

STUDI PERENCANAAN BENTUK BENDUNGAN BETON SEDERHANA YANG PALING EFISIEN

Prastumi, Hendro Suseno dan Fabryandri Yudha Pratama
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email : civil@ub.ac.id

ABSTRAK

Bendungan beton adalah suatu bendungan yang dibuat dengan cara memasang tulangan lalu ditambah campuran semen, pasir, kerikil sampai berbentuk struktur yang padat. Tujuan dari studi perencanaan ini adalah untuk mengetahui desain kemiringan lereng bendungan beton yang paling efisien. Selain harus stabil terhadap guling dan geser, bendungan haruslah bernilai ekonomis. Kemiringan lereng yang sesuai sangatlah dibutuhkan agar bendungan memiliki kestabilan yang cukup dan bernilai ekonomis. Pada studi perencanaan ini dilakukan perhitungan dengan menggunakan profil bendungan beton sederhana yang berbeda. Tahap pertama, digunakan profil bendungan beton sederhana dengan bentuk dasar berupa segitiga. Profil ini digunakan untuk mengetahui batas minimal kemiringan lereng bendungan yang bisa digunakan sebagai acuan untuk perhitungan selanjutnya. Pada tahap kedua, digunakan profil bendungan beton dengan menambah tinggi jagaan. Penambahan ini akan menambah berat sendiri bangunan yang pada akhirnya menambah volume beton yang dibutuhkan. Pada tahap ketiga, digunakan profil bendungan dengan penambahan jalan inspeksi dan pondasi. Tahap awal perhitungan bendungan didapatkan faktor kemiringan lereng antara 0,612 – 0,73. Range faktor kemiringan lereng tersebut digunakan untuk mendesain lebar dasar bendungan. Sedangkan untuk tahap perhitungan selanjutnya didapatkan grafik hubungan tinggi bendungan, faktor kemiringan lereng dan kedalaman pondasi yang bisa digunakan untuk mencari nilai kemiringan lereng bendungan yang bernilai ekonomis dengan mengutamakan kestabilan bendungan terhadap gaya guling dan geser.

Kata kunci: bendungan beton, efisien, kemiringan lereng.

PENDAHULUAN

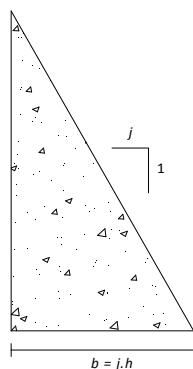
Bendungan beton seringkali diaplikasikan di negara-negara maju. Pengaplikasian tersebut dipengaruhi oleh faktor ekonomi yang menyebutkan bahwa untuk membangun sebuah bangunan penampung air harus seefektif mungkin, dimana panjang dari sebuah bendungan yang melintang sungai harus sependek mungkin selama hal tersebut memungkinkan. Efisiensi pada perencanaan suatu bendungan beton sangatlah diperlukan untuk meminimalisir anggaran biaya. Perencanaan bendungan beton memerlukan pertimbangan dari banyak faktor. Faktor utama adalah keamanan bangunan, dimana akan memberikan nilai keamanan terhadap keruntuhan. Sedangkan faktor yang juga berpengaruh

adalah faktor biaya yang dianggarkan. Kebutuhan beton cair tersebut dihitung berdasarkan dimensi bendungan yang direncanakan. Sehingga kemiringan lereng secara tidak langsung berpengaruh terhadap perhitungan kebutuhan beton cair, karena kemiringan lereng yang curam dapat meminimalkan kebutuhan beton cair. Dengan permasalahan tersebut maka perlu diperhitungkan mengenai berapa kemiringan lereng bendungan yang efektif terhadap geser dan guling untuk profil dasar pada bendungan beton, berapa kemiringan lereng yang efektif. Untuk bendungan beton dengan penambahan *freeboard* pada bagian atas sebuah bendungan terhadap geser dan guling dan bagaimana studi kasus yang bisa diaplikasikan dalam meninjau stabilitas konstruksi terhadap guling,

geser, dan daya dukung tanah. Batasan yang diberlakukan pada studi perencanaan ini adalah tidak dibahasnya analisis hidrologi, analisis dilakukan berdasar bidang regangan dan diambil per pias sebesar 1 meter. Perencanaan dengan menggunakan biaya yang minimal dan kestabilan suatu bendungan dapat menjadi bahan pertimbangan kepada praktisi maupun instansi-intansi terkait sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

