BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Microsoft Excel dan Bendung

Microsoft Excel atau Microsoft Office Excel adalah sebuah program aplikasi lembar kerja *spreadsheet* yang dibuat dan didistribusikan oleh Microsoft Corporation untuk sistem operasi Microsoft Windows dan Mac OS. Aplikasi ini memiliki fitur kalkulasi dan pembuatan grafik yang, dengan menggunakan strategi *marketing* Microsoft yang agresif, menjadikan Microsoft Excel sebagai salah satu program komputer yang populer digunakan di dalam komputer mikro hingga saat ini. Bahkan, saat ini program ini merupakan program spreadsheet paling banyak digunakan oleh banyak pihak, baik di platform PC berbasis Windows maupun platform Macintosh berbasis Mac OS, semenjak versi 5.0 diterbitkan pada tahun 1993. Aplikasi ini merupakan bagian dari Microsoft Office System, dan versi terakhir adalah versi Microsoft Office Excel 2007 yang diintegrasikan di dalam paket Microsoft Office System 2007.

Excel menawarkan banyak keunggulan antarmuka jika dibandingkan dengan program *spreadsheet* yang mendahuluinya, tapi esensinya masih sama dengan VisiCalc (perangkat lunak spreadsheet yang terkenal pertama kali): Sel disusun dalam baris dan kolom, serta mengandung data atau formula dengan berisi referensi absolut atau referensi relatif terhadap sel lainnya.

Excel merupakan program *spreadsheet* pertama yang mengizinkan pengguna untuk mendefinisikan bagaimana tampilan dari *spreadsheet* yang

mereka sunting: font, atribut karakter, dan tampilan setiap sel. Excel juga menawarkan penghitungan kembali terhadap sel-sel secara cerdas, di mana hanya sel yang berkaitan dengan sel tersebut saja yang akan diperbarui nilanya (di mana program-program *spreadsheet* lainnya akan menghitung ulang keseluruhan data atau menunggu perintah khusus dari pengguna). Selain itu, Excel juga menawarkan fitur pengolahan grafik yang sangat baik.

Bendung yaitu suatu bangunan melintang pada aliran sungai (palung sungai), yang terbuat dari pasangan batu kali, atau bronjong, atau beton yang berfungsi untuk meninggikan muka air agar dapat dialirkan ke tempat yang diperlukan. Tentu saja bangunan ini dapat digunakan pula untuk keperluan lain selain irigasi, seperti untuk keperluan air minum, pembangkit listrik atau untuk penggelontoran suatu kota. Menurut macamnya bendung dibagi dua, yaitu bendung tetap dan bendung sementara, bendung tidak tetap adalah bangunan yang sebagian besar konstruksi terdiri dari pintu yang dapat digerakkan untuk mengatur ketinggian muka air sungai sedangkan bendung tetap adalah bangunan yang dipergunakan untuk meninggikan muka air di sungai, sampai pada ketinggian yang diperlukan agar air dapat dialirkan ke saluran irigasi dan petak tersier.

2.2 Pengumpulan Data Awal

Kegiatan pengumpulan data sekunder akan dilakukan dengan mengumpulkan laporan perencanaan, hasil studi, kebijakan, yang terkait dengan lokasi pekerjaan baik langsung maupun tidak langsung serta peta yang tersedia dari berbagai instansi pemerintah atau swasta terkait. Pengumpulan data terdiri

atas data-data yang bersifat data dasar diantaranya peta topografi yang akan dipakai sebagai dasar perhitungan besaran-besaran yang menyangkut panjang sungai, arah dan posisi.

Data-data yang diperlukan untuk perencanaan bending secara umum antara lain adalah :

- ✓ Peta Topografi (Bakosurtanal) skala 1:50.000 , untuk menetukan titik awal dan akhir pengukuran serta ruas sungai yang dikaji.
- ✓ Peta tata guna lahan.
- ✓ Data ketersediaan air.
- ✓ Data dasar hasil survei inventarisasi lokasi.
- ✓ Peta topografi lokasi pekerjaan dan sekitamya yang diperoleh dari bagian kartografi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi atau BAKORSURTANAL atau instansi yang terkait.
- ✓ Data curah hujan dan klimatologi dari stasiun terdekat dengan lokasi pekerjaan.
- ✓ Peta dan analisa Geologi di sekitar wilayah pekerjaan yang diperoleh dari pusat penelitian dan pengembangan Geologi Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi atau instansi yang terkait.
- ✓ Data Struktur dan Permasalahan di sekitar lokasi bendung

Meliputi kajian atas permasalahan kondisi fisik sepanjang segmen sungai seperti bangunan yang ada di sungai, longsoran tebing sungai, sedimentasi dan

aktivitas/kegiatan manusia yang terjadi di sekitar lokasi, debit air serta kendala yang dijumpai dalam pengoperasian dan pemeliharaannya.



Gambar 2.1 Rencana Lokasi Bendung Cikadung Girang dan daerah sekitarnya



Gambar 2.2 Kondisi Sungai Cikadung Girang yang banyak bebatuan besar dan daerah sekitarnya



Gambar 2.3 Rencana Saluran Pembawa (Saluran Primer) dan daerah sekitarnya.

2.3 Pemilihan Lokasi Bendung

Untuk menentukan lokasi Bendung telah dilakukan analisa penempatan Bendung yang pemilihannya terutama didasarkan pada kondisi topografi dan kondisi geologi lokalnya.

