

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

1. Pengertian Umum

Yang dimaksud dengan operasi dan pemeliharaan bendungan adalah segala kegiatan yang berkaitan dengan usaha untuk mewujudkan / melaksanakan tujuan dari dibangunnya bendungan sehingga tujuannya tercapai dengan baik. Kegiatan tersebut adalah mengatur penggunaan air yang tersedia seoptimal mungkin sesuai dengan kebutuhannya, serta dengan tetap menjaga terpeliharanya waduk / bendungan dan bangunan-bangunan pelengkapannya dan tetap terpeliharanya kelestarian / keseimbangan sumber daya air tersebut.

2. Sistem Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air irigasi tidak seluruhnya diambil dari waduk, disamping memperhatikan curah hujan yang ada, kita harus memperhatikan pula sumber air yang lain, yaitu sungai-sungai yang ada pada daerah irigasi tersebut. Air waduk hanya diberikan sebagai suplesi untuk memenuhi kekurangan air yang telah tersedia.

Untuk menentukan besarnya pengeluaran air dari waduk, kita harus tahu besarnya debit sungai yang dapat dimanfaatkan untuk irigasi melalui bendung / pintu-pintu intake.

2.2. Manfaat Waduk

1. Irigasi

Pada saat musim hujan, air hujan yang turun di daerah tangkapan air sebagian besar akan mengalir ke sungai-sungai, air itu dapat ditampung sehingga pada musim kemarau air yang tertampung tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain untuk irigasi lahan

pertanian. Saat ini luas areal lahan irigasi yang terlayani oleh Waduk Sempor seluas 6478 ha.

2. Penyediaan air baku

Air baku adalah air bersih yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air minum, air rumah tangga. Waduk selain sebagai sumber untuk pengairan persawahan juga dimanfaatkan sebagai sumber penyediaan air baku untuk bahan baku air minum dan air rumah tangga. Air yang dipakai untuk air baku harus memenuhi persyaratan sesuai dengan kegunaannya. Dalam hal pemenuhan kebutuhan dihasilkan 100 liter/det air baku.

3. Sebagai PLTA

Dalam menjalankan fungsinya sebagai PLTA, waduk dikelola untuk mendapatkan kapasitas listrik yang dibutuhkan. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang biasanya terintegrasi dalam bendungan dengan memanfaatkan energi mekanis aliran air untuk memutar turbin, diubah menjadi energi listrik melalui generator. Dari potensi yang ada dapat dihasilkan listrik sebesar 1,1 MW/tahun.

4. Perikanan

Untuk mengganti mata pencaharian para penduduk desa yang desanya ditenggelamkan untuk pembuatan waduk yang dulu bermata pencaharian sebagai petani sekarang beralih ke dunia perikanan dengan memanfaatkan waduk ini para penduduk dapat membuat rumah apung yang digunakan untuk peternakan ikan air tawar jadi ikan-ikan itu dipelihara di dalam jaring apung.

5. Pariwisata

Dengan pemandangan yang indah waduk juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat rekreasi.

2.3. Bagian - bagian Waduk

1. Bendungan (Dam)

Bendungan (dam) dapat didefinisikan sebagai suatu penghalang (*barrier*) yang dibangun memotong sungai untuk menampung air selama periode tertentu dan melepaskannya kembali apabila dibutuhkan. Di bagian hulu barrier ini akan terbentuk suatu kolam (*reservoir*) atau lebih umum disebut waduk. Berbeda dengan fungsi sebuah bendung yang tidak dapat menyimpan air melainkan hanya untuk meninggikan muka air sungai dan mengalirkan sebagian air sungai yang ada ke arah tepi kanan dan/atau kiri sungai untuk mengalirkannya ke dalam saluran melalui sebuah bangunan pengambilan jaringan irigasi. Dengan memiliki daya tampung tersebut sejumlah besar air sungai yang melebihi kebutuhan dapat disimpan dalam waduk dan baru dapat dilepas mengalir ke dalam sungai lagi di hilirnya sesuai dengan kebutuhan saja pada waktu yang diperlukan.

Konsep dasar perencanaan sebuah bendungan biasanya tidak berdiri sendiri melainkan menjadi satu dengan perencanaan sebuah bendung yang lokasinya berjarak beberapa kilometer sampai puluhan kilometer di sebelah hilirnya. Pelaksanaan konstruksinya bisa bersamaan, namun umumnya bendung yang dilaksanakan terlebih dahulu dan setelah bendung berfungsi bertahun-tahun dan ternyata diperlukan tambahan kebutuhan air yang lebih dapat diandalkan, maka barulah bendungan di sebelah hulu dilaksanakan konstruksinya. Dengan kapasitas tampungan yang besar dan elevasi air yang tinggi sebuah bendungan selain dapat mengatur besar aliran sungai di sebelah hilirnya agar menjadi lebih merata sepanjang tahun, juga dapat berfungsi sekaligus sebagai sarana pengendali banjir yang efektif. Selain itu muka air waduk yang cukup tinggi itu dapat menggerakkan turbin PLTA sebelum dimanfaatkan untuk kepentingan lain. Sebagai keuntungan tambahan, waduk ini digunakan juga untuk perikanan dan pariwisata.