METODE

Pada studi perencanaan ini digunakan asumsi mengenai tinggi muka air dimana pada perhitungan awal tinggi muka air yang ditampung pada bendungan beton sederhana setinggi bentuk dasar dari bendungan beton tersebut ($h_{ma} = h_1$). Untuk penentuan berat jenis air (γ_w) dan berat jenis beton (γ_c) terutama beton bertulang, diambil dari standar peraturan yang berlaku di Indonesia. Garis besar tahapan perhitungan pada studi perencanaan ini adalah pemilihan bentuk dasar bendungan beton sederhana dengan permisalan nilai kemiringan lereng bendungan (memakai notasi j). **Gambar 1** menunjukkan profil dasar bendungan.



Gambar 1. Profil dasar bendungan

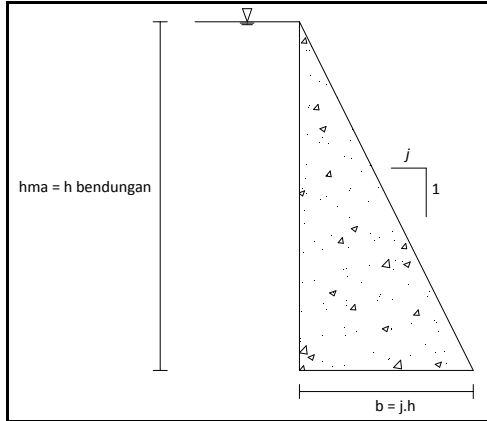
Analisa gaya-gaya yang bekerja dengan kondisi pertama, yaitu tinggi muka air sama dengan tinggi bendungan. ($h_{ma} = h$),

kemudian dilakukan pengecekan stabilitas terhadap guling dan geser, sehingga didapatkan dua persamaan yang dinotasikan SF yang mengandung konstanta nilai kemiringan lereng bendungan (j) dan dilakukan substitusi pada persamaan SF dan diselesaikan dengan persamaan kuadrat a, b, c . Dari substitusi persamaan didapat nilai faktor kemiringan lereng yang bernilai minimum dan maksimum yang akan dimasukkan kembali pada persamaan stabilitas guling dan geser agar diketahui nilai SF yang memenuhi dengan tidak mengesampingkan nilai j yang efisien. Interval kemiringan lereng yang didapat pada perhitungan awal akan dicoba pada profil bendungan yang menggunakan tinggi jagaan, lebar jalan inspeksi dan pondasi dengan kedalaman tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses perhitungan nilai kemiringan lereng pada bendungan beton akan dilakukan melalui berbagai tahap. Pada setiap tahapan perhitungan tersebut, nilai-nilai yang telah ditetapkan sebagai data awal seperti tinggi dari bendungan beton yang akan digunakan untuk percobaan perhitungan sebesar 150 meter, berat jenis air sebesar 1 ton per meter kubik dan berat jenis beton bertulang sebesar 2,4 ton per meter kubik, akan digunakan terus untuk setiap tahap perhitungannya. Tahapan pengerjaan perhitungan harus berurutan, mengingat setiap hasil dari perhitungan awal akan digunakan sebagai acuan untuk perhitungan selanjutnya. Perhitungan nilai kemiringan lereng juga berkaitan dengan angka keamanan (SF) dari suatu bendungan, sehingga dengan nilai yang diperoleh berdasarkan ketetapan yang berlaku akan ditampilkan juga SF masing-masing profil bendungan dengan nilai kemiringan lereng bendungan yang memenuhi. Faktor kemiringan lereng

yang telah didapat nanti akan dikalikan tinggi bendungan untuk menentukan lebar dasar bendungan. Adapun **Gambar 2** menunjukkan tinggi muka air kondisi kesatu.



