tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil, hal tersebut dikenal dengan prinsip Bernoulli, bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_{\text{Tot}} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi kecepatan} + \text{Energi tekanan} \quad (2-42)$$

$$E_{\text{Tot}} = h + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} \quad (2-43)$$

Menurut teori kekekalan energi dari hukum Bernoulli yakni apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan. Hal tersebut dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.17. Diagram Energi dan Garis Tekanan

Sumber: (Bentley, 2007)

Adapun persamaan Bernoulli dalam gambar diatas dapat ditulis sebagai berikut (Bentley, 2007):

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma_w} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma_w} + \frac{V_2^2}{2g} + H_L \quad (2-44)$$

dimana:

$$\frac{p_1}{\gamma_w}, \frac{p_2}{\gamma_w} = \text{tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g} = \text{tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$p_1, p_2 = \text{tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m}^2\text{)}$$

$$\gamma_w = \text{berat jenis air (kg/m}^3\text{)}$$

$$V_1, V_2 = \text{kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/dt)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/dt}^2\text{)}$$

$$z_1, z_2 = \text{tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)}$$

$$H_L = \text{kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)}$$

Pada Gambar diatas tampak garis yang menunjukkan besarnya tekanan air pada penampang tinjauan. Garis tekanan ini pada umumnya disebut garis gradien hidrolis atau garis kemiringan hidrolis. Jarak vertikal antara pipa dengan garis gradien hidrolis menunjukkan tekanan yang terjadi dalam pipa. Pada gambar juga tampak adanya perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2 merupakan kehilangan energi (*head loss*) yang terjadi sepanjang penampang 1 dan 2.

2.9.3. Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

Pada perencanaan jaringan pipa air tidak mungkin dapat dihindari adanya kehilangan tinggi tekan selama air mengalir melalui pipa tersebut. Kehilangan tinggi tekan dalam pipa dapat dibedakan menjadi kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*) dan kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*).

Dalam merencanakan sistem jaringan irigasi perpipaan, aliran dalam pipa harus berada pada kondisi aliran turbulen. Untuk mengetahui kondisi aliran dalam pipa turbulen atau tidak, dapat dihitung dengan identifikasi bilangan Reynold menggunakan persamaan berikut (Triatmodjo, 1993:4):

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad (2-45)$$

dimana:

$$Re = \text{bilangan Reynold}$$

- D = diameter pipa (m)
 V = kecepatan rerata (m/dt)
 ν = kekentalan kinematik (m^2/dt)

kekentalan kinetik (ν) didapat dari tabel berikut:

Tabel 2.8. Angka Kekentalan Kinetik (ν)

Suhu (°C)	Kekentalan Kinematik (m^2/dt)
0	$1,785 \times 10^{-6}$
5	$1,519 \times 10^{-6}$
10	$1,306 \times 10^{-6}$
15	$1,139 \times 10^{-6}$
20	$1,003 \times 10^{-6}$
25	$0,893 \times 10^{-6}$
30	$0,800 \times 10^{-6}$
40	$0,658 \times 10^{-6}$
50	$0,553 \times 10^{-6}$
60	$0,474 \times 10^{-6}$
70	$0,413 \times 10^{-6}$
80	$0,364 \times 10^{-6}$
90	$0,326 \times 10^{-6}$
100	$0,294 \times 10^{-6}$

Sumber: (Bentley, 2007)

Dari perhitungan bilangan Reynold, maka sifat aliran di dalam pipa dapat diketahui dengan kriteria sebagai berikut (Triatmodjo, 1993:5):

- $Re < 2000$ → aliran bersifat laminar
- $Re = 2000 - 4000$ → aliran bersifat transisi
- $Re > 4000$ → aliran bersifat turbulen

1. Kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*)

Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (*major losses*) selain bergantung juga pada jenis pipa. Ada beberapa teori dan formula untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor ini yaitu dari Hazen-Williams, Darcy-Weisbach,

Manning, Chezy, Colebrook-White dan Swamme-Jain. Adapun besarnya kehilangan tinggi tekan mayor dalam kajian ini dihitung dengan persamaan

Hazen-Williams (Bentley, 2007):

$$Q = 0,278 \times C_{hw} \times A \times R^{0,63} \times S^{0,54} \quad (2-46)$$

$$V = 0,849 \times C_{hw} \times R^{0,63} \times S^{0,54} \quad (2-47)$$

$$H_L^{0,54} = \frac{2,82}{C} \times \frac{L^{0,54} \times V}{D^{0,63}} \quad (2-48)$$

dengan:

V = kecepatan aliran pada pipa (m/dt)

C_{hw} = koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

A = luas penampang aliran (m^2)

Q = debit aliran pada pipa (m^3/dt)

L = panjang pipa (m)

S = kemiringan hidraulis

R = jari-jari hidraulis (m)

H_L = kehilangan tekanan (m/km)

Dari persamaan $Q = V \times A$, maka didapatkan persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut Hazen-Williams adalah sebagai berikut:

$$h_f = k \times Q^{1,85} \quad (2-49)$$

dimana:

$$k = \frac{10,654 \times L}{C_{hw}^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (2-50)$$

dengan:

h_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

k = koefisien karakteristik pipa

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

C_{hw} = koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

Q = debit aliran pada pipa (m^3/dt)

Tabel 2.9. Koefisien Kekasaran Pipa Hazen-Williams (C_{hw})

No	Jenis Pipa	Nilai Koefisien
1	Pipa PVC	130-150
2	Pipa Asbes	120-150
3	Pipa Berlapis Semen	100-140
4	Pipa besi digalvani	100-120
5	Cast Iron	90-125

Sumber: (Bentley, 2007)

2. Kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*)

Kehilangan energi minor diakibatkan oleh adanya belokan pada pipa sehingga menimbulkan turbulensi. Selain itu juga dikarenakan adanya penyempitan maupun pembesaran penampang secara mendadak. Hal tersebut umumnya dibangkitkan oleh adanya katup dan sambungan pipa atau *fitting* (Bentley, 2007).

Kehilangan minor pada umumnya akan lebih besar bila terjadi perlambatan kecepatan aliran di dalam pipa dibandingkan peningkatan kecepatan akibat adanya pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa (Linsley, 1989:273).

Adapun kehilangan tinggi tekan minor dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{Lm} = k \times \frac{V^2}{g} \quad (2-51)$$

dimana:

h_{Lm} = kehilangan tinggi minor (m)

V = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

k = koefisien kehilangan tinggi tekan minor

Besarnya nilai koefisien (k) sangat beragam, tergantung dari bentuk fisik pengecilan, pembesaran, belokan, dan katup. Namun nilai k ini masih merupakan pendekatan karena dipengaruhi bahan, kehalusan sambungan, dan umur sambungan. Adapun nilai k dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.10. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan Minor Berdasarkan Perubahan Bentuk Pipa (k)

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k
Inlet	
Bell mouth	0,03 – 0,05
Rounded	0,12-0,25
Sharp Edged	0,50
Projecting	0,80
Pengecilan Tiba-tiba	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,18
$D_2/D_1 = 0,50$	0,37
$D_2/D_1 = 0,20$	0,49
Pengecilan Mengerucut	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,05
$D_2/D_1 = 0,50$	0,07
$D_2/D_1 = 0,20$	0,08
Pembesaran Tiba-tiba	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,16
$D_2/D_1 = 0,50$	0,57
$D_2/D_1 = 0,20$	0,92
Pembesaran Mengerucut	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,03
$D_2/D_1 = 0,50$	0,08
$D_2/D_1 = 0,20$	0,13
Belokan 90°	
$R/D = 4$	0,16-0,18
$R/D = 2$	0,19-0,25
$R/D = 1$	0,35-0,40
Belokan Tertentu	
$\theta = 15^\circ$	0,05
$\theta = 30^\circ$	0,10
$\theta = 45^\circ$	0,20
$\theta = 60^\circ$	0,35
$\theta = 90^\circ$	0,80
T (Tee)	
Aliran searah	0,03-0,04
Aliran Bercabang	0,75-1,80
Persilangan	