Berdasarkan data hasil survey topografi akan dilakukan analisa penempatan altemative posisi Bendung. Setelah mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan dari masing masing eltematif penempatan Bendung tersebut diatas, akan ditetapkan altemative terbaik sebagai lokasi Bendung yang dipilih. Dari altematif-altematif yang ada akan dianalisis neraca air sebagai tinjauan teknis dalam pemilihan altemative terbaik lokasi rencana Bendung.

2.4 Lebar bendung

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal-pangkalnya (*abunment*), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata ini dapat diambil pada debit penuh (*bankfull discharge*), dibagian ruas atas mungkin sulit untuk menentukan debit penuh. Dalam hal ini banjir mean tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar rata-rata bendung.

Lebar maksimum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Untuk sungai-sungai yang mengangkut bahan-bahan sedimen kasar yang berat, lebar bendung tersebut harus lebih disesuaikan lagi terhadap lebar rata-rata sungai, yakni jangan diambil 1,2 kali lebar sungai tersebut.

Agar pembuatan bangunan peredam energi tidak terlalu mahal, maka aliran per satuan lebar hendaknya dibatasi sampai sekitar 12 – 14 $m^3/dt.m^1$, yang memberikan tinggi energi maksimum sebesar 3,5 – 4,5 m.

Lebar efektif mercu (B_e) dihubungkan dengan lebar mercu yang sebenarnya (B), yakni jarak antara pangkal-pangkal bendung dan atau tiang pancang, dengan persamaan berikut :

$$B_e = B - 2(nK_p + K_a)H_1$$

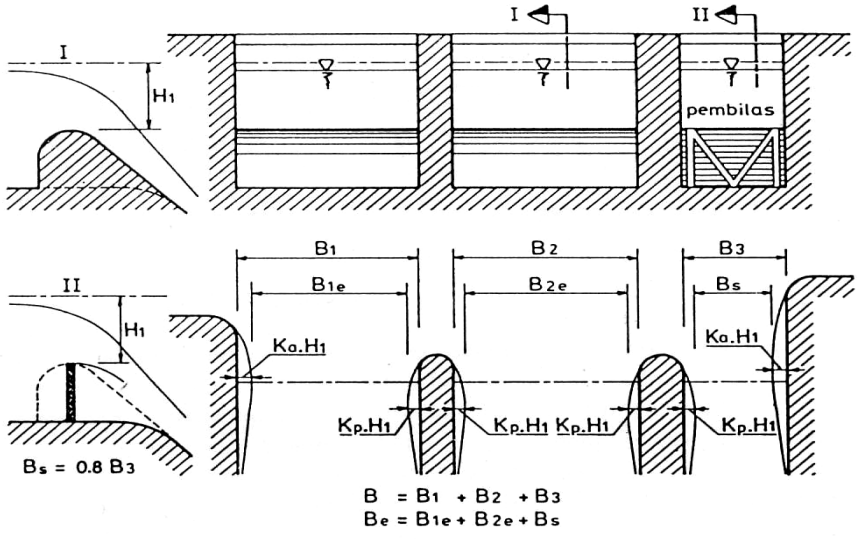
dimana : n = jumlah pilar

K_p = koefisien kontraksi pilar

K_a = koefisien kontraksi pangkal bendung

H_1 = tinggi energi, m

Harga-harga koefisien K_a dan K_p diberikan pada Tabel 1.1



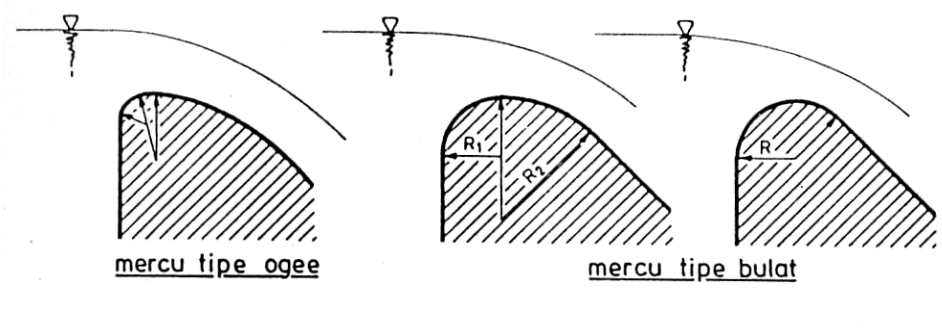
Gambar 2.4 Lebar efektif mercu

Tabel 2.1 Harga-harga Koefisien Kontraksi

K_p		K_a	
Untuk pilar berujung segiempat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari lebar pilar	0,02	Untuk pangkal tembok segiempat dengan tembok hulu pada 90^0 ke arah aliran	0,20
Untuk pilar berujung bulat	0,01	Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90^0 ke arah aliran dengan $0.5\ H_1 > r > 0.15\ H_1$	0,10
Untuk pilar berujung runcing	0	Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0.5\ H_1$ dan Tembok hulu tidak lebih dari 45^0 ke arah aliran	0

2.5 Perencanaan Tipe Mercu dan Muka Air di Atas Mercu

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah yaitu tipe Ogee dan tipe bulat.



Gambar 2.5 Bentuk – bentuk mercu

Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.