Gambar 2. Tinggi Muka Air Kondisi Kesatu

Gaya yang bekerja pada bendungan dengan profil sederhana antara lain :

- a) Berat Sendiri Bangunan
- b) Gaya Tekan Air Statis
- c) Gaya Tekan Air Dinamis
- d) Gaya Tekan ke atas (*Up lift*)

Ditinjau dari perhitungan stabilitas terhadap guling, faktor kemiringan lereng didapatkan sebesar $\pm 0,612$. Apabila ditinjau dari perhitungan stabilitas terhadap geser didapat nilai faktor kemiringan lereng yang bervariasi berdasarkan ketinggian bendungan yang disajikan pada **Tabel 1** berikut ini.

Tabel 1. Nilai j untuk Ketinggian yang Berbeda Berdasar Geser pada Keadaan Normal

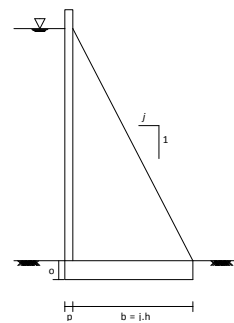
No	Tinggi Bendungan (m)	Faktor Kemiringan Lereng
1	150	0,477
2	125	0,42
3	100	0,362
4	75	0,292
5	50	0,21
6	25	0,114

Pada kondisi gempa nilai faktor kemiringan lereng didapatkan sebesar 0,73 terhadap guling dan bervariasi sesuai ketinggian bendungan terhadap geser, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2** berikut ini.

Tabel 2. Nilai j untuk Ketinggian yang Berbeda Berdasar Geser pada Keadaan Gempa

No	Tinggi Bendungan (m)	Faktor Kemiringan Lereng
1	150	0,554
2	125	0,481
3	100	0,401
4	75	0,315
5	50	0,22
6	25	0,12

Penggunaan tapak pondasi sangat penting dalam perencanaan bendungan beton. Selain sebagai tumpuan bendungan, pondasi juga akan menambah keamanan terhadap guling dan geser. Diharapkan, dengan kombinasi penambahan lebar jalan inspeksi dan pondasi semakin meminimalisir kemiringan lereng bendungan yang akan direncanakan. **Gambar 3** menunjukkan bendungan beton sederhana dengan tapak pondasi.



Gambar 3. Bendungan beton sederhana dengan tapak pondasi

Tahap perhitungan yang akan dilakukan memiliki kesamaan dengan tahap perhitungan pada bendungan beton yang menggunakan free board. Yang

membedakan yaitu, pada setiap lebar jalan inspeksi akan dicoba digunakan kedalaman pondasi dari 2 meter, 4 meter, sampai 6 meter. Pada perhitungan stabilitas terhadap guling dan geser dengan menggunakan profil bendungan yang memakai jalan inspeksi dan kedalaman pondasi, didapatkan hasil bahwa faktor kemiringan lereng bendungan yang bisa digunakan untuk memenuhi angka keamanan minimum selalu berubah-ubah sesuai dengan bertambahnya lebar jalan inspeksi dan kedalaman pondasi. Pondasi yang digunakan di dalam perhitungan dicoba dengan kedalaman 2 meter, 4 meter dan 6 meter dan menggunakan lebar jalan inspeksi dengan interval 4 meter, 8 meter dan 12 meter. Dari perhitungan stabilitas bendungan, dapat digambarkan grafik hubungan tinggi dari suatu bendungan dengan faktor kemiringan lereng dan kedalaman pondasi yang bisa digunakan untuk memenuhi syarat minimum stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Grafik yang akan dipaparkan akan digolongkan menurut lebar dari jalan inspeksi yang akan digunakan. Sehingga, grafik akan dibagi menjadi beberapa tipe yaitu :

a) Tipe A

Merupakan grafik hubungan antara tinggi bendungan, faktor kemiringan lereng, dan kedalaman pondasi pada kondisi normal dan gempa. Nilai faktor kemiringan lereng pada grafik tipe ini didapat dari perhitungan yang menggunakan kedalaman pondasi sebesar 2 meter.

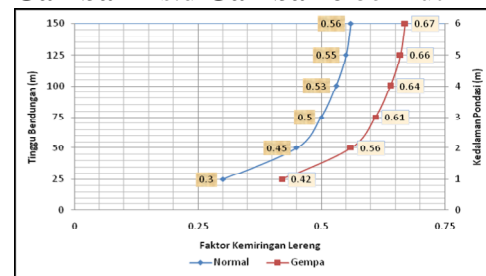
b) Tipe B

Merupakan grafik hubungan antara tinggi bendungan, faktor kemiringan lereng, dan kedalaman pondasi pada kondisi normal dan gempa. Nilai faktor kemiringan lereng pada grafik tipe ini didapat dari perhitungan yang menggunakan kedalaman pondasi sebesar 4 meter.