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k
Aliran searah	0,50
Aliran Bercabang	0,75
45° Wye	
Aliran searah	0,30
Aliran bercabang	0,50

Sumber: (Bentley, 2007)

2.9.4. Belokan Pada Pipa

Kehilangan energi yang terjadi pada belokan pipa tergantung pada sudut belokan pipa. Rumus kehilangan energi pada belokan adalah serupa dengan rumus pada perubahan penampang, yaitu (Triatmodjo, 1993:64):

$$h_b = K_b \times \frac{v^2}{2g} \quad (2-52)$$

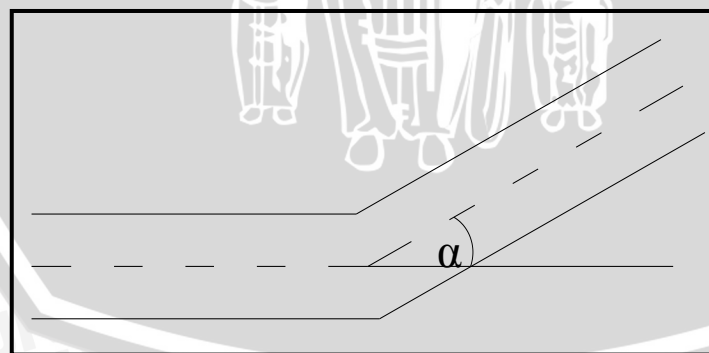
dimana:

K_b = koefisien kehilangan energi pada belokan

Tabel 2.11. Koefisien K_b sebagai fungsi sudut belokan α

Sudut Belokan Pipa (α)	20°	40°	60°	80°	90°
Koefisien K_b	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)



Gambar 2.18. Sudut Belokan Pada Pipa (α)

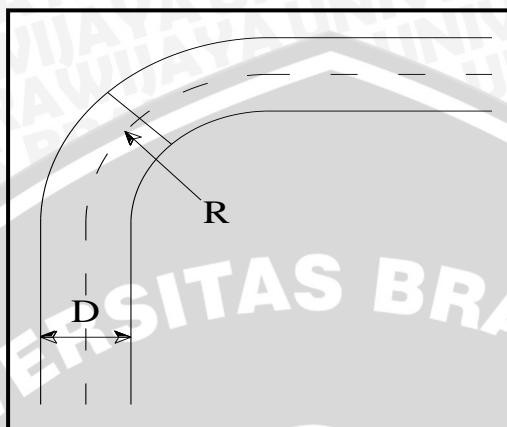
Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)

Untuk sudut belokan 90° dan dengan belokan halus (berangsur-angsur), kehilangan energi tergantung pada perbandingan antara jari-jari belokan dan diameter pipa. Nilai k_b untuk berbagai nilai R/D diberikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2.12. Nilai K_b Sebagai Fungsi R/D

R/D	1	2	4	6	10	16	20
Koefisien K_b	0,35	0,19	0,17	0,22	0,32	0,38	0,42

Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)

**Gambar 2.19. Belokan Pipa 90°**

Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)

2.9.5. Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan dalam jaringan ini dapat dibagi menjadi dua yaitu sistem perpipaan dengan hubungan seri dan sistem perpipaan dengan hubungan paralel. Penggunaan dua sistem perpipaan ini bergantung pada kondisi lapangan dan melihat tingkat kebutuhan airnya.

1. Pipa hubungan seri

Pada sistem perpipaan dengan hubungan seri, debit aliran di semua titik adalah sama sedangkan kehilangan tekanan di semua titik berbeda. Adapun persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2-53)$$

Sedangkan untuk total kehilangan tekanan pada pipa yang terpasang secara seri dirumuskan berikut:

$$H = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} \quad (2-54)$$

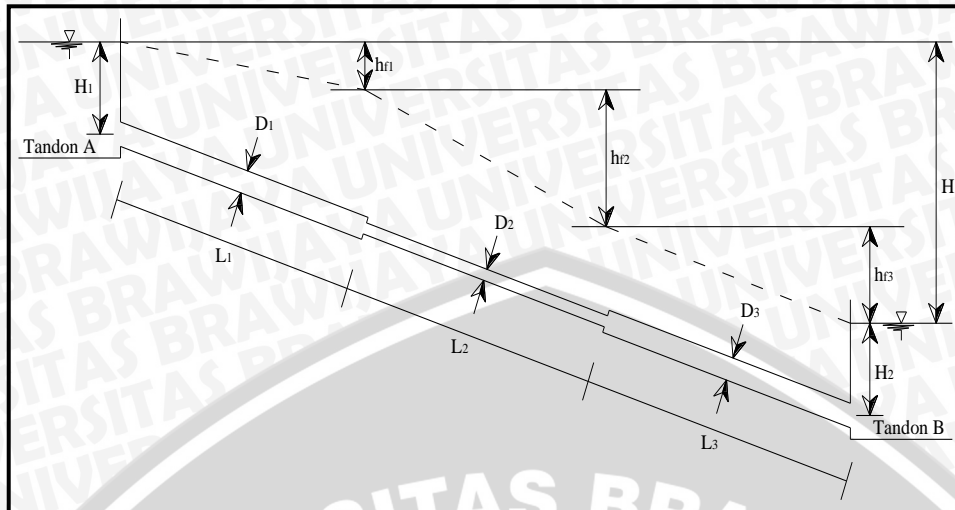
dimana:

Q = total debit pada pipa yang terpasang secara seri (m^3/det)

Q_1, Q_2, Q_3 = debit pada tiap pipa (m^3/det)

H = total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang secara seri (m)

H_{f1}, H_{f2}, H_{f3} = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)



Gambar 2.20. Pipa Hubungan Seri
 Sumber: (Triatmodjo, 1993:74)

2. Pipa hubungan paralel

Sistem perpipaan dengan hubungan paralel adalah sistem perpipaan pada keadaan dimana aliran melalui dua atau lebih pipa dihubungkan secara paralel. Persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2-55)$$

Persamaan energi untuk pipa sambungan paralel:

$$H = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} \quad (2-56)$$

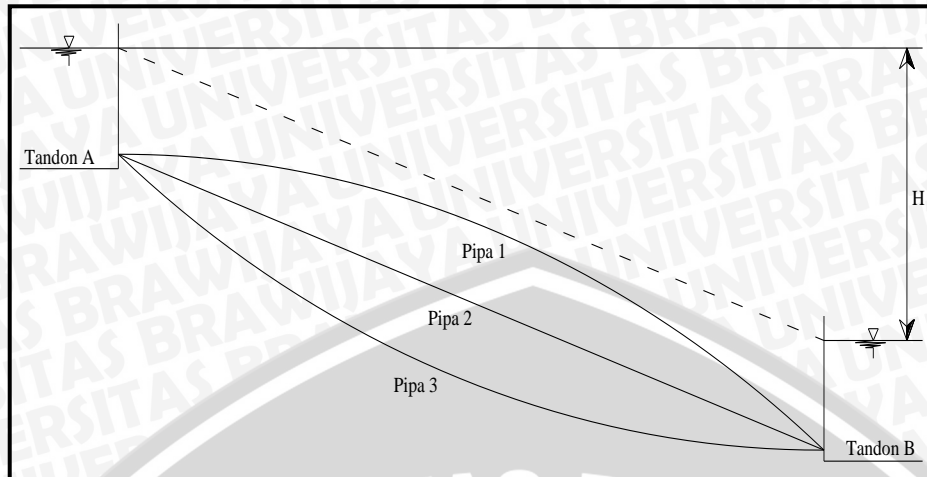
dimana:

Q = total debit pada pipa yang terpasang secara paralel
 (m^3/det)

Q_1, Q_2, Q_3 = debit pada tiap pipa (m^3/det)

H = total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang secara paralel (m)

H_{f1}, H_{f2}, H_{f3} = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)



Gambar 2.21. Pipa Hubungan Paralel

Sumber: (Triatmodjo, 1993:79)

2.9.6. Sarana Pendukung Jaringan Perpipaan

Jaringan perpipaan yang kompleks membutuhkan suatu perencanaan yang detail dan terkonsep. Oleh karena itu, diperlukan sarana pendukung untuk menyempurnakan perencanaan jaringan perpipaan tersebut. Penggunaan komponen dan sistem jaringan yang tepat tentu akan berdampak pada kinerja dari jaringan perpipaan yang direncanakan. Pipa yang digunakan dalam jaringan perpipaan harus dilengkapi dengan alat bantu agar bisa berfungsi dengan baik, seperti (Wahyudi, 2012:35):

1. Sambungan antar pipa

- Mangkok (*bell*) dan lurus (*spigol*)

Spigol dari suatu pipa dimasukkan ke dalam *bell(socket)* pipa lainnya untuk menghindari kebocoran.