Macam-macam bendungan adalah sebagai berikut :

- a. Tipe bendungan berdasarkan tujuan pembangunannya :
 1. Bendungan dengan tujuan tunggal (*single purpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja. Misalnya untuk pembangkit tenaga listrik, irigasi (pengairan), pengendali banjir, perikanan darat atau tujuan lainnya tetapi hanya untuk satu tujuan saja.
 2. Bendungan serbaguna (*multi purpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan. Misalnya untuk pembangkit tenaga listrik (PLTA) dan irigasi (pengairan), pengendali banjir dan PLTA, air minum dan air industri, PLTA, pariwisata dan irigasi dan lain-lain.
- b. Tipe bendungan berdasarkan penggunaannya :
 1. Bendungan penampung air (*storage dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan. Termasuk dalam bendungan penampung adalah tujuan rekreasi, perikanan, pengendali banjir dan lain-lain.
 2. Bendungan pembelok (*diversion dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air ke dalam system aliran menuju ke tempat yang memerlukan. Untuk itu bendungan pengelak mempunyai ketinggian yang kecil dan tidak ada waduk. Termasuk dalam bendungan pengelak ini adalah bendung (*weir*) dan bendung gerak (*barrage*).
 3. Bendungan penahan (*detention dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seminimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Dengan cara menyimpan air selama banjir dan melepaskannya secara berangsur-angsur dengan laju aliran yang aman. Pada umumnya ada dua tipe bendungan penampung :

- a. Air ditampung sementara, kemudian dilepas melalui pelepasan (*outlet*) secara berangsur-angsur sesuai dengan kapasitas sungai hilir.
 - b. Air tidak dialirkan dan tidak ada bangunan pelepasan. Air yang tertahan dibiarkan meresap kedalam tanah sebagai air tanah.
- c. Tipe bendungan berdasarkan jalannya air :
1. Bendungan untuk dilewati air (*overflow dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk dilimpasi air, misalnya pada bangunan pelimpah.
 2. Bendungan untuk menahan air (*non overflow dam*) adalah bendungan yang sama sekali tidak boleh dilimpasi air.
- Kedua tipe ini biasanya dibangun berbatasan dan dibuat dari beton, pasangan batu atau pasangan bata.
- d. Tipe bendungan berdasarkan material pembentuknya :
1. Bendungan urugan (*fill dam, embankment dam*) adalah bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan-bahan lain yang bersifat campuran secara kimia jadi benar-benar bahan pembentuk bangunan asli. Bendungan ini masih dapat dibagi dua jenis yaitu bendungan urugan serba sama (*homogeneous dam*) adalah bendungan yang bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya hampir seragam. Sedangkan jenis yang kedua adalah bendungan zonal, adalah bendungan yang bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu.
 2. Bendungan beton (*concrete dam*) adalah bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya lebih ramping. Bendungan ini masih dibagi lagi menjadi : bendungan beton berdasar berat sendiri stabilitas tergantung pada

massanya, bendungan beton dengan penyangga (*buttress dam*) permukaan hulu menerus dan di hilirnya pada jarak tertentu ditahan, bendungan beton berbentuk lengkung dan bendungan beton kombinasi.

2. Bangunan Pelimpah

Pelimpah pada bangunan utama bangunan penampung berfungsi untuk mengalirkan air banjir dari waduk bila waduk penuh. Ada beberapa tipe pelimpah :

a. Pelimpah Terjunan (*overflow outflow*)

Pelimpah jenis ini bentuknya menyerupai tubuh bendung tetap, yaitu air lewat di atas mercu.

b. Pelimpah Samping

Aliran air setelah melewati mercu bendung dialirkan melalui saluran yang sejajar dengan mercu. Pelimpah samping sesuai untuk bendungan urugan tanah atau urugan batu.

c. Pelimpah Peluncur (*chute spillway*)

Pelimpah peluncur merupakan salah satu bangunan yang digunakan untuk mengalirkan kelebihan air waduk melalui saluran terbuka yang mempunyai kemiringan besar (curam), dan disebut peluncur. Pada umumnya jenis pelimpah ini dibangun terpisah dengan bendungannya dan sering digunakan pada bendungan jenis urugan.

d. Pelimpah Corong (*Shaft Spillway*)

Disebut juga *morning glory spillway*, mempunyai bentuk seperti sebuah cerobong tegak dengan sebuah corong tegak lurus yang dihubungkan dengan pipa horizontal keluar dari bendungan.

3. Pipa Hollow Jet

Pipa ini berfungsi untuk irigasi.

4. Ruang PTL (Pembangkit Tenaga Listrik)

Ruangan ini digunakan untuk ruang komponen pembangkit (generator).

5. Pipa Pesat (*Penstock Unit*)

Yaitu tempat mengalirkan air yang digunakan untuk memutar turbin, alurnya pertama air masuk kedalam saluran penstock lalu tekanan air yang terjadi akan memutar turbin didalam rumah keong setelah itu turbin memutar generator yang dapat menghasilkan listrik.

2.4. Pola Pengoperasian Waduk

Pola pengoperasian waduk adalah suatu acuan / pedoman pengaturan air untuk pengoperasian waduk-waduk yang disepakati bersama oleh para pemanfaat air dan pengelola melalui Panitia Tata Pengaturan Air (PTPA).