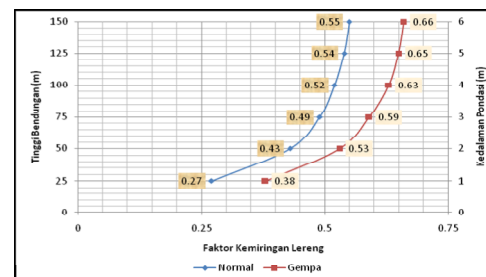
c) Tipe C

Merupakan grafik hubungan antara tinggi bendungan, faktor kemiringan lereng, dan kedalaman pondasi pada kondisi normal dan gempa. Nilai faktor kemiringan lereng pada grafik tipe ini didapat dari perhitungan yang menggunakan kedalaman pondasi sebesar 6 meter.

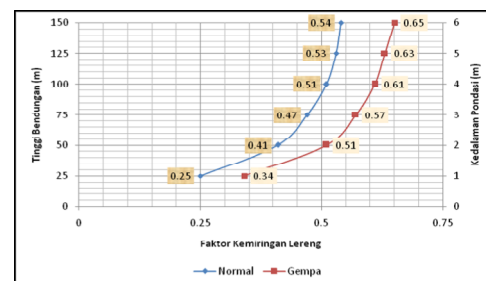
Adapun gambar hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng untuk berbagai lebar jalan disajikan pada **Gambar 4 s.d Gambar 6** berikut ini.



Gambar 4. Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng untuk Lebar Jalan Inspeksi 4 meter tipe A

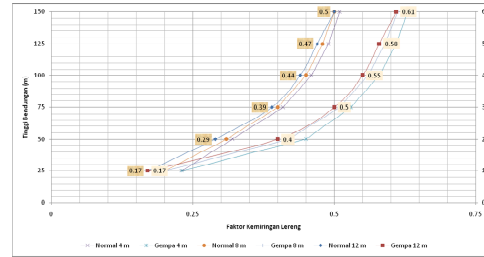


Gambar 5. Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng Untuk Lebar Jalan Inspeksi 4 meter tipe B

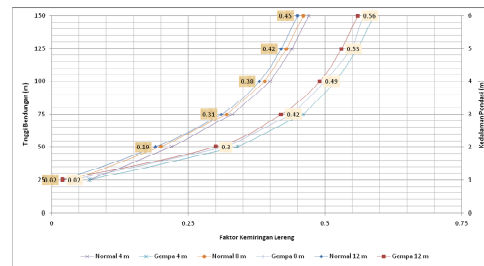


Gambar 6. Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng untuk Lebar Jalan Inspeksi 4 meter tipe C

Ketiga gambar diatas diperoleh dengan mengambil jalan inspeksi sebesar 4 meter sebagai patokan perencanaannya. Untuk itu dalam memilih faktor kemiringan lereng, terlebih dahulu harus menentukan lebar jalan inspeksi yang akan digunakan. Pada bendungan beton yang menggunakan *free board* dan tapak pondasi, nilai kemiringan lereng bendungan untuk setiap ketinggian memiliki batas nilai yang didapat dari grafik. Hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng pada masing-masing tipe. Penggunaan grafik diatas untuk menentukan nilai kemiringan lereng bendungan yang bisa digunakan pada tinggi bendungan rencana. Pada grafik juga ditampilkan kedalaman minimum dari pondasi yang bisa digunakan untuk tinggi bendungan rencana. Oleh karena itu, sebaiknya digunakan grafik tipe A. Pemilihan tersebut berdasarkan pada proses perhitungan grafik tipe A menggunakan kedalaman pondasi minimal yaitu 2 meter. Sehingga nilai kemiringan lereng yang didapat merupakan nilai minimum yang bisa digunakan dalam pemenuhan stabilitas terhadap guling dan geser. Apabila dipilih kedalaman pondasi yang melebihi nilai kedalaman pondasi minimum, akan didapatkan angka keamanan yang stabil. Misal, pada tinggi bendungan rencana 75 meter kedalaman pondasi minimum yang sebaiknya digunakan sebesar 3 meter. Dengan kedalaman pondasi sebesar 3 meter angka keamanan yang didapat adalah angka keamanan yang minimum. Berikut **Gambar 7** dan **Gambar 8** yang menunjukkan hubungan tinggi bendungan dan faktor kemiringan lereng untuk variasi lebar jalan inspeksi.



