

PERENCANAAN ULANG BENDUNG (STUDI KASUS: RENCANA ULANG BENDUNG KARET CIBERUNG KOTA CILEGON PROVINSI BANTEN)

ANDRI ARTHONO¹⁾ & ISTIANI²⁾

¹⁾Dosen Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal
Jl. Raya Kedoya Al Kamal No.2, Kedoya Selatan, Kebon Jeruk, Jakarta 11520
Email: *aarthono@gmail.com*¹⁾, *istiani239@gmail.com*²⁾

ABSTRAK

Air adalah kebutuhan utama manusia. Dalam kehidupan sehari-hari pengaruh air sangat luas. Di samping itu, pertumbuhan penduduk dan industri semakin meningkat. Maka di perlukannya perbaikan-perbaikan pada bendung yang fungsi kerjanya menurun. Saat ini Bendung Karet Ciberung mengalami kinerja yang kurang memadai. Terdapat beberapa kerusakan di bagian struktur, karet pembendung bocor serta pondasi bendung ada penurunan dan alat instalasi untuk pengoperasian bendung rusak. Bendung adalah bangunan air yang dibangun melintang sungai untuk meninggikan elevasi muka air. Air sungai yang permukaannya dinaikkan akan melimpas melalui puncak/mercu bendung. Di Indonesia, bendung dapat digunakan untuk irigasi bila misalnya muka air sungai lebih rendah dari muka tanah yang diairi. Bendung Karet dalam segi biaya keseluruhan lebih murah dibanding pembuatan bendung gerak jenis lain. Cukup dengan tabung karet dan hembusan pompa atau kompresor yang tidak memerlukan tenaga (listrik) yang tinggi. Bendung karet mempunyai daya tahan gempa yang lebih baik daripada bendung jenis lainnya. Namun perlu diperhatikan bahwa bendung karet tidak sekuat baja atau beton dalam menghadapi tusukan benda-benda runcing atau irisan benda-benda tajam. Bila terjadi kerusakan perlu di tambal atau diperbaiki segera, karena jika karet berlubang menyebabkan bendung tidak dapat berfungsi. Rencana ulang Bendung Karet Ciberung meliputi kegiatan perencanaan bendung karet atau bangunan utama. Dengan memperhitungkan hidrolis bendung karet, rencana ulang bendung tanpa perhitungan perencanaan irigasi. Sehingga bendung karet dapat berfungsi secara normal kembali. Hasil perhitungan kontrol kestabilan tubuh bendung terhadap guling = $7,32 > 2$ (ok stabil), terhadap geser = $4,76 > 1,50$ (ok stabil). Hasil perhitungan kontrol kestabilan tembok pangkal terhadap guling = $7,42 > 2$ (ok stabil), terhadap geser = $6,515 > 1,50$ (ok stabil). Rencana Anggaran Biaya konstruksi bendung direncanakan sebesar Rp 11.354.539.000 (Sebelas milyar tiga ratus lima puluh empat juta lima ratus tiga puluh sembilan ribu rupiah).

Kata Kunci: Air, Bendung, Bendung Karet, Rencana Anggaran Biaya/

1. PENDAHULUAN

Setiap tahun masalah kekurangan Air Baku, khususnya di musim kemarau di Wilayah Kabupaten Serang dan Kota Cilegon sering menjadi kendala, sebagai akibat pesatnya perkembangan industri serta Penduduk yang rata-rata mencapai 3,67 % tiap tahun. De-

ngan debit 150 lt/detik yang di peruntukkan antara lain. Untuk keperluan air desa tertinggal 15 lt/dt, keperluan air Domestik 30 lt/dt, keperluan air irigasi 15 lt/dt, keperluan air industri 75 lt/dt, keperluan air pertambahan 15 lt/dt.

Jumlah penduduk yang semakin mening-

kat setiap tahunnya di daerah Kota Cilegon serta aktivitas masyarakat di sekitar aliran sungai Cibeber dan sungai Kedung ingas (DAS) yang semakin beragam mengakibatkan kebutuhan akan air semakin meningkat. Apalagi Kota Cilegon adalah kota industri, sehingga menyebabkan persoalan keseimbangan antara kebutuhan air dan ketersediaan air, menurunnya kualitas air sumur dangkal yang dikonsumsi oleh masyarakat serta kebutuhan akan industri dan rekreasi kota.

Daerah sekitar Sungai Ciberung selalu dipengaruhi oleh pasang surut air laut terutama wilayah Bojonegara dan Cibeber sehingga menyulitkan penduduk untuk mendapatkan air tawar. Hal tersebut merupakan permasalahan yang dihadapi oleh daerah Kota Cilegon khususnya dan provinsi Banten umumnya.

Pemerintah Daerah Provinsi banten mengambil langkah-langkah untuk menghadapi persoalan sumber daya air, dengan mengusahakan penyimpanan air baku dari pertemuan dua sungai tersebut di atas (Sungai Cibeber dan Sungai Kedung ingas), maka dibangun Bendung Karet Ciberung sebagai pengumpul air baku pada tahun 1997.^[2]

Pada saat ini Bendung Karet Ciberung mengalami kinerja yang kurang memadai, terjadi kerusakan-kerusakan pada bagian strukturnya; karet pembendung bocor; pondasi bendung ada penurunan dan alat instalasi untuk pengoperasian bendung rusak.