Pengoperasian waduk secara efisien dan optimal merupakan permasalahan yang kompleks karena melibatkan beberapa faktor seperti :

1. *Operational Policy*, pola kebijakan pengoperasian waduk.
2. Debit *inflow* yang akan masuk ke waduk yang tergantung dari ketepatan perencanaan debit yang akan masuk ke waduk tersebut.
3. *Demand*, kebutuhan air untuk irigasi, air baku, dan PLTA.
4. Keandalan peralatan monitoring tinggi muka waduk, debit aliran, dan curah hujan.
5. Koordinasi antara instansi yang terkait.
6. Kemampuan Operator.
7. Koordinasi pengoperasian jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang, serta pengoperasian *real time*.

Memanfaatkan air secara optimal dengan cara mengalokasikan secara proporsional sedemikian sehingga tidak terjadi konflik antar kepentingan.

Kebijakan pola pengoperasian waduk dapat dibedakan menjadi 5, yaitu:

1. *Standard Operating Policy (SOP)*
2. *Dinamik Program Deterministik Ataupun Implisit Stokastik*
3. *Dinamik Program Stokastik*
4. *Linear Program*

5. Rule Curve

Penjelasan masing-masing kebijakan pola pengoperasian waduk adalah sebagai berikut :

1. Standard Operating Policy (SOP)

Kebijakan pola pengoperasian waduk berdasarkan SOP adalah dengan menentukan *outflow* terlebih dahulu berdasarkan ketersediaan air di waduk dikurangi kehilangan air. Sejauh mungkin *outflow* yang dihasilkan dapat memenuhi seluruh kebutuhan / *demand* dengan syarat air berada dalam zona kapasitas / tampungan efektif. Besarnya pelepasan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$RL_t = I_t + S_{t-1} - E_t - S_{maks}, \text{ apabila } I_t + S_{t-1} - E_t - D_t > S_{maks}$$

$$RL_t = I_t + S_{t-1} - E_t - S_{min}, \text{ apabila } I_t + S_{t-1} - E_t - D_t < S_{min}$$

$$RL_t = D_t, \text{ apabila } S_{min} > I_t + S_{t-1} - E_t - D_t > S_{maks}$$

2. Dinamik Program Deterministik Atau pun Implisit Stokastik

Asumsi bahwa semua parameter atau variabel yang terdapat dalam model program linier dapat diperkirakan dengan pasti (*nonstochastic*), meskipun tidak dengan tepat (*Buras, 1975; Asri, 1984*). Pada model *Deterministik*, debit *inflow* pada masing-masing interval waktu telah ditentukan. Secara sederhana, model ini menggunakan nilai harapan (*expected value*) dari sebuah variabel acak yang diskrit.

3. Dinamik Program Stokastik

Pada model *Stokastik*, debit *inflow* diperoleh sebagai suatu proses stokastik dari data-data yang ada dan cara pendekatannya adalah sebagai suatu proses *Markov* yang ditampilkan dengan sebuah matrik probabilitas transisi. Dapat disimpulkan bahwa, program dinamik *stokastik* menggunakan probabilitas *inflow* bersyarat yang diperoleh dari matrik

probabilitas transisi dan nilai yang diharapkan yang diperoleh dari fungsi tujuan yang berulang perhitungannya (*recursive objective function*).

4. *Linear Program*

Program Linier banyak dipakai dalam optimasi pendayagunaan sumber daya air, baik untuk permasalahan operasi dan pengelolaan yang sederhana sampai permasalahan yang kompleks. Teknik program linier dapat dipakai apabila terdapat hubungan linier antara variabel-variabel yang dioptimasi, baik dalam fungsi tujuan (*objective function*) maupun kendala (*constraint function*).

Apabila permasalahan yang ditinjau bersifat non linier, seperti yang umum dijumpai dalam sumber daya air, maka hubungan antara variabel diubah menjadi bentuk linier atau persamaan-persamaan non linier pada fungsi sasaran dan kendala dipecah menjadi beberapa persamaan linier dan diselesaikan dengan metode iterasi dan aproksimasi (*Yeh, 1985*).

Keunggulan program linier adalah kemudahannya untuk penyelesaian permasalahan optimasi berdimensi besar, sedangkan kelemahannya adalah kemungkinan terjadinya kesalahan, dan kekeliruan dari hasil program ini sangat besar karena pendekatan yang dilakukan dalam melinierisasi fenomena non linear pada beberapa variabel tidak tepat (*Makrup, 1995; Goulter, 1981*). Oleh karena itu, keandalan program linier tergantung pada tingkat pendekatan dalam linierisasi hubungan antara variabel.

5. *Rule Curve*

Rule curve adalah suatu ilmu yang menunjukkan keadaan waduk pada akhir periode pengoperasian yang harus dicapai untuk suatu nilai *outflow* tertentu (*Mc. Mahon, 1978*). *Rule curve* pengoperasian waduk adalah kurva / grafik yang menunjukkan hubungan antara elevasi muka air

waduk, debit *outflow* dan waktu dalam satu tahun (*Indra Karya, 1993*). *Rule curve* ini digunakan sebagai pedoman pengoperasian waduk dalam menentukan pelepasan yang diizinkan dan sebagai harapan memenuhi kebutuhan. Akan tetapi pada kenyataannya, kondisi muka air waduk pada awal operasi belum tentu akan sama *Rule curve* rencana. Untuk mencapai elevasi awal operasi yang direncanakan, mungkin harus lebih banyak volume air yang dibuang. Sebaliknya apabila debit terjadi dari tahun-tahun kering, rencana pelepasan harus disesuaikan dengan kondisi air yang ada.