- Belokan (*bend/elbow*)

Digunakan untuk mengubah arah dari arah lurus dengan sudut perubahan standar yang merupakan sudut dari belokan tersebut.

- *Flange joint*

Biasanya untuk pipa yang bertekanan tinggi, pada sambungan yang dekat dengan pompa perlu disiapkan *packing* diantara *flange* untuk mencegah kebocoran.

- Perlengkapan *Tee* dan perlengkapan “Y”
Digunakan untuk menyambung pipa yang bercabang dengan sudut 90° (*Tee*) dan sudut 45° (“Y”).
- *Increaser* dan *reducer*
Increaser digunakan untuk menyambung pipa sari diameter kecil ke pipa yang berdiameter lebih besar. Sedangkan *Reducer* digunakan untuk menyambung pipa dari diameter besar ke diameter yang lebih kecil.

2. Katup (*valve*)

- *Flow Control Valve* (FCV)
Digunakan untuk membatasi aliran pada nilai debit tertentu yang melalui katup dari hulu ke hilir. Hal ini dimaksudkan untuk membatasi permintaan maksimum pada suatu titik agar tidak mempengaruhi kinerja dan kapasitas sistem.
- *Pressure Reducer Valve* (PRV)
Digunakan untuk menanggulangi tekanan yang terlalu besar di hilir katup dari nilai yang ditetapkan pada titik khusus agar tidak merusak sistem. Jika tekanan di hilir naik melebihi nilai tekanan batas, PRV akan menutup dan akan terbuka penuh bila tekanan di hulu lebih rendah dari nilai yang ditetapkan pada katup tersebut.
- *Throttle Control Valve* (TCV) atau katup pengatur tenaga.
Katup jenis ini digunakan untuk mengontrol *minor losses* yang berubah dalam setiap waktu.
- *Pressure Sustaining Valve* (PSV)
Digunakan untuk mempertahankan tekanan yang ditetapkan pada titik khusus dalam jaringan pipa. PSV akan menutup apabila tekanan di hilir melebihi tekanan di hulu dan akan terbuka penuh jika tekanan hilir lebih tinggi dari yang ditetapkan.
- Katup penguras
Dipasang pada pipa transmisi yang elevasinya paling rendah pengurasan pipa agar kotoran yang mengendap pada pipa dapat dibuang dengan mudah.

3. Meter air

Meter air digunakan untuk mengetahui debit atau jumlah aliran yang mengalir dalam pipa. Salah satu manfaat penggunaan meter air pada sistem jaringan perpipaan adalah untuk mengetahui jumlah air yang mengalir ke konsumen.

2.10. Pompa dan Mesin Penggerak Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk menaikkan atau memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang tinggi. Sedangkan pemompaan adalah penambahan energi untuk memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang tinggi. Pada pemompaan energi berubah dari energi mekanik menjadi energi hidrolis. Tipe dan kapasitas sumur pompa diutamakan bagi pengelolaan (Tika,1990) :

1. Sumur kecil yang menggunakan teknologi sederhana dengan menggunakan pompa sentrifugal dan kedalaman dengan 30 meter, serta debit kurang dari 10 liter/detik.
2. Sumur menengah (madya) yang menggunakan teknologi madya, kedalaman sumur 30-60 meter. Pengambilan air dapat dengan pompa sentrifugal dengan debit air antara 10-20 liter/detik.
3. Sumur dalam menggunakan teknologi canggih, kedalaman lebih besar 60 meter. Pengambilan air dilakukan dengan pompa submersible atau turbin dengan debit antar 30-120 liter/detik

Pada pembuatan sumur irigasi (sumur bor) pada umumnya lebih banyak dihasilkan sumur yang bersifat non artesis, karena sifat artesis banyak ditentukan oleh kondisi geologi, hidrogeologi, dan morfologi dari lokasi dimana sumur tersebut berada. Dengan demikian secara umum dapat dikatakan bahwa untuk dapat memanfaatkan air tanah yang ada di dalam sumur irigasi (sumur bor) diperlukan pompa dan mesin penggerak serta jaringan irigasi air tanah (JIAT).

2.10.1 Jenis-jenis Pompa

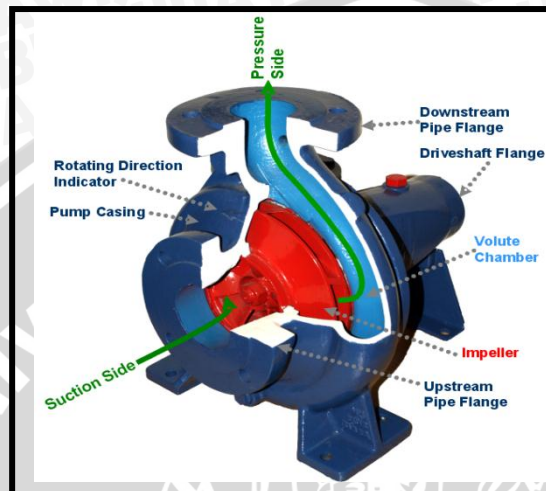
Berikut ini merupakan jenis-jenis pompa dan karakteristiknya, yaitu (Haryono, Santoso, Sumarni, Indrakusuma : 2009) :

1. Pompa Sentrifugal Keong (*Volute Centrifugal Pump*)

Karakteristik dari pompa ini adalah :

- Desain/konstruksi sederhana.
- Pemasangan dan pemeliharaan mudah dilaksanakan.

- *Pumping water level* (PWL) rendah (kurang dari 6 meter).
- Memerlukan *Fot valve* pada pipa isap (*suction pipe*).
- Perlu air pancingan pada waktu mulai dioperasikan.
- Debit antara 5 s/d 60 liter/detik.



Gambar 2.22. Pompa Centrifugal Keong (Volute Centrifugal Pump)

Sumber: <http://Fupload.wikimedia.org>

2. Pompa Centrifugal Self Priming

Karakteristik dari pompa ini adalah :

- Desain/konstruksi sederhana.
- Pemasangan dan pemeliharaan mudah dilaksanakan.
- *Pumping water level* (PWL) rendah (kurang dari 6 meter).
- Tidak memerlukan *Fot valve* pada pipa isap (*suction pipe*) dan air pancingan pada waktu mulai dioperasikan.
- Debit antara 5 s/d 60 liter/detik.

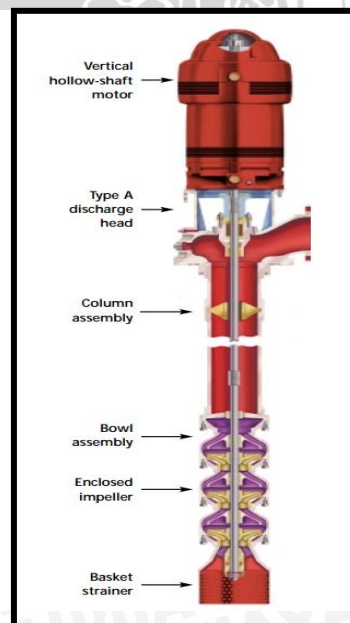


Gambar 2.23. Pompa Centrifugal Self Priming
 Sumber: mesinpompa.indonetwork.co.id

3. Pompa Turbin (Vertical Turbine Pump)

Karakteristik dari pompa ini adalah :

- Desain/konstruksi rumit.
- Pemasangan dan pemeliharaan harus teliti.
- Sesuai untuk sumur dengan kedalaman permukaan air yang dalam, lebih dari 10 meter.
- Debit antara 20 s/d 100 liter/detik.