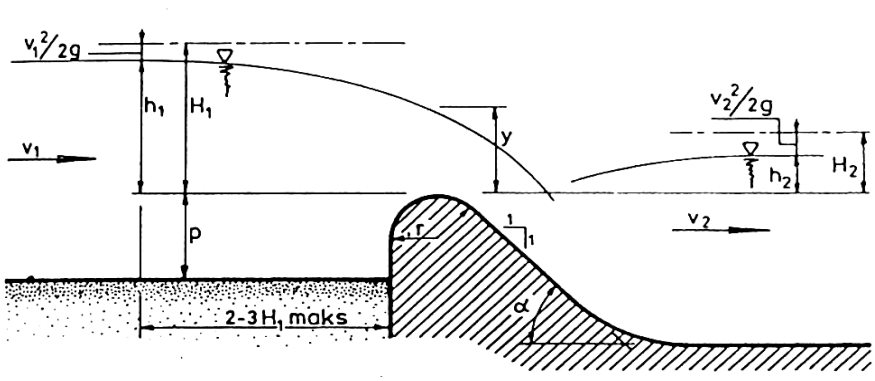
Kemiringan maksimum muka bendung bagian hilir yang dibicarakan disini kemiringan 1 dibanding 1 batas bendung dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika bahan pondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak. Dalam hal ini kavitasi dan aerasi tirai luapan harus diperhitungkan dengan baik.

(1) Mercu bulat

Bendung dengan mercu bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada sungai ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung streamline dan tekanan negatif pada mercu.

Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara H_1 dan r (H_1/r) (lihat Grafik 2.1). Untuk menghindari bahaya kavitasi lokal, tekanan minimum

pada mercu bendung harus dibatasi sampai – 4 m tekanan air jika mercu terbuat dari beton; untuk pasangan batu subatmosfir sebaiknya dibatasi sampai – 1 m tekanan air.



Gambar 2.6 Bendung dengan mercu bulat

Dari Gambar 2.6 tampak bahwa jari-jari mercu bendung pasang batu akan berkisar antara 0,3 sampai 0,7 kali H_{1maks} dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali H_{1maks}.

Persamaan tinggi energy dandebit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segiempat adalah :

$$Q = C_d \; 2/3\sqrt{2/3g}\; b\, H_1^{1,5}$$

dimana : Q = debit, m^3/dt

C = koefisien debit ($C_d = C_0C_1C_2$)

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\approx 9{,}8$)

b = panjang mercu, m

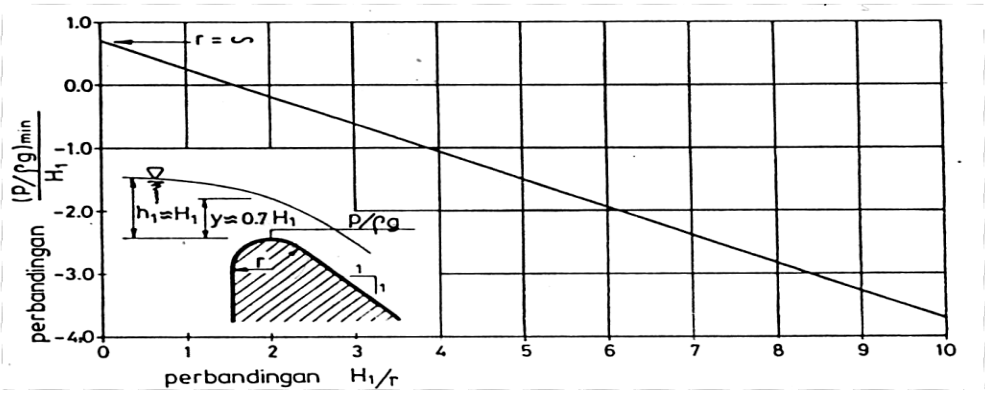
H_1 = tinggi energi diatas mercu, m

Koefisien debit C_d adalah hasil dari :

- C_0 yang merupakan fungsi dari H_1/r (lihat Gambar 2.1)
- C_1 yang merupakan fungsi dari p/H_1 (lihat Gambar 2.3), dan

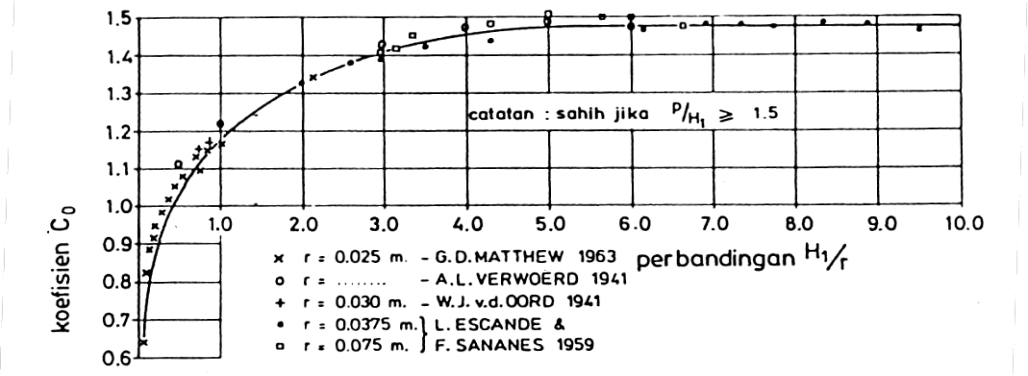
- C_2 yang merupakan fungsi dari p/H_1 dan kemiringan muka hulu bendung

C_0 mempunyai harga maksimum 1,49 jika H_1/r lebih dari 5,0 seperti diperlihatkan dalam Gambar berikut.