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemenuhan kebutuhan suplesi untuk kebutuhan irigasi, air baku dan PLTA dari operasi waduk, antara lain :

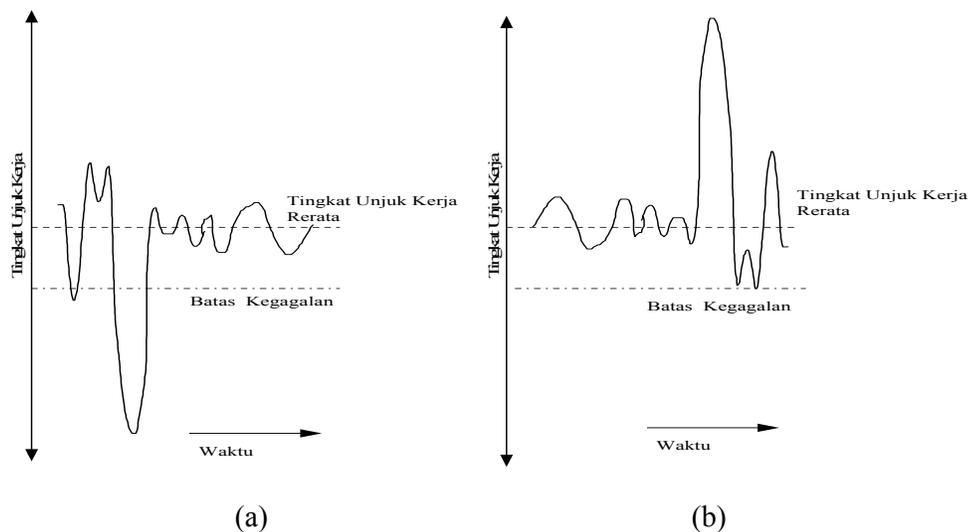
1. Dalam hal target untuk PLTA tidak lebih kecil dari target irigasi, maka kapasitas waduk akhir ditentukan berdasarkan release waduk untuk PLTA, jika sebaliknya maka kapasitas waduk akhir berdasarkan release target irigasi.
2. Seandainya dengan release tersebut diatas, kapasitas akhir periode waduk yang dihasilkan tidak lebih kecil dari kapasitas minimum waduk maka energi listrik yang dibangkitkan dan jika lebih kecil dari kapasitas minimum maka target pemenuhan kebutuhan diturunkan (gagal).
3. Jika kapasitas akhir ternyata melebihi kapasitas maksimum, maka kapasitas kelebihannya akan dilimpahkan.

Pola pengoperasian waduk yang saat ini diterapkan sebagai kebijakan pengoperasian Waduk Sempor adalah “*rule curve*”.

2.5. Evaluasi Kinerja Pengoperasian Waduk

Analisis parameter kinerja (*performance*) pengoperasian waduk biasanya dievaluasi berdasarkan nilai rerata (*mean*) dan variasi (*variance*) dari parameter kerjanya. Suatu misal, waduk sering dikatakan mempunyai keandalan (*reliability*) untuk memenuhi suatu pola kebutuhan sebesar 95.0%. Pernyataan di

atas lebih ditekankan pada persentasi rata-rata (jangka panjang) kemampuan waduk dalam memenuhi kebutuhan. Dalam kenyataanya, variasi debit, perubahan konfigurasi jaringan, dan kebijakan pengoperasian jaringan akan menyebabkan variasi pada parameter kinerja pengoperasian. Parameter kinerja dari dua sistem waduk, misalnya, dapat mempunyai nilai rerata dan variasi yang sama tapi menunjukkan perilaku yang berlainan.



Gambar 2.1. Indikator Kinerja yang Mempunyai Nilai Rerata dan Variasi Sama, Tapi Menunjukkan Perilaku yang Berlainan.

Sebagai ilustrasi diambilkan contoh seperti yang disajikan pada Gambar 2.1 (Hashimoto, Stedinger, dan Loucks, 1982). Kedua gambar di atas menunjukkan perilaku salah satu indikator kinerja (waduk) yang mempunyai rerata dan variasi yang sama (kedua gambar tersebut masing-masing merupakan putaran 180°). Gambar 2.1.a. menunjukkan bahwa waduk pernah mengalami kegagalan dua kali yang mempunyai intensitas dan konsekuensi yang berlainan. Kegagalan pertama merupakan kegagalan yang tidak serius, sedang kegagalan kedua berlangsung lebih lama dan intensitas / kerawanannya lebih serius. Akan tetapi, Gambar 2.1.b. menunjukkan bahwa waduk tidak pernah mengalami kegagalan. Jika ada batas

atas pada indikator kinerja ini (misal tekanan yang terjadi pada waduk, sehingga ada batas bawah dan batas atas nilai tekanan), maka perilaku seperti pada Gambar 2.1.b akan menunjukkan bahwa waduk pernah mengalami tekanan yang melebihi tekanan maksimum yang diijinkan. Hal ini menunjukkan bahwa evaluasi kinerja waduk yang berdasarkan pada nilai rerata dan variasinya kurang memberikan gambaran yang sebenarnya dari perilaku waduk tersebut.