Gambar 2.24. Pompa Turbin (Vertical Turbine Pump)
 Sumber: acfirepump.com

4. Pompa Submersibel (*Submersible Pump*)

Karakteristik dari pompa ini adalah :

- Pemasangan dan pemeliharaan instalasi listrik dari generator ke panel kontrol dan ke motor submersibel rumit.
- Pemasangan pompa mudah.
- Sesuai untuk sumur dengan kedalaman permukaan air yang dalam, lebih dari 30 meter.
- Debit antara 5 s/d 40 liter/detik.

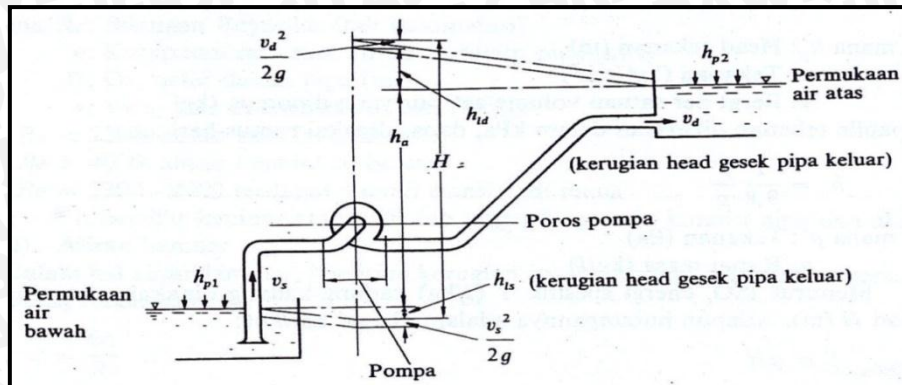


Gambar 2.25. Pompa Submersibel

Sumber: www.devsaan.com

2.10.2. Total Head Pompa

Dalam operasinya pompa harus dapat memenuhi head yang diperlukan oleh sistem pipa. Kurva head kapasitas dari pompa menyatakan kemampuan pompa untuk menentukan head yang besarnya tergantung pada kapasitas. Besarnya head sistem yaitu head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui sistem adalah sama dengan head untuk mengatasi kerugian gesek ditambah head statis sistem. Head statis ini adalah head potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair pada tadah isap dan tadah keluar.



Gambar 2.26. Total Head Pompa

Sumber: (Sularso, 2000:27)

Total head pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan dapat ditentukan berdasarkan kondisi instalasi yang akan dilayani pompa. Perhitungan total head pompa dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Sularso, 2000:26):

$$H = h_f + h_{lm} + Zb + \frac{V^2}{2 \times g} \quad (2-57)$$

dimana:

H = total head pompa (m)

h_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

h_{lm} = kehilangan tinggi tekan minor (m)

Zb = perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan sisi isap

$\frac{V^2}{2 \times g}$ = head kecepatan keluar (m)

2.10.3. Jenis-jenis Mesin penggerak Pompa

Berikut ini merupakan jenis-jenis mesin penggerak pompa dan karakteristiknya, yaitu (Haryono, Santoso, Sumarni, Indrakusuma : 2009) :

1. Motor Bensin

Pada Umumnya digunakan untuk menggerakkan pompa sentrifugal dengan kapasitas kecil (± 5 liter/detik) yang dapat digunakan untuk sumur dangkal (*shallow well*) maupun sumur menengah (*intermediate well*). Motor bensin yang digunakan dapat dari jenis 2 langkah maupun 4 langkah, yang umumnya berpendingin udara dan dengan sistem starter

engkol atau dengan tarikan tali. Mudah pengoperasian dan pemeliharaanya karena pada umumnya masyarakat kita sudah terbiasa/familiar dengan motor jenis ini.



Gambar 2.27. Motor Bensin sebagai Penggerak Pompa Sentrifugal

Sumber: perkakastajur.indonetwork.co.id

2. Motor Diesel

Pada umumnya digunakan untuk menggerakkan pompa dengan kapasitas yang lebih besar (diatas 10 liter/detik), baik untuk pompa sentrifugal untuk sumur menengah (*intermediate well*) maupun pompa pompa turbin untuk sumur dalam (*deep well*). Motor diesel yang digunakan pada umumnya jenis 4 langkah, berpendingin air atau udara, dengan sistem starter engkol maupun elektrik. Pelaksana operasi dan pemeliharaan motor disel pada umumnya diperlukan tenaga yang lebih terampil.



Gambar 2.28. Motor Diesel Penggerak Pompa

Sumber: www.indonetwork.co.id

3. Elektro Motor

Digunakan untuk menggerakkan pompa sentrifugal kapasitas 10 liter/detik. Adapun tenaga listrik yang diperlukan oleh elektro motor menggunakan pasokan dari PLN (jadi tidak menggunakan generator-set), sehingga rumah pompa menjadi lebih bersih, pada waktu beroperasi tidak berisik dan tidak menimbulkan adanya polusi. Tenaga pelaksana operasi dan pemeliharaan memerlukan tenaga yang betul-betul terampil, khususnya untuk tenaga pelaksana pemeliharaan / perbaikan.



Gambar 2.29. Elektro Motor untuk Penggerak Pompa

Sumber: www.emotor.ez

4. Generator Set atau Daya Generator

Daya generator atau Generator Set adalah besar daya yang dihasilkan untuk mengangkat atau menjalankan pompa. Daya yang dihasilkan generator harus lebih besar atau sama dengan daya yang dibutuhkan pompa agar generator tersebut kuat untuk menggerakkan pompa. Tetapi umumnya perusahaan sudah mempunyai kriteria batas daya generator yang dihasilkan dari masing-masing jenis pompa. Jenis pompa sendiri tergantung dari nilai *head* total pompa dan debit yang dibutuhkan sebelum disesuaikan dengan pompa yang tersedia di pasaran pada umumnya.

Pada efisiensi generator, pada dasarnya dapat ditentukan dengan pengukuran langsung masukan dan keluaran atau dengan perhitungan setelah rugi-rugi ditentukan. Efisiensi generator umumnya berkisar 85%-90%. Sehingga daya generator maksimal yang

dapat digunakan hanya sebesar 85%-90% dari daya total generator. Berikut merupakan rumusan dari efisiensi generator:

$$\begin{aligned} 85\% P_g &> 100\% \times P \\ P_g &> 1,176 \times P \\ P_g &> (17,6\% \times P) + P \end{aligned} \quad (2-58)$$

Namun agar lebih aman, maka diambil 30% lebih besar dari daya pompa seperti berikut.

$$P_g > (30\% \times P) + P \quad (2-59)$$

dimana:

P_g = daya genset (VA)

P = daya pompa (kW)

Pada umumnya Generator Set ini digunakan untuk menggerakkan pompa submersibel. Pelaksana operasi dan pemeliharaan pada umumnya diperlukan tenaga yang betul-betul terampil, khususnya untuk tenaga pelaksana pemeliharaan/perbaikan. Tenaga listrik yang diperlukan oleh elektro motor menggunakan pasokan listrik dan generator set, tenaga pelaksana pemeliharaan/perbaikan harus betul-betul terampil karena harus menguasai masalah motor diesel maupun sistem elektrik.