Penulis akan merencanakan kembali Bendung Karet Ciberung tersebut sebagai kajian untuk persyaratan pembuatan Tugas akhir dalam program Study Starta satu (S1) Teknik Sipil Instiut Sains dan Teknologi Al-Kamal.

1. Tujuan dan Manfaat

- a. Untuk merencanakan ulang bendung karet, agar bendung karet dapat berfungsi seperti sedia kala lagi. Sehingga suplay air baku dapat terpenuhi kembali.
- b. Untuk mencegah intrusi air laut saat muka air laut pasang, sehingga air dibagian hulu Bendung Karet bebas dari intrusi air laut.
- c. Tujuan mahasiswa membuat laporan tugas akhir yaitu diajukan untuk memenuhi salah satu syarat menempuh program Strata 1 Teknik Sipil pada Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.

2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, terdapat masalah-masalah yang dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut:

- a. Rusaknya Bendung Karet Ciberung saat ini mengakibatkan air baku yang harus terkumpul di bagian udik bendung tidak mencapai sasaran sehingga tidak terairinya area sawah 15 Ha yang diairi melalui intake bendung.
- b. *Rubber Damn* dan pada komponen bendung tersebut ada bagian yang tidak dapat di operasikan sehingga tinggi muka air tidak tercapai pada elevasi yang ditentukan.

3. Batasan Masalah

Perencanaan ulang dan perhitungan struktur bendung karet desa Terate Kecamatan Bojonegara Kota Cilegon Propinsi Banten yang dilakukan hanya meliputi:

- a. Desain dan perhitungan Hidrolik Bendung Karet.
- b. Rencana ulang struktur bendung, *Retaining Wall*, tanpa perhitungan perencanaan irigasi, sehingga bendung karet dapat berfungsi kembali secara normal.
- c. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

2. TINJAUAN PUSTAKA

1. Bendung^[3]

Yang dimaksud dengan bendung adalah bangunan yang dibuat untuk menahan atau menaikkan muka air. Sesuai prinsip kerjanya terdapat beberapa macam bendung, yaitu:

- a) Bendung Tetap
Sebagaimana sebutannya bendung ini mempunyai konstruksi tetap tak dapat digerakkan.
- b) Bendung Gerak
Sebagaimana namanya, bendung ini mempunyai bagian yang dapat digerakkan.
- c) Bendung Gerak Otomatis
Sesuai dengan namanya yang disebut dengan bendung gerak otomatis disini adalah suatu kontruksi bangunan yang berfungsi sebagai bendung dan secara otomatis fungsi tersebut hilang pada waktu banjir dengan muka air yang melebihi muka air rencana.

2. Bendung Karet^[3]

Bendung karet pertama kali dirancang tahun 1957 oleh ahli teknik Amerika dan

dibangun di Sungai Los Angeles, California. Badan bendung terbuat dari gabungan benang nylon dan karet *chlorophena* dengan tinggi 1,5 m dan panjang 6,1 m diisi air. Hingga tahun 1965 bendung karet telah dibangun di beberapa negara seperti Amerika, Perancis, Cekoslowakia, beberapa negara termasuk Uni Soviet telah melakukan penelitian dan percobaan. Setelah tahun 1965 teknologi bendung karet dikembangkan ke beberapa negara terutama Jepang dan China. Di Jepang pertama kali dibangun tahun 1964 dan sejalan dengan perkembangan dan kemajuan teknologi lebih dari seribu bendung karet telah di pasang.

3. METODE PENELITIAN

1. Hidrologi ^[4]

a). Analisa Curah Hujan ^[4]

Pada daerah aliran Sungai Cibeber dan Sungai Kedung ingas terdapat stasiun curah hujan, yang digunakan untuk analisis curah hujan maksimum harian untuk menganalisa debit banjir maksimum tahunan.

Curah hujan daerah ini harus diperkirakan dari beberapa titik stasiun pengamatan curah hujan:

- (1) Stasiun pengamatan curah hujan Cibeber.
- (2) Stasiun pengamatan curah hujan Cilegon.
- (3) Stasiun pengamatan curah hujan Mancak.
- (4) Stasiun pengamatan curah hujan Bojonegara.