Gambar 7. Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng untuk Lebar Jalan Inspeksi 8 meter



Gambar 8. Hubungan Tinggi Bendungan dan Faktor Kemiringan Lereng untuk Lebar Jalan Inspeksi 12 meter

Dari analisis gaya tersebut, akan dilakukan perhitungan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Adapun perhitungan stabilitas terhadap guling akan dilakukan sebagai berikut :

$$SF = \frac{EM}{E}$$

$$= \frac{(23239,14)}{20812,5}$$

$$= 1,12$$

Sedangkan untuk perhitungan angka keamanan stabilitas bendungan terhadap geser akan dilakukan sebagai berikut :

$$SF = \frac{f \cdot \Sigma (V-u) + C \times A}{\Sigma H}$$

$$= \frac{(0,6 (1333,8)) + (110(27).1)}{1250}$$

$$= 3,016$$

Angka keamanan yang didapat pada perhitungan stabilitas masih bisa dikondisikan dengan kondisi daerah rencana pembangunan. Artinya, untuk mendapatkan angka keamanan yang lebih besar, kedalaman pondasi masih bisa ditambah. Untuk mengetahui keamanan

terhadap daya dukung, akan dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$e = \left| \frac{EM}{EV} - \frac{L}{2} \right| \leq \frac{L}{6}$$

$$= \left| \frac{23239,14 - 20812,5}{1333,8} - \frac{27}{2} \right| \leq \frac{27}{6}$$

$$= 11,68 \leq 4,5 \dots \dots \text{terjadi tarik}$$

Nilai eksentrisitas yang diperoleh dari hasil perhitungan melebihi batas yang disyaratkan sebesar 4,5 meter. Keadaan ini menyebabkan terjadi gaya tarik pada dasar pondasi. Tarikan yang terjadi dapat ditangani dengan penambahan panjang pada dasar pondasi. Selain penambahan panjang pada dasar pondasi, penanganan yang bisa dilakukan untuk mengurangi terjadinya gaya tarik pada dasar pondasi dengan pemasangan tulangan tarik pada pondasinya. Oleh karena itu, eksentrisitas hasil perhitungan yang melebihi batas masih diperbolehkan. Stabilitas guling dan geser juga akan ditinjau pada kondisi normal dan gempa sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Nilai Kemiringan Lereng yang Aman pada Kondisi Normal

No	Tinggi Bendungan (m)	Faktor Kemiringan Lereng
1	150	0,477
2	125	0,42
3	100	0,362
4	75	0,292
5	50	0,21
6	25	0,114

dalam kondisi normal didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser sebesar 0,477 (**Tabel 3**). dalam kondisi gempa didapatkan nilai kemiringan lereng bendungan yang aman terhadap geser sebesar 0,554 (**Tabel 4**).

Tabel 4. Nilai Kemiringan Lereng yang Aman pada Kondisi Gempa

No	Tinggi Bendungan (m)	Faktor Kemiringan Lereng
1	150	0,554
2	125	0,481
3	100	0,401
4	75	0,315
5	50	0,22
6	25	0,12