Gambar 2.30. Generator Set Penggerak Mesin Pompa

Sumber: www.dytrade.com

2.11. Head Isap Positif Neto (NPSH)

Bila tekanan statis suatu aliran zat cair turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya, maka pompa akan mengalami kavitasi. Untuk menghindari kavitasi diusahakan agar tidak ada satu bagianpun dari aliran di dalam pompa yang mempunyai tekanan statis lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Sebagai ukuran keamanan pompa terhadap kavitasi digunakan Head Isap Positif Neto atau *Net Positive Suction Head* (NPSH). Ada dua macam NPSH yaitu sebagai berikut (Sularso, 2000:44):

1. NPSH yang tersedia

NPSH yang tersedia adalah head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa (ekuivalen dengan tekanan mutlak pada sisi isap pompa) dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair di tempat tersebut. Besarnya NPSH yang tersedia dapat ditulis sebagai berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{ls} \quad (2-60)$$

dimana:

h_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = tekanan atmosfer (kgf/m^2)

P_v = tekanan uap jenuh (kgf/m^2)

γ = berat zat cair per satuan volume (kgf/m^3)

h_s = head isap statis (m)

h_s adalah positif (bertanda +) jika pompa terletak di atas permukaan zat cair yang diisap dan negatif (bertanda -) jika pompa terletak di bawah permukaan zat cair yang diisap

h_{ls} = kerugian head di dalam pipa isap (m)

2. NPSH yang diperlukan

Agar tidak terjadi penguapan zat cair maka tekanan pada lubang masuk pompa dikurangi penurunan tekanan di dalam pompa harus lebih tinggi dari pada tekanan uap zat cair. Head tekanan yang besarnya sama dengan penurunan tekanan ini disebut NPSH yang diperlukan. Besarnya NPSH yang diperlukan setiap pompa berbeda-beda. Harga NPSH yang diperlukan biasanya diperoleh dari pabrik pompa yang bersangkutan atau dari hasil percobaan prototype dan model test.

2.12. Pengoperasian Pompa

Pompa harus selalu dalam keadaan siap dioperasikan. Oleh karena itu, pengoperasiannya serta pengawasannya diusahakan sesederhana mungkin agar lebih mudah menghindarkan gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. Untuk menjaga keawetan pompa dari pengoperasian terus menerus, maka ditetapkan jam operasi maksimum pompa sebesar 21 jam/hari. Untuk kebutuhan air irigasi yang berbeda-beda setiap periode akan menyebabkan perbedaan lamanya pompa harus beroperasi. Jam operasi pompa dapat dihitung dari persamaan (Nurkartika, 2001:23):

$$V_p = V_t \quad (2-61)$$

dengan:

$$V_p = IR \times P \times A \quad (2-62)$$

$$V_t = Q \times P \quad (2-63)$$

dimana:

$$P = t \times 60 \times 60 \quad (2-64)$$

sehingga:

$$IR \times P \times A = Q \times t \times 60 \times 60 \quad (2-65)$$

dengan:

V_p = volume air yang diperlukan dalam satu periode (m^3)

V_t = volume air yang tersedia dalam satu periode (m^3)

Q = debit pemompaan (m^3/dt)

A = luas area untuk satu unit sumur (ha)

P = jumlah hari dalam satu periode

IR = kebutuhan air irigasi ($m^3/dt/ha$)

t = jam operasi pompa (jam)

2.13. Sistem Pemberian Air

2.13.1. Pemberian Air Empat Blok Rotasi

Metode pembagian air pada petak tersier yang dibagi atas empat blok rotasi adalah petak tersier dibagi menjadi empat blok rotasi yaitu:

- Blok 1
- Blok 2
- Blok 3
- Blok 4

Dimana tiap blok diusahakan agar luasnya hampir sama. Ada empat macam cara pemberian air yaitu (Walujo, 1979:34):

1. Pembagian air secara terus menerus (*continous flowing*), dilakukan bila $Q = 80\% Q_{max}$.
2. Rotasi I (satu blok tidak diairi, tiga blok lainnya diairi) dilakukan bila $Q = 60\% - 80\% Q_{max}$.

Pemberian air pada blok rotasi 1, 2, 3, dan 4 dibagi menjadi empat periode selama 14 hari atau 336 jam.

- Periode I : blok 1, 2 dan 3 diairi, sedangkan blok 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_I = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-66)$$

dimana:

P_I = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode II : blok 2, 3 dan 4 diairi, sedangkan blok 1 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_{II} = \frac{A_2 + A_3 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-67)$$

dimana:

P_{II} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode III : blok 1, 3 dan 4 diairi, sedangkan blok 2 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_{III} = \frac{A_1 + A_3 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-68)$$

dimana:

P_{III} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode IV : blok 1, 2 dan 4 diairi, sedangkan blok 3 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_{IV} = \frac{A_1 + A_2 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-69)$$

dimana:

P_{IV} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

3. Rotasi II (dua Blok tidak diairi, dua blok lainnya diairi) dilakukan bila $Q = 40\% - 60\% Q_{max}$.

Pemberian air dibagi menjadi dua periode selama waktu tujuh hari atau 168 jam, agar mendapatkan hasil yang baik maka supaya diatur agar kedua blok yang digabungkan total luasnya hampir sama, misalnya dengan cara blok yang sama luasnya terkecil digabung dengan blok yang luasnya terbesar.

- Periode I : blok 1 dan 3 diairi, sedangkan blok 2 dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_I = \frac{A_1 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-70)$$

dimana:

P_I = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode II : blok 2 dan 4 diairi, sedangkan blok 1 dan 3 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{II} = \frac{A_2 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-71)$$

dimana:

P_{II} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

4. Rotasi III (Tiga Blok tidak diairi, satu blok lainnya diairi) dilakukan bila $Q = 40\% Q_{max}$.

Pemberian air dibagi menjadi empat periode untuk waktu tujuh hari atau 168 jam.

- Periode I : blok 1 diairi, sedangkan blok 2, 3 dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_I = \frac{A_1}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-72)$$

dimana:

P_I = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode II : blok 2 diairi, sedangkan blok 1, 3, dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{II} = \frac{A_2}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-73)$$

dimana:

P_{II} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode III : blok 3 diairi, sedangkan blok 1, 2, dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{III} = \frac{A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-74)$$

dimana:

P_{III} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode IV : blok 4 diairi, sedangkan blok 1, 2, dan 3 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{IV} = \frac{A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-75)$$

dimana:

P_{IV} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3, A_4 = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

2.13.2. Pemberian Air Tiga Blok Rotasi

Metode pembagian air pada petak tersier yang dibagi atas empat blok rotasi adalah petak tersier dibagi menjadi empat blok rotasi yaitu:

- Blok 1
- Blok 2
- Blok 3

Dimana tiap blok diusahakan agar luasnya hampir sama. Ada tiga macam cara pemberian air yaitu (Walujo, 1979:35):

1. Pembagaian air secara terus menerus (*continous flowing*), dilakukan bila $Q = 80\% Q_{max}$.
2. Rotasi I (satu blok tidak diairi, dua blok lainnya diairi) dilakukan bila $Q = 50\% - 80\% Q_{max}$.

Pemberian air dibagi menjadi tiga periode selama waktu tujuh hari atau 168 jam.

- Periode I : blok 3 tidak diairi, sedangkan blok 1 dan 2 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_I = \frac{A_1 + A_2}{A_1 + A_2 + A_3} \times \frac{168}{2} \quad (2-76)$$

dimana:

P_I = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3 = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode II : blok 2 tidak diairi, sedangkan blok 1 dan 3 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:36):

$$P_{II} = \frac{A_1 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \times \frac{168}{2} \quad (2-77)$$

dimana:

P_{II} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3 = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode III : blok 1 tidak diairi, sedangkan blok 2 dan 3 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:36):

$$P_{III} = \frac{A_2 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \times \frac{168}{2} \quad (2-78)$$

dimana:

P_{III} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3 = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

3. Rotasi II (dua blok tidak diairi, satu blok lainnya diairi) dilakukan bila $Q = 50\% Q_{max}$.

Pemberian air dibagi menjadi tiga periode selama waktu tujuh hari atau 168 jam.