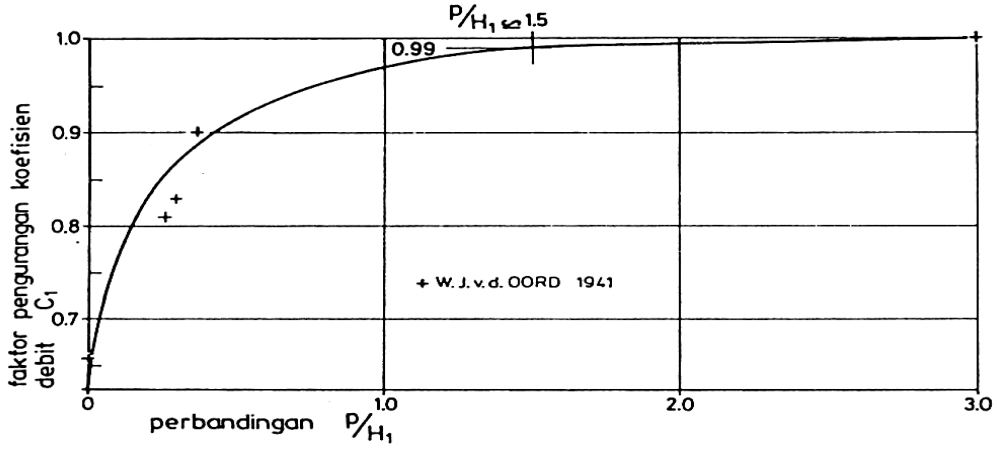


Grafik 2.1 Tekanan pada mercu bendung bulat sebagai fungsi perbandingan H_1/r

Dalam tahap perencanaan p dapat diambil setengah dari jarak dari mercu sampai dasar rata-rata sungai sebelum bendung tersebut dibuat. Untuk harga-harga p/H_1 yang kurang dari 1,5, maka Gambar 2.3 dapat diambil untuk menentukan faktor pengurangan C_1.

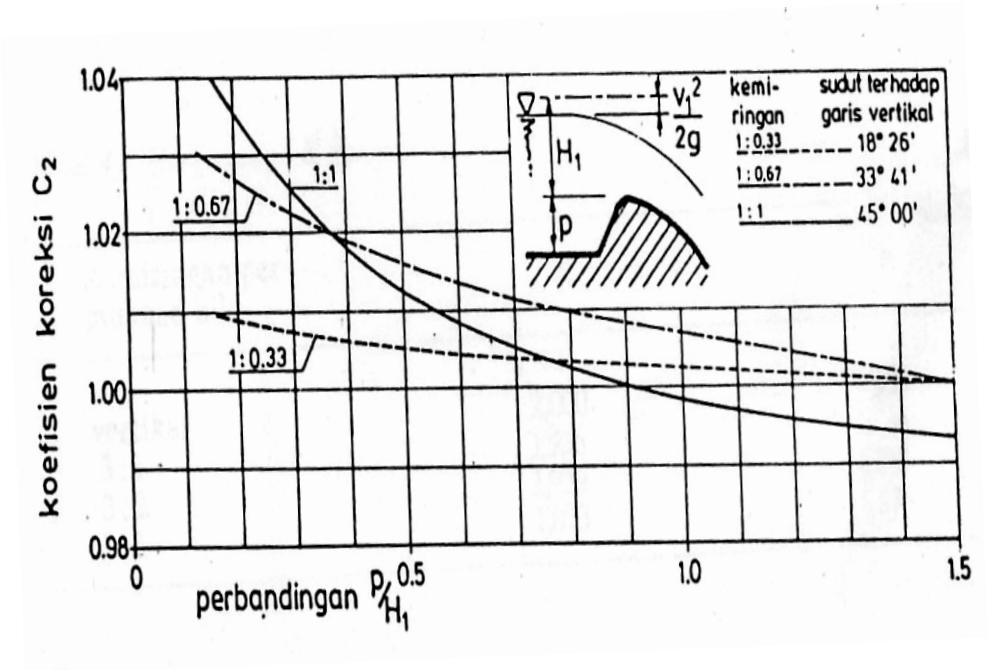


Grafik 2.2 Harga koefisien C_0 untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi H_1/r



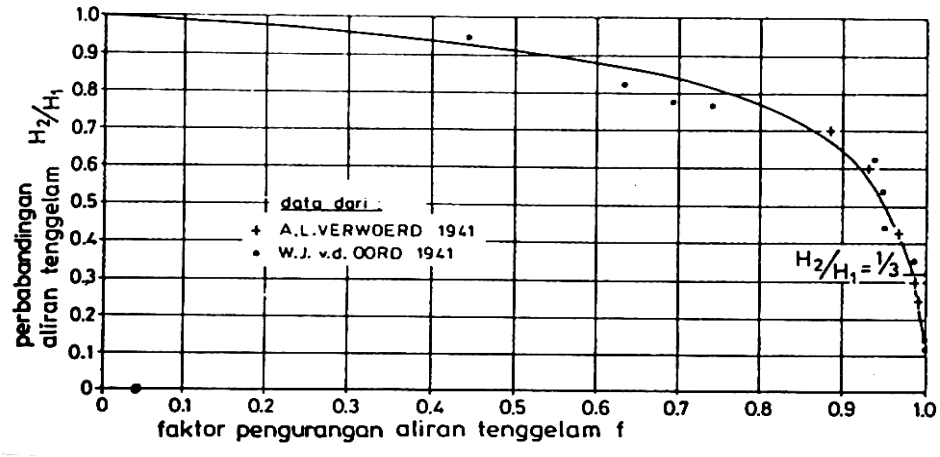
Grafik 2.3 Koefisien C_1 sebagai fungsi perbandingan p/H_1

Harga-harga koefisien koreksi untuk pengaruh kemiringan muka bendung bagian hulu terhadap debit diberikan pada Grafik 2.4. Harga koefisien koreksi C_2 diandaikan kurang lebih sama dengan harga faktor koreksi untuk bentuk-bentuk mercu tipe Ogee.