Pada kedua tabel, nilai yang diperoleh ditentukan oleh tinggi bendungan yang direncanakan. Semakin tinggi bendungan, semakin landai kemiringan lereng bendungan yang digunakan. Untuk nilai kemiringan lereng bendungan terhadap stabilitas guling, pada kondisi normal didapatkan nilai sebesar 0,612 dan 0,73 pada kondisi gempa. Dengan memilih menggunakan profil dasar dari bendungan beton, dibutuhkan kemiringan lereng yang sangat landai untuk memenuhi syarat angka keamanan terhadap guling. Hal ini sebaiknya dihindari mengingat dalam perencanaan suatu bendungan beton, selain pemenuhan keamanan terhadap stabilitas guling dan geser, faktor keekonomisan juga diperhitungkan. Karena semakin landai lereng bendungan, semakin banyak volume beton yang dibutuhkan. Keadaan guling pada bendungan terjadi jika gaya horizontal yang bekerja lebih besar dari gaya vertikal menahan gaya horizontal. Gaya vertikal yang bekerja pada bendungan adalah berat sendiri bangunan. Pada bendungan beton, berat bangunan ditumpu oleh pondasi. Pada bagian atas (*top*) bendungan beton biasa digunakan sebagai jalan inspeksi. Penggunaan jalan inspeksi memiliki peranan yang penting pada perencanaan bendungan beton antara lain :

1. Fasilitas pemeliharaan

2. Menghubungkan 2 lembah, sehingga bisa digunakan sebagai sarana penyeberangan
3. Menambah berat sendiri bangunan

Dalam merencanakan lebar jalan inspeksi, bisa digunakan lebar jalan yang sudah ditetapkan oleh Sub Direktorat Perencanaan Teknis Jalan Bipran Bina Marga atau didapat dari perhitungan kebutuhan dimensi jalan.

Untuk menambah nilai keamanan terhadap guling bisa dilakukan langkah perencanaan sebagai berikut :

1. Menggunakan lebar jalan inspeksi sesuai kebutuhan.
2. Menambah kedalaman pondasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Gaya horizontal yang bekerja sangat mempengaruhi faktor kemiringan lereng yang direncanakan. Faktor kemiringan lereng menentukan seberapa lebar dasar sebuah bendungan yang otomatis mempengaruhi gaya vertikal yang akan menahan gaya horizontal yang bekerja. Pada bendungan beton sederhana dengan *elementary profile*, faktor kemiringan memiliki *range* antara 0,612-0,73 sehingga kemiringan lereng bendungan yang digunakan masih tergolong landai agar dapat memenuhi kestabilan terhadap guling dan geser. Penambahan *free board* dan pondasi menambah angka keamanan stabilitas bendungan terhadap guling dan geser. Nilai kemiringan lereng bendungan bervariasi untuk setiap tinggi bendungan yang akan direncanakan. Lebar jalan inspeksi, kedalaman pondasi dan kemiringan lereng bendungan mempengaruhi kemampuan bendungan menahan guling. Semakin lebar jalan inspeksi yang digunakan, semakin tegak kemiringan lereng bendungan yang akan direncanakan. Akan tetapi, bendungan

tersebut dinilai tidak ekonomis karena membutuhkan volume yang lebih banyak. Oleh karena itu, pada tahap awal perencanaan lebar jalan inspeksi sebaiknya sesuai kebutuhan untuk menampung volume kendaraan rencana.

Saran

Adapun saran yang diusulkan adalah mengenai lebar jalan inspeksi yang akan digunakan sebaiknya dipilih berdasarkan kebutuhan agar bendungan tersebut bernilai ekonomis. Apabila terjadi tarikan pada dasar pondasi, sebaiknya ditanggulangi dengan penambahan panjang tapak pondasi maupun pemasangan tulangan tarik pada pondasi. Dan dilakukan penambahan kemiringan lereng di hulu bendungan untuk mencegah terjadi tarikan di dasar pondasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, S. 2005. Teknologi Beton A-Z. Yayasan John Hi-Tech Idetama, Jakarta
- Ditjen Bina Marga. 2008. Sosialisasi Standar Perencanaan Teknis Bidang Jalan Materi Perencanaan Geometrik Jalan. Ditjen Bina Marga, Jakarta
- Prastumi & Masrevaniah, A. 2008. Bangunan Air. Srikandi, Malang
- Setijogoenawan, E. 1987. Studi Perencanaan Bendungan Bajulmati di Banyuwangi Dengan Tinjauan Alternatif Tipe Gravity. Skripsi tidak dipublikasikan. Universitas Brawijaya, Malang
- Soediby. 1993. Teknik Bendungan. Pradnya Paramita, Jakarta
- Sosrodarsono, S. 1977. Bendungan Type Urugan. Pradya Paramita, Jakarta
- Varshney, R. S. 1993. Concrete Dams. Oxford & IBH Publishing Co, New Delhi