- Periode I : blok 2 dan 3 tidak diairi, sedangkan blok 1 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:36):

$$P_I = \frac{A_1}{A_1 + A_2 + A_3} \times 168 \quad (2-79)$$

dimana:

P_I = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3 = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode II : blok 1 dan 3 tidak diairi, sedangkan blok 2 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:36):

$$P_{II} = \frac{A_2}{A_1 + A_2 + A_3} \times 168 \quad (2-80)$$

dimana:

P_{II} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3 = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode III : blok 1 dan 2 tidak diairi, sedangkan blok 3 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:36):

$$P_{III} = \frac{A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \times 168 \quad (2-81)$$

dimana:

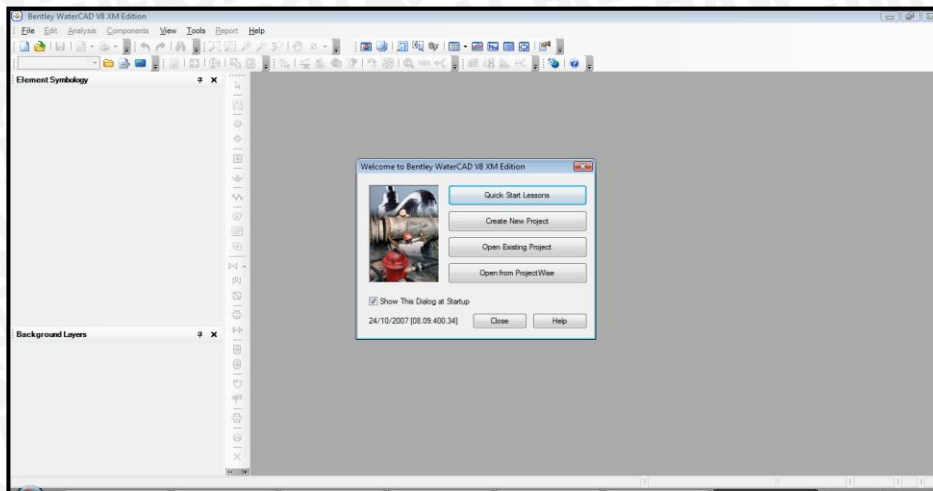
P_{III} = lamanya pemberian air (jam)

A_1, A_2, A_3 = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

2.14. Program Aplikasi *WaterCAD ver 8 XM Edition*

Program *waterCAD ver 8 XM edition* merupakan produksi dari *Bentley* dengan jumlah pipa yang mampu dianalisis yaitu lebih dari 250 buah pipa sesuai dengan spesifikasi program tersebut. Program *waterCAD ver 8 XM edition* memiliki tampilan yang memudahkan pengguna untuk menyelesaikan lingkup perencanaan dan pengoptimalisasian sistem jaringan perpipaan, seperti:

- menganalisis jaringan perpipaan pada satu kondisi waktu (kondisi permanen).
- menganalisis tahapan-tahapan simulasi pada sistem jaringan terhadap adanya kebutuhan air yang berfluktuatif menurut waktu (kondisi tidak permanen).
- menganalisis kualitas air pada sistem jaringan perpipaan.
- menghitung konstruksi biaya dari sistem jaringan perpipaan yang dibuat.
- Setiap pembukaan awal program *waterCAD ver 8 XM edition*, akan diperlihatkan sebuah *dialog box* yang disebut *welcome dialog*. Kotak tersebut memuat *quick start leason, create new project, open existing project* serta *open from project wise* seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.31. Tampilan Welcome Dialog Pada WaterCAD ver 8 XM Edition

Quick start leason digunakan untuk mempelajari program dengan melihat contoh jaringan yang telah disediakan. *WaterCAD ver 8 XM edition* akan menuntun kita memahami cara menggunakan program ini. Dan *create new project* digunakan untuk membuat lembar kerja baru.

1. Pembuatan lembar kerja

Pembuatan lembar kerja baru pada program ini dapat dilakukan dengan memilih *create new project* pada *welcome dialog*. Setelah masuk ke dalam lembar kerja baru tampilkan *background layers* dengan cara klik kanan *background layers – new – file* dan pilih *file dxf*. Selanjutnya *file dxf* terpilih masuk dalam *dxf properties* dan unit diganti dalam meter. *Background Layers* muncul dalam tampilan maka perencanaan atau penggambaran jaringan bisa dilakukan. Proses selanjutnya mengisi data-data teknis dan pemodelan komponen-komponen sistem jaringan perpipaan yang dipakai dalam penggambaran.

2. Pemodelan komponen sistem jaringan perpipaan

Komponen-komponen sistem jaringan perpipaan seperti titik reservoir, pipa, titik simpul (*junction*), tandon dimodelkan sedemikian rupa sehingga mendekati kinerja komponen tersebut di lapangan. Untuk keperluan pemodelan, *waterCAD ver 8 XM edition* telah memberikan penamaan setiap komponen tersebut secara otomatis yang dapat diganti sesuai dengan keperluan agar memudahkan dalam pengerjaan suatu komponen tertentu. Adapun jenis-jenis pemodelan komponen sistem jaringan tersebut sebagai berikut:

a. Pemodelan mata air (*reservoir*)

Pada program *waterCAD ver 8 XM edition*, *reservoir* (R) digunakan sebagai model dari suatu sumber air. *Reservoir* dimodelkan sebagai sumber air yang tidak bisa habis atau elevasi air selalu berada pada elevasi konstan pada saat berapapun kebutuhan airnya. Data yang dibutuhkan untuk memodelkan *reservoir* (R) adalah kapasitas debit dan elevasi mata air tersebut.

b. Pemodelan tandon (*watertank*)

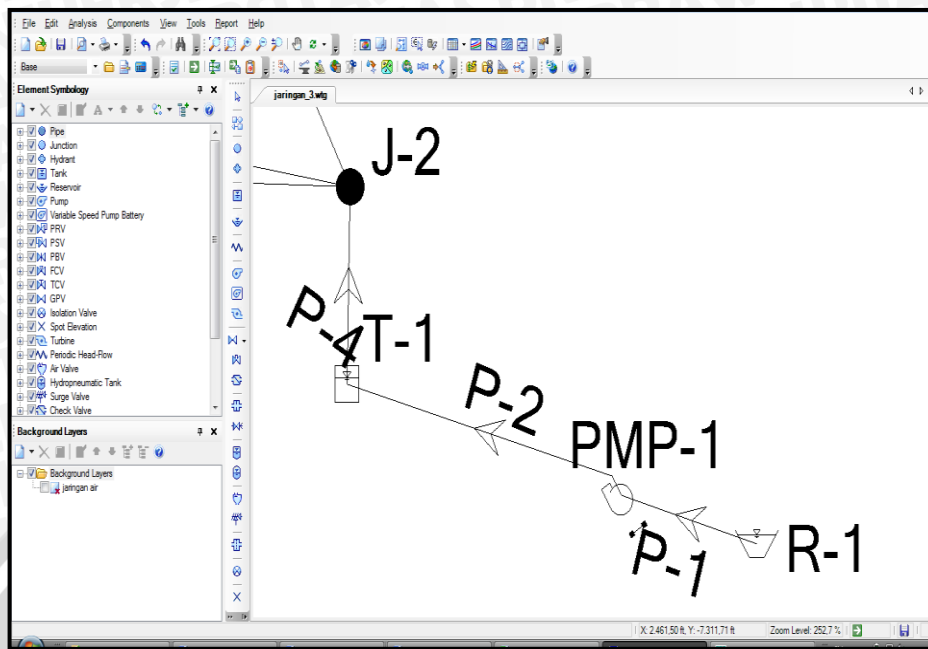
Untuk pemodelan tandon (T) diperlukan beberapa data yaitu ukuran bentuk dan elevasi tandon. Data elevasi yang dibutuhkan oleh tandon meliputi tiga macam yaitu elevasi maksimum, elevasi minimum dan elevasi awal kerja (*initial elevation*) dimana elevasi awal kerja harus berada pada kisaran elevasi minimum dan elevasi maksimum.