Selain itu, konsekuensi yang terjadi pada saat-saat waduk tidak mampu memenuhi kebutuhannya yaitu pada saat-saat terjadi “kegagalan” tidak begitu diperhatikan, padahal konsekuensi terjadinya “kegagalan” dapat berdampak luas, berlangsung cukup lama, atau dapat pula menyebabkan beban psikologis yang berkepanjangan. Penggunaan kinerja keandalan waduk saja tidak selalu dapat menggambarkan keadaan perilaku waduk yang sesungguhnya.

Kinerja yang disajikan dalam evaluasi ini adalah beberapa indikator kinerja yang mampu memberikan indikasi seberapa jauh intensitas kegagalan dan berapa lama suatu kegagalan itu terjadi. Kinerja-kinerja tersebut adalah Keandalan (*reliability*), Kelentingan (*resiliency*), serta Kerawanan (*vulnerability*).

1. Keandalan (*reliability*)

Keandalan merupakan indikator seberapa sering waduk untuk memenuhi kebutuhan yang ditargetkan selama masa pengoperasiannya. Untuk pengoperasiannya waduk paling tidak ada dua macam definisi keandalan yaitu : (*Mc Mohan dan Russel, 1978 dalam Suharyanto, 1997*)

1. Prosentase keadaan dimana waduk mampu memenuhi kebutuhannya. Seringkali pada definisi keandalan ini dapat dikaitkan dengan kegagalan. Dalam hal ini, waduk dianggap gagal jika tidak dapat memenuhi kebutuhannya secara total.
2. Rerata persentase pelepasan waduk dibanding dengan kebutuhannya, dalam definisi ini, meskipun suplai waduk tidak dapat memenuhi kebutuhannya, waduk keseluruhannya, tidak dianggap gagal total. Tetapi dianggap waduk hanya dapat mensuplai sebagian dari kebutuhannya.

Pada kondisi seperti misalnya pada waduk yang digunakan sebagai sarana pembangkitan listrik dimana ada batas minimum debit pembangkitan listrik, maka definisi α akan lebih sesuai. Hal ini dapat diterangkan bahwa jika waduk hanya mampu melepaskan debit yang lebih kecil daripada batas debit pembangkitan listrik minimum, maka untuk tidak mengakibatkan kerusakan pada turbin diputuskan untuk sama sekali tidak membangkitkan listrik.

Secara sistematis, definisi di atas dapat dituliskan dengan variabel “ Z_t ” yang nilainya ditentukan sesuai dengan dua definisi di atas dan disajikan dalam persamaan berikut.

$$Z_t^1 = 1 \text{ untuk } R_t \geq D_t, 0 \text{ untuk } R_t \leq D_t$$

$$Z_t^2 = 1 \text{ untuk } R_t \geq D_t, R_t / D_t \text{ untuk } R_t \leq D_t$$

Dalam jangka panjang, nilai keandalan sistem untuk definisi keandalan yang pertama dapat ditulis sebagai berikut :

$$\alpha_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t^1$$

Dimana :

n = jangka waktu pengoperasian.

R_t = *relase* pada waktu ke t .

D_t = *demant* pada waktu ke t .

α_1 = keandalan waduk, gagal total jika kebutuhan tidak terpenuhi.

$$\sum_{t=1}^n Z_t^2 = \text{jumlah total waduk mampu memenuhi kebutuhan } (R_t \geq D_t)$$

untuk definisi keandalan ke-2.

$$\sum_{t=1}^n (1 - Z_t^2) = \text{jumlah total waktu waduk tidak mampu memenuhi kebutuhan}$$

$(R_t \leq D_t)$.

Dalam studi dipergunakan definisi keandalan waduk yang pertama. Waduk dianggap gagal jika tidak mampu mensuplai kebutuhan secara total. Kondisi tersebut dipergunakan untuk mengantisipasi pemenuhan

kebutuhan air baku karena jika pemenuhan kebutuhan air baku kurang dari yang ditargetkan maka air baku yang dihasilkan oleh optimasi tidak dijamin untuk dapat terpenuhi. Selain itu simulasi mempunyai nilai keandalan yang lebih kecil dari kondisi yang sebenarnya. Sehingga kondisi keandalan yang pertama diharapkan banyak memberi nilai keamanan terhadap ketersediaan air.