Grafik 2.4 Harga-harga koefisien C_2 untuk bendung mercu Ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR, 1960)

Harga-harga faktor pengurangan aliran tenggelam f sebagai fungsi perbandingan tenggelam dapat diperoleh dari Grafik 2.5. Faktor pengurangan aliran tenggelam mengurangi debit dalam keadaan tenggelam.



Grafik 2.5 Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi H_2/H_1

(2) Mercu Ogee

Mercu ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan kebawah pada mercu.

Untuk merencanakan permukaan mercu Ogee bagian hilir, U.S. Army Corps of Engineers

Telah mengembangkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{Y}{h_d} = \frac{1}{K}\left[\frac{X}{h_d}\right]^n$$

dimana x dan y adalah koordinat-koordinat permukaan hilir dan h_d adalah tinggi energi rencana di atas mercu. Harga-harga K dan n adalah parameter. Harga-harga

ini bergantung kepada kecepatan dan kemiringan permukaan belakang. Tabel 2.2 menyajikan harga-harga K dan a untuk berbagai kemiringan hilir dan kecepatan pendekatan yang rendah.

Tabel 2.2 Harga-harga K dan n

Kemiringan permukaan hilir	K	n
Vertikal	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
1 : 1	1,873	1,776

Bagian hulu mercu bervariasi sesuai kemiringan permukaan hilir (lihat Gambar 2.6).

Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung mercu Ogee adalah :

$$Q = C_d \; 2/3\sqrt{2/3g}\; b\, H_1^{1,5}$$

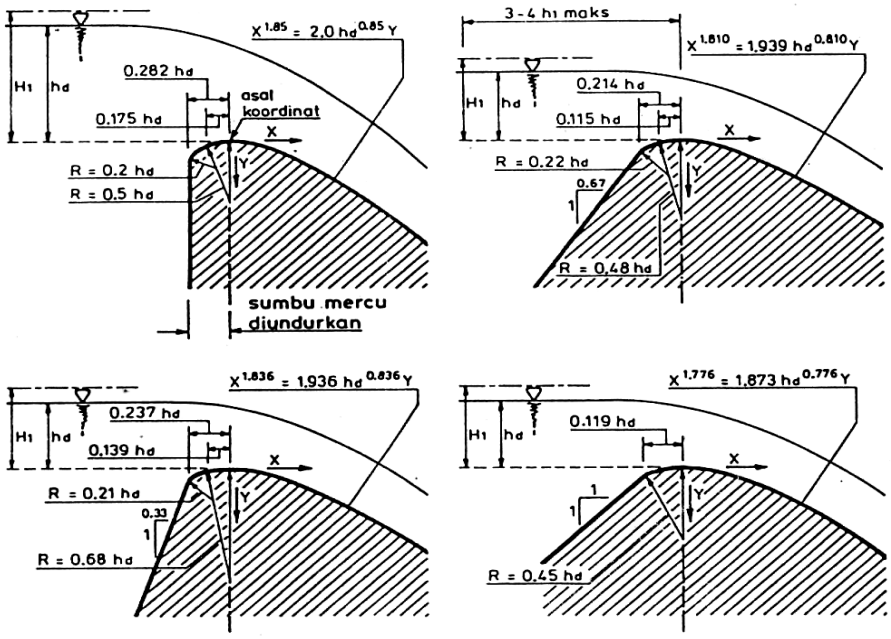
dimana : Q = debit, m^3/dt

C = koefisien debit ($C_d = C_0C_1C_2$)

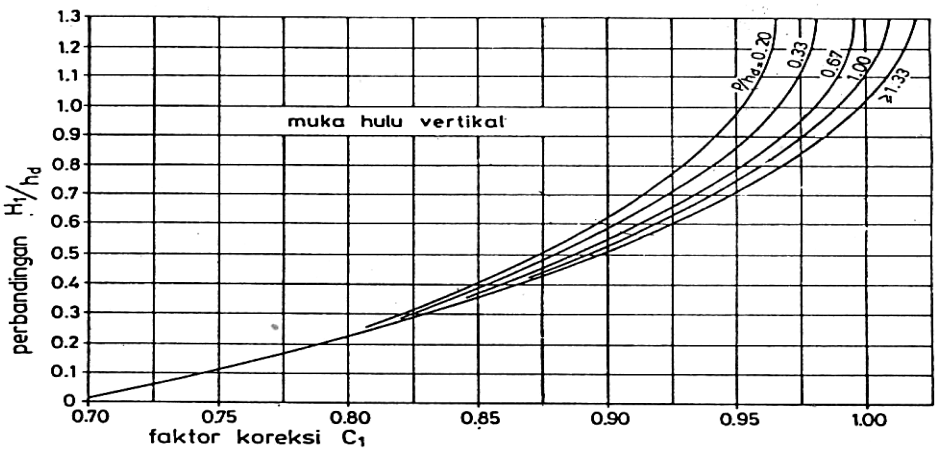
g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\approx 9,8$)

b = panjang mercu, m

H_1 = tinggi energi diatas mercu,m



Gambar 2.7 Bentuk-bentuk bendung mercu Ogee (U.S Army Corps of Engineers, Waterways Experimental station)