c. Pemodelan titik-titik simpul (*junction*)

Titik simpul merupakan suatu simbol yang mewakili atau komponen yang bersinggungan langsung dengan konsumen dalam hal pemberian air baku. Ada dua tipe aliran pada titik simpul ini, yaitu berupa kebutuhan air (*demand*) dan berupa aliran masuk (*inflow*). Jenis aliran yang berupa kebutuhan air baku digunakan bila pada simpul tersebut ada pengambilan air, sedangkan aliran masuk digunakan bila pada titik simpul tersebut ada tambahan debit yang masuk. Data yang dibutuhkan sebagai masukan bagi titik simpul antara lain elevasi titik simpul dan data kebutuhan air baku pada titik simpul tersebut.

d. Pemodelan pipa

Pipa adalah suatu komponen yang menghubungkan katup (*valve*), titik simpul, pompa dan tandon. Untuk memodelkan pipa, memerlukan beberapa data teknis seperti jenis bahan, diameter dan panjang pipa. Jenis bahan pipa telah disediakan sehingga dapat dipilih secara langsung sesuai dengan jenis bahan pipa yang digunakan. Sedangkan diameter dan panjang pipa dapat dirancang sesuai dengan kondisi di lapangan. Apabila diatur secara skalatis, maka ukuran panjang pipa secara otomatis berubah sesuai dengan perbandingan skala ukuran yang dipakai. Sedangkan dalam pengaturan skematis, panjang pipa dapat diatur tanpa memperhatikan panjang pipa di layar komputer.



Gambar 2.32. Komponen Jaringan Perpipaan

3. Perhitungan dan analisis sistem jaringan perpipaan

Setelah jaringan tergambar dan semua komponen tertata sesuai dengan yang direncanakan, maka untuk menganalisis sistem jaringan tersebut dilakukanlah *running program (calculate)*.

The 'Calculation Summary (1: Base)' window displays the following table:

Time (hours)	Balanced?	Trials	Relative Flow Change	Flow Supplies
00:00:00	True	2	0.0000045	
00:06:00	True	3	0.0005478	
00:07:50	True	3	0.0004053	
01:00:00	True	10	0.0000952	
01:17:00	True	3	0.0003086	
02:00:00	True	10	0.0000088	
02:18:25	True	3	0.0000222	
03:00:00	True	10	0.0000078	
03:38:37	True	3	0.0001448	
04:00:00	True	10	0.0000068	
05:00:00	True	2	0.0000007	
05:00:00	True	3	0.00004319	
07:00:00	True	2	0.0000002	

The interface also shows a 'Background Layers' panel with 'jaringan air' selected.

Gambar 2.33. Tampilan Hasil *Running Program (calculate)*

2.15. Analisa Rencana Anggaran Biaya

Pengertian umum rencana anggaran biaya adalah keseluruhan biaya yang akan dianggarkan pada pelaksanaan suatu proyek. Adapun secara definitif dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Rencana, merupakan himpunan suatu tujuan (*planning*), termasuk detail atau penjelasan dan tata cara pelaksanaan pembuatan sebuah proyek pembangunan.
- Anggaran, merupakan perkiraan atau perhitungan biaya suatu proyek pembangunan.
- Biaya, merupakan besar pengeluaran yang berhubungan dengan item pekerjaan yang tercantum dalam persyaratan-persyaratan yang terlampir.

Secara umum Rencana Anggaran Biaya (RAB) mencakup tiga (3) aspek utama yaitu, merencanakan bentuk bangunan yang memenuhi syarat, menentukan biaya dan menyusun tata cara pelaksanaan teknis dan administratif. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

2.15.1. Analisa Bahan

Menaksir harga bahan biasanya dibuat daftar bahan yang menjelaskan mengenai banyaknya, ukuran berat, dan ukuran-ukuran lainnya yang diperlukan. Harga bahan yang dipakai adalah harga bahan yang ada ditempat kerja, jadi sudah termasuk biaya angkutan, biaya menaikkan dan menurunkan, pengepakan, penyimpanan sementara digudang, dan lain-lain. (Soedrajat S, 1984).

2.15.2. Analisa Alat

Suatu peralatan yang diperlukan untuk suatu jenis konstruksi, haruslah termasuk didalamnya bangunan-bangunan sementara, mesin-mesin, alat-alat tangan. Misalnya, alat yang digunakan untuk pekerjaan beton ialah mesin-mesin pengaduk beton, alat-alat tangan untuk membuat cetakan, memotong dan membengkokkan besi-besi tulangan, dan lain-lain. Biaya peralatan termasuk juga biaya sewa, pengangkutan, pemasangan alat, memindahkan, membongkar dan biaya operasi juga dapat dimasukkan biaya operator mesin dan pembantunya. Harga satuan dapat berdasarkan waktu atau hasil pekerjaan yang akan dikerjakan, misalnya ongkos tiap tiap jam dapat dihitung dengan cara membagi jumlah ongkos pengadaan peralatan dengan jumlah jam dimana peralatan selalu berada dipekerjaan itu atau dengan cara membagi dengan jumlah jam dimana peralatan selalu

berada dipekerjaan itu atau dengan membagi dengan jumlah jam kerja yang betul-betul dipakai untuk mengoperasikan peralatan tersebut. (Soedrajat S, 1984).

2.15.3. Analisa Upah Kerja

Untuk mengkaji upah dibedakan atas upah harian, borongan perunit volume, atau borongan untuk keseluruhan untuk daerah tertentu (Paulus N, 1985). Biaya upah buruh dipengaruhi berbagai macam hal seperti: panjangnya jam kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu jenis pekerjaan, keadaan tempat pekerjaan, keterampilan dan keahlian buruh yang bersangkutan (Soedrajat S, 1984)

2.15.4. Harga Satuan Pekerjaan

Biaya yang dihitung dalam suatu analisis harga satuan suatu pekerjaan, yang terdiri atas biaya langsung (tenaga kerja, bahan, dan peralatan) dan biaya operasional atau tidak langsung (biaya umum atau *over head*, dan keuntungan) sebagai mata pembayaran suatu jenis pekerjaan tertentu, termasuk pajak-pajak (DPU,2008).

2.16. Analisa Biaya (Cost)

Pada analisis kelayakan ekonomi biaya-biaya tersebut dikelompokkan menjadi beberapa komponen sehingga memudahkan analisis perhitungan. Menurut kuiper (1971) semua biaya itu dikelompokkan menjadi dua yaitu biaya modal (*capital cost*) dan biaya tahunan (*annual cost*).

2.16.1. Biaya Modal

Definisi dari biaya modal adalah jumlah semua pengeluaran yang dibutuhkan mulai dari prastudi sampai proyek selesai dibangun. Semua pengeluaran yang termasuk dalam biaya modal ini dibagi menjadi dua bagian yaitu biaya langsung dan biaya tak langsung (Kodoatie, 1995).

Dalam studi kali ini yang termasuk biaya langsung adalah sebagai berikut:

1. Biaya konstruksi

Biaya ini adalah biaya pekerjaan rumah pompa, pekerjaan jaringan irigasi, pekerjaan pagar rumah pompa, pekerjaan paving, pencucian sumur, dan pengadaan dan pemasangan pompa.

2. Biaya Administrasi

Dalam proyek pembangunan sumur dalam ini, biaya administrasi sudah termasuk dalam biaya pekerjaan persiapan.

2.16.2. Biaya Tahunan (*Annual Cost*)

Pada saat sebuah proyek telah selesai dibangun merupakan waktu awal dari umur proyek sesuai dengan rekayasa teknik yang telah dibuat pada waktu mendesain. Pada saat ini pemanfaatan proyek dimulai. Selama pemanfaatan, proyek ini masih memerlukan biaya sampai umur proyek selesai.