2. Kelentingan (*resiliency*)

Indikator ini untuk mengukur kemampuan waduk untuk kembali ke keadaan memuaskan dari keadaan gagal. Jika semakin cepat waduk kembali ke keadaan memuaskan maka dapat dikatakan waduk lebih lenting sehingga konsekuensi dari kegagalan lebih kecil. Dengan mempergunakan definisi kegagalan pertama, perhitungan masa transisi dari keadaan gagal menjadi keadaan memuaskan dituliskan dengan variabel “Wt” sebagai berikut :

$$W_t = \begin{cases} 1 & \text{jika } R_{t-1} \leq D_{t-1} \text{ dan } R_t \geq D_t \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$$

Dalam jangka panjang nilai rerata dari “Wt” akan menunjukkan jumlah rerata terjadi transisi waduk dari keadaan gagal menjadi keadaan memuaskan. Jumlah rerata terjadinya transisi ini dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum^n W_t$$

Dimana ρ menunjukkan probabilitas (rerata frekuensi) terjadinya transisi waduk dari keadaan gagal ke keadaan memuaskan.

Jangka waktu rerata waduk mengalami kegagalan dibagi dengan frekwensi rerata terjadinya transisi waduk dan secara matematis dapat dituliskan berikut :

$$T_{\text{gagal}} = \frac{\sum_{t=1}^n (1 - Z_t^1)}{\sum_{t=1}^n W_t}$$

Dimana :

T_{gagal} = jangka waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal secara kontinu.

Dalam jangka panjang, jangka waktu rerata waduk berada dalam kegagalan secara kontinu dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T_{\text{gagal}} = \frac{1 - \alpha_1}{\rho}$$

Semakin lama jangka waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal maka semakin kecil kelentingannya sebagai akibatnya maka konsekuensi dari keadaan gagal tersebut juga akan besar. Oleh karenanya indikator kelentingan didefinisikan sebagai γ_1 berikut :

$$\gamma_1 = \frac{1}{T_{\text{gagal}}} = \frac{\rho}{1 - \alpha_1}$$

dimana :

γ_1 = kinerja kelentingan

3. Kerawanan (*vulnerability*)

Jika terjadi kegagalan, kinerja kerawanan menunjukkan / mengukur seberapa besar (seberapa rawan) suatu kegagalan yang terjadi. Untuk mengukur tingkat kerawanan ini digunakan variabel kekurangan (*deficit*), DEF yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{DEF} = \begin{cases} D_t - R_t, & \text{jika } R_t \leq D_t \\ 0 & \text{jika } R_t \geq D_t \end{cases}$$

Sedangkan kinerja kerawanan tersebut dapat dirumuskan dengan berbagai penafsiran sebagai berikut : (*Suharyanto, 1997*)

1. Nilai rerata “*deficit – ratio*”

$$V_1 = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{DEF_t}{D_t}}{\sum_{t=1}^n (1 - Z_t)}$$

2. Nilai maksimum “*deficit – ratio*”

$$V_2 = \max \left(\frac{DEF_t}{D_t} \right)$$

3. Nilai maksimum “*deficit*”

$$V_3 = \max \{ DEF_t \}$$

2.6. Pekerjaan Pemeliharaan Bendungan

Pekerjaan ini meliputi :

- Pemeliharaan tubuh bendungan.

Kegiatan rutin :

Pengamatan terhadap kelakuan tubuh bendungan, yaitu :

- Memonitor alat-alat instrumentasi.
- Pengamatan visual tubuh bendungan.

Kegiatan berkala :

- Pembabatan rumput / semak-semak.
- Pengecatan / perbaikan papan-papan peringatan, patok-patok peringatan, dsb.
- Perbaikan tebing-tebing yang longsor.

- Pemeliharaan bangunan pelengkap.

Bangunan pelengkap terdiri dari :

- Bangunan pelimpah / spillway.
- Terowong irigasi / PLTA.
- Bangunan intake / menara.

- Pemeliharaan pintu-pintu air.
Pintu-pintu yang dimaksud misalnya :
 - *Hollow Jet Valve*.
 - *Guard Valve*.
 - Pintu Intake.
- Pemeliharaan mekanikal elektrikal
- Usaha konservasi tanah.
 - Penanaman dan pemeliharaan lahan sabuk hijau.
 - Pembinaan / penyuluhan petani di kawasan lahan sabuk hijau dan daerah tangkapan waduk (*catchment area*).

2.7. Instrumentasi bendungan

Instrumentasi bendungan digunakan untuk memantau sifat-sifat, perubahan, gerakan, dari bendungan agar apabila terjadi hal-hal yang tidak diinginkan dapat dicegah sedini mungkin sehingga keamanan bendungan dapat dipertahankan.

Jenis-jenis instrumentasi

a. Titik tetap (*surface monument*)

Digunakan untuk memantau perubahan tinggi (penurunan) dan gerakan tanah di permukaan bendungan dengan alat *waterpass*. Titik tetap dipasang di beberapa tempat dilereng dan puncak bendungan. Tinggi dan posisi dari titik-titik ini diukur dengan teliti dari beberapa titik tetap (*benchmark*) yang sudah dipasang sejak awal dari tahap penelitian, penyelidikan, dan perencanaan. Dengan membandingkan elevasi pengukuran baru dengan elevasi tetap awal, dapat dicari penurunannya.

b. *Piezometer* (pengukur tegangan air pori)

Digunakan untuk memantau tegangan air pori dan gaya tekan keatas yang bekerja pada bendungan.

c. Seismograf

Digunakan untuk memantau terjadinya gempa bumi yang sangat besar pengaruhnya terhadap perhitungan stabilitas konstruksi bendungan.

d. *Multiple extensometer of the rock tipe*

Digunakan untuk memantau perubahan vertikal dan horizontal pondasi bendungan dan dipasang di daerah pondasi bendungan tersebut.

e. *Inklinometer*

Inklinometer didefinisikan sebagai alat untuk memantau deformasi sejajar, dan normal pada sumbu pipa fleksibel dengan cara memasukkan alat duga melewati pipa. Pipa dapat dipasang dalam lubang bor atau urukan, dan biasanya dipasang dalam alinyemen hampir vertikal sehingga *inklinometer* menghasilkan data untuk menentukan deformasi horizontal lapisan bawah permukaan.