Grafik 2.6 Faktor koreksi untuk selain tinggi energi rencana pada bendung mercu Ogee (menurut Ven Te Chaw, 1959, berdasarkan data USBR dan WES)

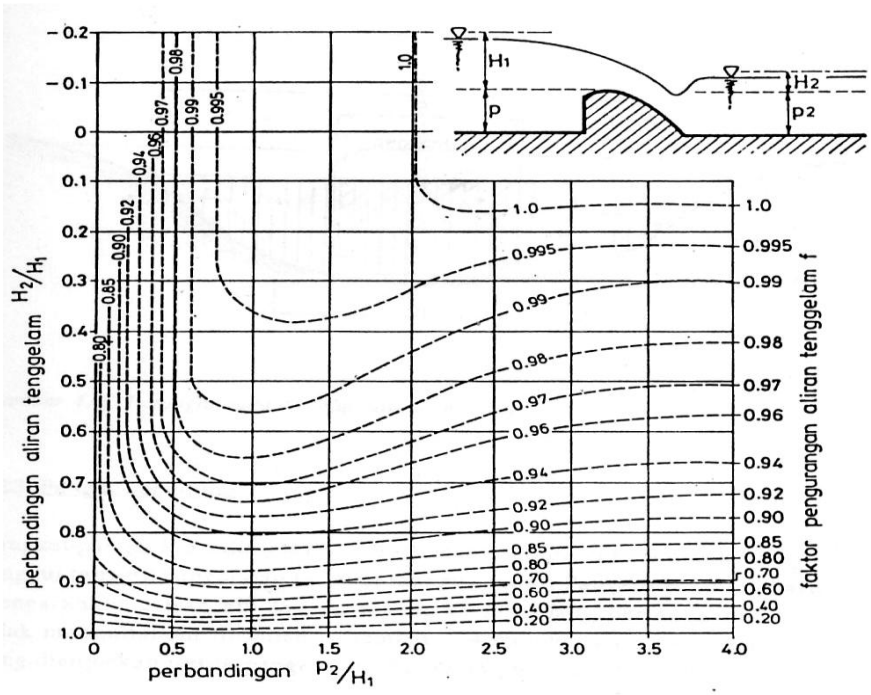
Koefisien debit efektif C_e adalah hasil C_0, C_1 dan C_2 ($C_e = C_0C_1C_2$),

- C_0 adalah konstanta (=1,30),
- C_1 adalah fungsi p/h_d dan H_1/h_d, dan
- C_2 adalah faktor koreksi untuk permukaan hulu.

Faktor koreksi C_1 disajikan pada Grafik 2.6 dan sebaiknya dipakai untuk berbagai tinggi bendung diatas dasar sungai.

Harga-harga C_1 pada Grafik 2.6 berlaku untuk bendung mercu Ogee dengan permukaan hulu vertikal. Apabila permukaan bendung bagian hulu miring, koefisien koreksi tanpa dimensi C_2 harus dipakai, ini adalah fungsi baik dari kemiringan permukaan bendung maupun perbandingan p/h_1.

Grafik 2.7 menyajikan faktor pengurangan aliran tenggelam f untuk dua perbandingan: yaitu perbandingan aliran tenggelam H_2/H_1 dan p_2/H_1.



Grafik 2.7 Faktor pengurangan aliran tenggelam sebagai fungsi p_2/H_1 dan H_2/H_1. (disadur dari U.S Army Corps of Engineers Waterways Experimental Station

2.6 Peredam Energi

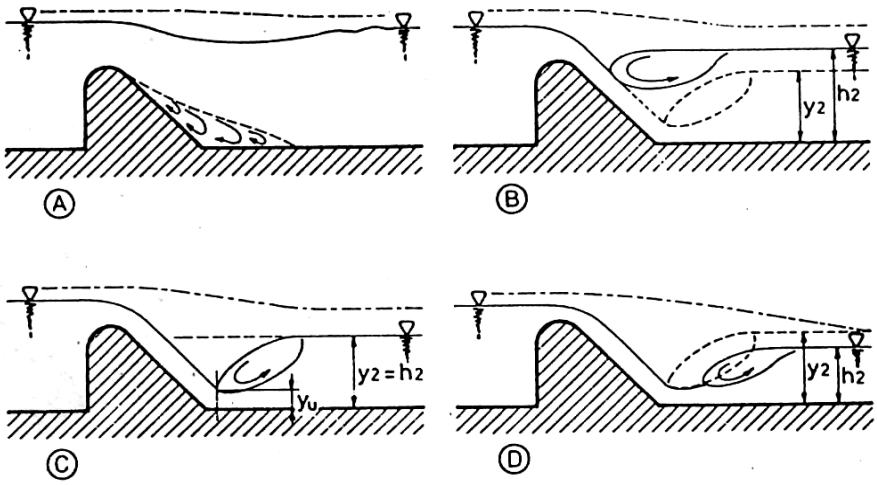
Aliran diatas bendung di sungai dapat menunjukkan berbagai perilaku di sebelah bendung akibat kedalaman air yang ada h_2.

Kasus A menunjukkan aliran tenggelam yang menimbulkan sedikit saja gangguan di permukaan berupa timbulnya gelombang.

Kasus B menunjukkan loncatan tenggelam yang lebih diakibatkan oleh kedalaman air hilir yang lebih besar, daripada oleh kedalaman konjugasi.

Kasus C adalah keadaan loncat air dimana kedalaman air hilir sama dengan kedalaman konjugasi loncat air tersebut.