Biaya operasi dan pemeliharaan merupakan perkiraan biaya yang dikeluarkan setiap tahunnya untuk pengoperasian sumur dalam dan pemeliharaan bangunan penunjang agar bisa berfungsi sebagaimana mestinya. Biaya operasional dan pemeliharaan untuk sumur dalam sesuai dengan kesepakatan P3A.

Yang termasuk dalam biaya tahunan (*annual cost*) pada proyek ini adalah:

1. Biaya pemompaan sumur dalam tiap tahun

Biaya pemompaan dihitung dalam sistem biaya operasi pompa perjam, kemudian dari kebutuhan air perluas untuk masing-masing musim tanam diketahui biaya pemompaan sumur dalam tiap tahun.

2. Biaya pemeliharaan tiap tahun

Biaya pemeliharaan pada sumur dalam meliputi biaya pemeliharaan mesin pompa, biaya pemeliharaan rumah pompa, dan biaya pemeliharaan jaringan irigasi air tanah. Menurut Pabundu (1990) biaya pemeliharaan mesin pompa diperkirakan 4% - 5% pertahun dari harga mesin dan pompa, untuk biaya pemeliharaan rumah pompa sebesar 3% pertahun dari biaya pembangunannya, dan biaya pemeliharaan jaringan irigasi air tanah sebesar 2,5% - 4% pertahun dari biaya pembuatan jaringan irigasi.

2.16.3. Analisa Manfaat (*Benefit*)

Benefit adalah kenaikan produksi akibat adanya proyek, dibandingkan bila tidak ada proyek (Adhi Suyanto, dkk, 2001). Dalam pembangunan sumber daya air manfaat proyek dapat dibedakan atas manfaat langsung (*direct benefit*) atau manfaat utama dan manfaat tidak langsung (*indirect benefit*). Berdasarkan dapat atau tidaknya dinilai dengan uang manfaat dibedakan menjadi 2 yaitu (Adhi Suyanto, dkk. 2001):

1. *Tangible benefit*, manfaat yang timbul dapat dinilai langsung dengan uang.
2. *Intangible benefit*, manfaat yang timbul tidak dapat dinilai dengan uang misal rasa aman, terpeliharanya lingkungan, dan lain-lain.

2.17. Analisa Ekonomi

Terdapat berbagai macam metode dalam menganalisa kelayakan ekonomi yang biasa digunakan yaitu:

1. *Net Present Value* (NPV)
2. *Annual Equivalent* (AE)
3. *Internal Rate of Return* (IRR)
4. *Benefit Cost Ratio* (BCR)
5. *Payback Period* (PBP)

Pada dasarnya semua metode tersebut konsisten satu sama lain, artinya jika dievaluasi dengan metode lainnya akan menghasilkan rekomendasi yang sama, tetapi informasi spesifik yang dihasilkan berbeda. Oleh karena itu, dalam praktiknya masing-masing metode sering dipergunakan secara bersamaan dalam rangka mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif terhadap perilaku investasi tersebut (M. Giatman, 2007).

2.17.1. *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) atau nilai sekarang bersih adalah analisis manfaat finansial yang digunakan untuk mengukur layak tidaknya suatu usaha dilaksanakan dilihat dari nilai sekarang (present value) arus kas bersih yang akan diterima dibandingkan dengan nilai sekarang dari jumlah investasi yang dikeluarkan. Arus kas bersih adalah laba bersih usaha ditambah penyusutan, sedang jumlah investasi adalah jumlah total dana yang dikeluarkan untuk membiayai pengadaan seluruh alat-alat produksi yang dibutuhkan dalam menjalankan suatu usaha.

Jadi, untuk menghitung NPV dari suatu usaha diperlukan data tentang: (1) jumlah investasi yang dikeluarkan, dan (2) arus kas bersih per tahun sesuai dengan umur ekonomis dari alat-alat produksi yang digunakan untuk menjalankan usaha yang bersangkutan.

2.17.2. *Annual Equivalent* (AE)

Metode annual ekuivalen konsepnya merupakan kebalikan dari metode NPV. Jika pada metode NPV seluruh aliran cash ditarik pada posisi present, sebaliknya pada metode AE ini aliran cash justru didistribusikan secara merata pada setiap periode waktu sepanjang umur investasi, baik cash-in maupun cash-o. Indikator lain adalah AE yaitu nilai ekuivalen tahunan dari aliran kas. Investasi layak apabila $AE > 0$.

2.17.3. *Internal Rate of Return (IRR)*

Berbeda dengan metode sebelumnya, dimana umumnya kita mencari nilai ekuivalen cash flow dengan mempergunakan suku bunga sebagai faktor penentu utamanya, maka pada metode Internal Rate of Return (IRR) ini justru yang akan dicari adalah suku bunganya di saat NPV sama dengan nol. Jadi pada metode IRR ini informasi yang dihasilkan berkaitan dengan tingkat kemampuan cash flow dalam mengembalikan investasi yang dijelaskan dalam bentuk % periode waktu. Logika sederhananya menjelaskan seberapa kemampuan cash flow dalam mengembalikan modalnya dan seberapa besar pula kewajiban yang harus dipenuhi. Kemampuan inilah yang disebut dengan Internal Rate of Return (IRR), sedangkan kewajiban disebut dengan Minimum Atractive Rate of Return (MAAR). Dengan demikian, suatu rencana investasi akan dikatakan layak/menguntungkan jika: $IRR \geq MARR$.

Nilai MARR umumnya ditetapkan secara subyektif melalui suatu pertimbangan-pertimbangan tertentu dari investasi tersebut. Dimana pertimbangan yang dimaksud adalah:

- Suku bunga investasi (i);
- Biaya lain yang harus keluar untuk mendapatkan investasi (C_c);
- Faktor resiko investasi (α).

2.17.4. *Benefit Cost Ratio (BCR)*

Metode benefit cost ratio (BCR) adalah salah satu metode yang sering digunakan dalam tahap-tahap evaluasi awal perencanaan investasi atau sebagai analisis tambahan dalam rangka memvalidasi hasil evaluasi yang telah dilakukan dengan metode lainnya. Disamping itu, metode ini sangat baik dilakukan dalam rangka mengevaluasi proyek-proyek pemerintah yang berdampak langsung pada masyarakat banyak (public government project), dampak yang dimaksud baik yang bersifat positif maupun yang negatif. Metode BCR ini memberikan penekanan terhadap nilai perbandingan antara aspek manfaat (benefit) yang akan diperoleh dengan aspek biaya dan kerugian yang akan ditanggung (cost) dengan adanya investasi tersebut.

Aspek benefit dan cost dalam proyek-proyek pemerintah mempunyai pengertian yang lebih luas dari pada pengertian biasa, dimana benefit dan cost itu sendiri sering kali ditemukan dalam bentuk manfaat maupun biaya tidak langsung yang diperoleh pemerintah atau masyarakat. Contohnya investasi terhadap pembukaan jalan baru, pembangunan pasar, terminal, pelabuhan, bendungan, waduk, pertamanan, kompleks wisata, rumah sakit, rumah

ibadah, sekolah, dan sebagainya. Sebagai contoh, pembangunan jalan baru yang melalui suatu daerah tertentu, benefit langsungnya pada masyarakat tentu tidak hanya efisiensi perjalanan, tetapi juga akan menghasilkan manfaat turutan lain seperti peningkatan produktivitas lahan disekitar jalan tersebut, peningkatan pertumbuhan ekonomi masyarakat, dan sebagainya. Untuk mengetahui suatu investasi disebut layak atau tidak, diperlukan suatu kriteria dalam metode BCR, kriteria tersebut adalah (M. Giatman,2007):

Jika : $BCR > 0$ maka investasi layak (*feasible*)

$BCR < 0$ maka investasi tidak layak (*unfeasible*)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