2.8. Sistem dan Jaringan Irigasi

Irigasi adalah pemberian air ke suatu tempat tertentu untuk kepentingan pertanian. Dalam perkembangannya, sistem irigasi dapat dibedakan menjadi 3 tipe, yaitu :

1. Irigasi sistem gravitasi. Dalam sistem irigasi ini pengaturan dan pembagian air irigasi menuju ke petak-petak yang membutuhkan dilakukan secara gravitatif.
2. Irigasi sistem pompa, dipertimbangkan apabila pengambilan secara gravitatif ternyata tidak layak dari segi ekonomi maupun teknik.
3. Irigasi sistem pasang surut, yaitu suatu tipe irigasi yang memanfaatkan pengempangan air sungai akibat peristiwa pasang - surut air laut. Air genangan yang berupa air tawar dari sungai akan menekan dan mencuci kandungan tanah sulfat masam dan akan dibuang pada saat air laut surut.

2.8.1 Klasifikasi Jaringan Irigasi

Klasifikasi jaringan irigasi berdasarkan cara pengaturan, cara pengukuran aliran dan fasilitasnya, dapat dibedakan atas tiga tingkatan, yaitu:

1. Jaringan irigasi sederhana

Di dalam irigasi sederhana, pembagian air tidak diatur atau diukur sehingga air lebih akan mengalir ke saluran pembuang. Persediaan air biasanya berlimpah dan kemiringan berkisar antara sedang dan curam.

2. Jaringan irigasi semi teknis

Pada jaringan ini, bangunan bendungnya terletak disungai lengkap dengan pintu pengambilan tanpa bangunan pengukur di bagian hilirnya. Beberapa bangunan permanen biasanya juga sudah dibangun di jaringan irigasi.

3. jaringan irigasi teknis.

Salah satu prinsip pada jaringan irigasi teknis adalah adanya pemisahan antara saluran pembawa/irigasi dan saluran pembuang/pematus. Saluran pembawa mengalirkan air irigasi ke sawah-sawah dan saluran pembuang mengalirkan kelebihan air dari sawah-sawah ke saluran pembuang. Pada jaringan irigasi teknis memungkinkan dilakukannya pengukuran aliran, pembagian air irigasi dan pembuangan air lebih secara efisien.

Tabel 2.1 Klasifikasi Jaringan Irigasi

		Klasifikasi Jaringan Irigasi		
		Teknis	Semi Teknis	Sederhana
1	Bangunan Utama	Bangunan permanen	Bangunan permanen atau semi permanen	Bangunan sementara
2	Kemampuan bangunan dalam mengatur dan mengukur debit	Baik	Sedang	Jelek
3	Jaringan Saluran	Sal. Irigasi dan pembuang terpisah	Sal. Irigasi dan pembuang tidak sepenuhnya terpisah	Sal. Irigasi dan pembuang jadi satu

		Klasifikasi Jaringan Irigasi		
		Teknis	Semi Teknis	Sederhana
4	Efisiensi secara keseluruhan	50 - 60 %	40 - 50 %	< 40%
5	Ukuran	Tak ada batasan	Sampai 2000 ha	< 500 ha

Sumber : Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma, Jakarta 1997

2.8.2 Saluran Irigasi

Saluran irigasi terdiri dari :

a. Saluran irigasi utama

Saluran primer membawa air dari jaringan utama ke saluran sekunder dan ke petak-petak tersier yang dialiri. Saluran sekunder membawa air dari saluran primer ke petak-petak terier yang dilayani oleh saluran sekunder tersebut.

b. Saluran irigasi tersier

Saluran irigasi tersier membawa air dari bangunan sadap tersier di jaringan utama ke dalam petak tersier lalu di saluran kuarter. Saluran kuarter membawa air dari bangunan sadap tersier langsung ke sawah.

c. Saluran pembuang utama

Saluran pembuang primer mengalirkan air lebih dari saluran pembuang sekunder keluar daerah irigasi. Saluran pembuang primer sering berupa saluran pembuang alam yang mengairkan kelebihan air ke sungai, anak sungai atau ke laut.

Saluran pembuang sekunder menampung air dari jaringan pembuang tersier dan membuang air tersebut ke saluran pembuang primer atau langsung ke pembuang alam dan keluar daerah irigasi.

d. Saluran pembuang tersier

Saluran pembuang tersier terletak di dan antara petak-petak tersier yang termasuk dalam unit irigasi sekunder yang sama dan menampung air, baik dari pembuangan kuarter maupun dari sawah-sawah. Air tersebut dibuang ke dalam jaringan pembuang sekunder.