Kasus D terjadi apabila kedalaman air hilir kurang dari kedalaman konjugasi, dalam hal ini loncatan akan bergerak kehilir.



Gambar 2.8 Peredam energi

Semua tahap ini bisa terjadi dibagian hilir bendung yang dibangun di sungai. Kasus D adalah keadaan yang tidak boleh terjadi, karena loncatan air akan menghempas bagian sungai yang tak terlindungi dan umumnya menyebabkan penggerusan luas.

Debit rencana

Untuk menemukan debit yang akan memberikan keadaan terbaik untuk peredaman energi, semua debit harus dicek dengan muka air hilirnya. Jika

degradasi mungkin terjadi, maka harus dibuat perhitungan dengan muka air hilir terendah yang mungkin terjadi untuk mencek apakah degradasi mungkin terjadi. Degradasi harus dicek jika :

a) Bendung dibangun pada sodetan (kopur)
b) Sungai itu sungai aluvial dan bahan tanah yang dilalui rawan terhadap erosi
c) Terdapat waduk di hulu bangunan

2.7 Kolam loncat air

Gambar 2.5 memberikan penjelasan mengenai metode perencanaan. Dari grafik p versus H_1 dan tinggi jatuh 2, kecepatan (v_1) awal loncatan dapat ditemukan dari

$$v_1 = \sqrt{2g(1/2H_1 + z)}$$

dimana : v_1 = kecepatan awal loncatan, m/dt

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\approx$ 9,8)

H_1 = tinggi energi diatas ambang, m

z = tinggi jatuh, m

Dengan $p = v_1 y_1$, dan rumus untuk kedalaman konjugasi dalam loncat air adalah :

$$\frac{y_2}{y_u} = 1/2\,(\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1$$

dimana : $Fr = \dfrac{v_1}{\sqrt{gy_u}}$

dimana : y_2 = kedalaman air diatas ambang ujung, m

y_u = kedalaman air diawal loncat air, m

Fr = bilangan Froude

v_1 = kecepatan awal loncatan, m/dt

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\approx 9{,}8$)

kedalaman konjugasi untuk setiap q dapat ditemukan dan diplot. Untuk menjaga agar loncatan tetap dekat dengan muka miring bendung dan di atas lantai, maka lantai harus diturunkan hingga kedalaman air hilir sekurang-kurangnya sama dengan kedalaman konjugasi.

Untuk aliran tenggelam, yakni jika muka air hilir lebih tinggi dari 2/3 H_1 diatas mercu, tidak diperlukan peredam energi.

Panjang kolam

Panjang kolam loncat air di belakang potongan U (Gambar 2.12) biasanya kurang dari panjang bebas lonacatan tersebut karena adanya ambang ujung (*end sill*). Ambang yang berfungsi untuk memantapkan aliran ini umumnya ditempatkan pada jarak dibelakang potongan U

$$L_1 = 5(n + y_2)$$

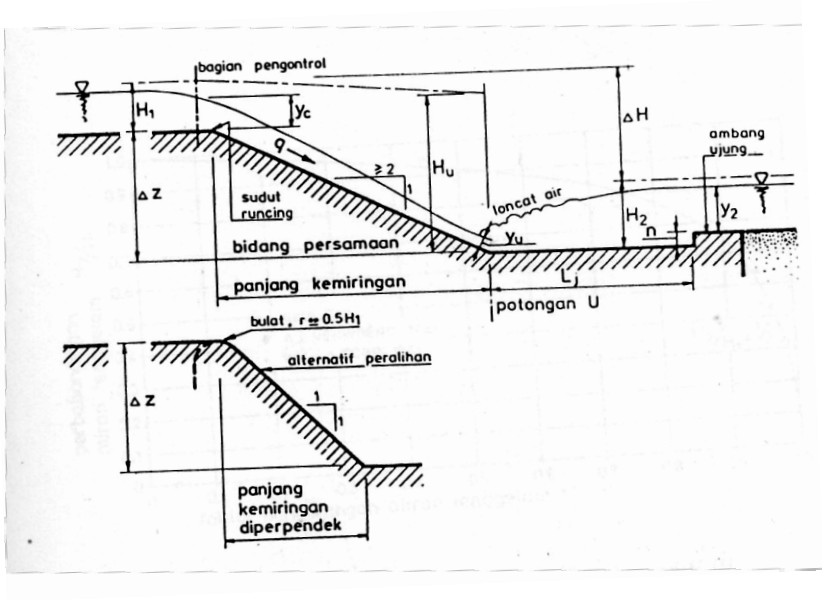
dimana :

L_1 = panjang kolam, m

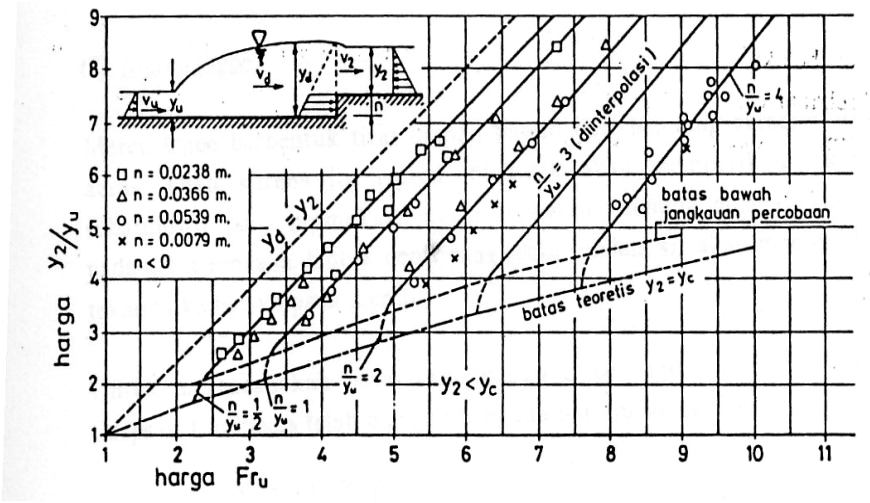
n = tinggi ambang ujung, m

y_2 = kedalaman air diatas ambang,m

Tinggi yang diperlukan ambang ujung ini sebagai fungsi bilangan Froude (Fr_u), kedalaman air yang masuk y_u, dan tinggi air muka hilir, dapat ditentukan Grafik 2.9.