2.9. Perencanaan Teknis Saluran

Banyak bahan yang dapat dipakai untuk pasangan pada saluran irigasi, antara lain pasangan batu, pasangan beton, dan tanah. Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP 03, tebal minimum untuk pasangan batu diambil 30 cm. Untuk beton tumbuk tebalnya paling tidak 8 cm. Tebal minimum pasangan beton bertulang adalah 7 cm. Untuk saluran semen tanah tebal minimum untuk saluran kecil adalah 10 cm dan saluran yang lebih besar adalah 15 cm. Tebal pasangan tanah diambil 60 cm untuk dasar saluran dan 75 cm untuk talud saluran.

Untuk perencanaan teknis saluran irigasi digunakan rumus *Manning*.

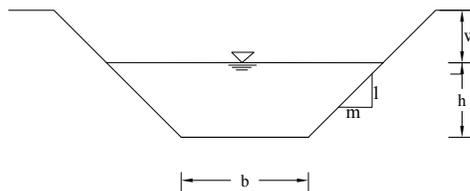
$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = (b+mh)h$$

$$P = b+2h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$Q = vA$$



Dimana : Q = debit saluran, m³/det

v = kecepatan aliran, m/det

A = luas penampang basah saluran, m²

R = jari-jari hidrolis, m

P = keliling basah, m

b = lebar dasar, m

h = tinggi air, m

l = kemiringan energi (kemiringan saluran)

m = kemiringan talud (1 vertikal : m horisontal)

Koefisien Kekasaran *Strickler* (k)

Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP 03, koefisien kekasaran bergantung pada faktor-faktor sebagai berikut :

- kekasaran permukaan saluran
- ketidakrataan permukaan saluran
- trase
- vegetasi (tumbuhan), dan
- sedimen.

Besarnya Koefisien Kekasaran *Strickler* pada berbagai jenis permukaan :

- pasangan batu 60
- pasangan beton 70
- pasangan tanah 35 – 45

Kemiringan Talud (m)

Untuk menekan biaya pembebasan tanah dan penggalian, talud saluran direncanakan secepat mungkin. Kedalaman saluran dan terjadinya rembesan akan menentukan kemiringan maksimum untuk talud yang stabil.

Berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP 03, untuk saluran pasangan dengan $h < 0,4$ m kemiringan talud dibuat vertikal. Sedangkan untuk saluran yang lebih besar, kemiringan talud minimum 1 : 1

Tinggi Jagaan

Harga-harga minimum untuk tinggi jagaan berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi KP 03 ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2. Tinggi jagaan untuk saluran pasangan

Debit (m ³ /det)	Tanggul (m)	Pasangan (m)
< 0,5	0,40	0,2
0,5 – 1,5	0,50	0,2
1,5 – 5,0	0,60	0,25
0,5 – 10,0	0,75	0,30
10,0 – 15,0	0,85	0,40
> 15,0	1,00	0,50

Sumber : Standar Perencanaan irigasi KP-02.

Stabilitas

Ada berbagai metode yang dapat digunakan untuk menghitung stabilitas saluran. Salah satunya adalah dengan metode metode irisan bidang luncur bundar. Bidang luncur dibagi dalam beberapa irisan vertikal. Lebar dari tiap-tiap irisan tidak harus sama. Dengan rumus keseimbangan didapatkan faktor keamanan sebagai berikut :

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^p (c_n \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^p W_n \sin \alpha_n} \quad (\text{Braja M. Das, 1995})$$

Dimana :

SF = faktor keamanan.

$W_n \cos \alpha_n$ = komponen berat vertikal dari segmen ke - n.

$W_n \sin \alpha_n$ = komponen berat tangensial dari segmen ke - n.

W_n = $A_n * \gamma$ (Ton/m^l).

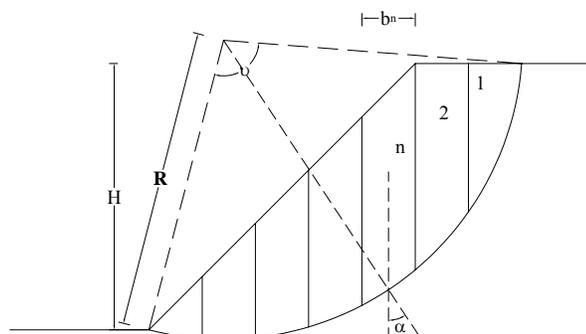
A_n = luasan segmen ke - n (m²).

γ = berat isi tanah (*dry density*) (t/m³).

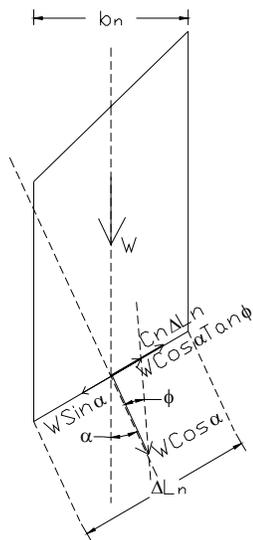
ϕ = Sudut geser tanah.

$$\Delta L = \frac{b_n}{\cos \alpha_n}$$

b_n = lebar segmen ke-n.



Gambar 2.2 Analisa stabilitas dengan metode irisan



Gambar 2.3. Analisa stabilitas dengan metode irisan