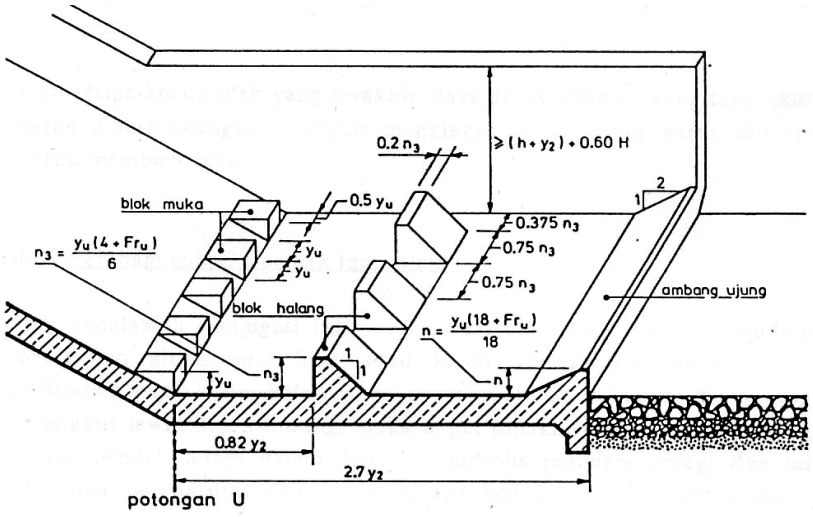


Gambar 2.9 Parameter-parameter loncat air



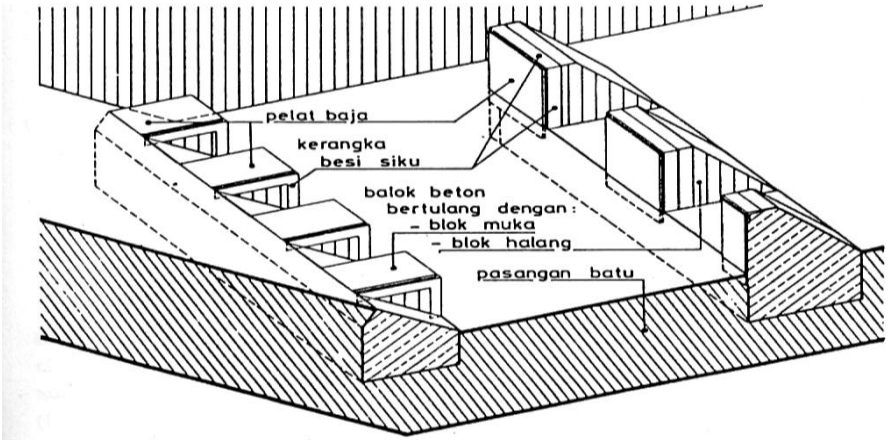
Grafik 2.8 Hubungan percobaan antara Fr_u, y_2/y_u, dan n/y_u untuk ambang ujung pendek (menurut Forster dan Skrinde, 1950)

Panjang kolam olak dapat sangat diperpendek dengan menggunakan blok-blok halang dan blok-blok muka. Gambar 2.10 menyajikan dimensi kolam USBR tipe III yang dapat dipakai jika bilangan Froude tidak lebih dari 4.5.



Gambar 2.10 Karakteristik kolam olak untuk dipakai dengan bilangan Froude diatas 4.5; kolam USBR tipe III (Bradley dan Peterka, 1957)

Jika kolam itu dibuat dari pasangan batu, blok halang dan blok muka dapat dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10



Gambar 2.11 Blok-blok halang dan blok-blok muka

Tipe kolam

Terlepas dari kondisi hidrolis, yang dapat dijelaskan dengan bilangan Froude dan kedalaman air hilir, kondisi dasar sungai dan tipe sedimen yang diangkut memainkan peranan penting dalam pemilihan tipe kolam olak:

(a) Bendung disungai yang mengangkut bongkah atau batu-batu besar dengan dasar yang relatif tahan gerusan, biasanya cocok dengan kolam olak tipe bak tenggelam/ submerged bucket.

(b) Bendung disungai yang mengangkut batu-batu besar, tetapi sungai itu mengandung bahan aluvia, dengan dasar tahan gerusan, akan menggunakan kolam loncat air tanpa blok-blok halang atau tipe bak tenggelam/peredam energi.

(c) Bendung sungai yang hanya mengangkut bahan-bahan sedimen halus dapat direncanakan dengan kolam loncat air yang diperpendek dengan menggunakan blok-blok halang.

Untuk tipe kolam olak yang terakhir, daya gerus sedimen yang terangkut harus dipertimbangkan dengan mengingat bahan yang harus dipakai untuk membuat blok.