Cara-cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik terdiri dari:

(1) Cara rata-rata aljabar ^[4]

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n}$$

(2) Cara Polygon Theissen ^[4]

$$\bar{R} = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + A_3 \cdot R_3 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

(3) Metode Gumbel ^[4]

$$R_T = \bar{R} + \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \cdot S_x$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n - 1}}$$

(4) Metode log person III ^[3]

$$\text{Log } R_t = \text{Log } x + K \cdot S_{\text{Log } x}$$

$$\text{Koef. Skewnes (g)} = \frac{n \cdot \sum (\text{Log } x_i - \text{Log } x)^3}{(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot (S_{\text{Log } x})^3}$$

$$\text{Log } x = \frac{\sum \text{Log } x_i}{n}$$

$$S_{\text{Log } x} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x_i - \text{Log } x)^2}{n - 1}}$$

(5) Metode Log Normal 2 Parameter ^[4]

Persamaan: $\text{Log } R_t = \text{Log } x + K \cdot S_{\text{Log } x}$

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

$$\text{Koefisien Variasi: } CV = \frac{S_{\text{Log } x}}{\text{Log } x}$$

$$\text{Log } x = \frac{\sum \text{Log } x_i}{n}$$

$$S_{\text{Log } x} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x_i - \text{Log } x)^2}{n - 1}}$$

b). Debit Banjir Rencana

(1) Metode Hasper ^[4]

$$Q_T = \alpha \times \beta \times q_T \times f$$

(2) Metode Dr. Monobe (Rasional Jepang) ^[4]

$$Q_T = \frac{1}{3,6} \times \alpha \times r \times f$$

(3) Metode Widuen ^[4]

$$Q_T = mn \cdot f \cdot q^? \cdot \frac{R_{70}}{240}$$

c). Perhitungan Hidrolis Bendung Karet ^[6]

(1) Tinggi Muka Air Banjir Rencana

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R$$

(2) Luas Penampang Basah Sungai

$$A = (b + m \cdot H)H$$

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

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

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot A$$

(3) Lebar Bendung Karet

Lebar bendung karet ditetapkan berdasarkan kondisi topografi yang paling efektif. Dari beberapa profil pengukuran potongan melintang lokasi bendung di lapangan, kemudian di rata-ratakan.

(4) Tinggi Mercu Bendung Karet

El. puncak tanggul–tinggi jagaan (w)–tinggi muka air diatas mercu (h), dengan pertimbangan bahwa harga h/p < 0,60 dimana p adalah tinggi bendung.

- (5) Debit Limpasan Maksimum diatas Mercu
Debit limpasan diatas mercu bendung karet isi udara dapat dihitung dengan rumus $Q = C \cdot B \cdot h^{3/2}$. Untuk pelimpas sempurna harga koefisien debit (C).

$$C = 1,77 h/p + 1,05 \text{ dimana harga } : 0 < h/p < 0,60$$

2. Menghitung Panjang Lantai Muka^[3]

Perhitungan panjang lantai muka dengan cara:

- a) Panjang Creep Line dengan teori Lane,
 $\sum L = \sum L_V + 1/3 \sum L_H$
b) Panjang Creep Line dengan teori Bligh
 $\Delta H = \frac{L}{C}$

3. Kontrol Tebal Lantai^[3]

Syarat: Tekanan ke atas \leq tekanan ke bawah

$$t \geq \frac{\text{tekanan ke atas}}{\text{berat isi beton}}$$

tebal yang direncanakan $> t$

4. Stabilitas Badan Bendung^[7]

- a) Diperlukan data teknis perencanaan bendung karet.
b) Stabilitas di hitung dalam kondisi yang paling kritis, yaitu pada saat muka air diudik (*up stream*) setinggi crest dan dihilir (*down stream*) dalam keadaan kosong.

- (1) Gaya Berat dan Titik Berat Pondasi^[7]

Struktur bendung di buat beberapa segmen/bidang dihitung gaya berat, titik pusat dan momen penahan.

$$X = \frac{\sum M_x}{\sum G}$$

- (2) Gaya Gempa pada titik berat Gaya^[7]
Gaya gempa diperhitungkan pada daerah letak bendung karet, didapat koefisien gempa (dilihat dari peta gempa) seluruh Indonesia.

Titik berat pondasi akibat gempa:

$$y = \frac{\sum M_y}{\sum G_g}$$

5. Gaya Angkat dan Titik Tangkap Gaya^[7]

- a) Kondisi muka air bendung diudik setinggi Crest, bagian hilir kosong (air normal).
b) Perhitungan panjang total *creep lane* (L).

- c) Beda tinggi air (ΔH)
Rumus: $U_x = H_x - \frac{L_x}{\sum L} \cdot \Delta H$

- d) Titik tangkap gaya angkat
 $X = \frac{\sum M_x}{\sum U}$

- (1). Gaya Berat air^[7]

(1) Berat air dihitung sesuai dengan tekanan hidrostatik

(2) Tekanan air: tekanan hidrostatik (Pa) = $0.50 \gamma_w \cdot H_o^2$

- (2). Gaya tarik Bendung Karet (Tv dan Th)^[3]

$$T_v = -T$$

$$T_h = T \alpha$$

$$T = 0,5 \cdot \alpha \cdot \gamma_w (H^2 + 1,78 \cdot h)$$

6. Kontrol Stabilitas^[3]

- a) Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum MT - \sum MG}{\sum V} \leq \frac{B}{6}$$

- b) Daya dukung tanah ijin

Rumus daya dukung (Terjaki)

$$q_u = c \cdot N_c + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma \cdot D \cdot N_q$$

$$\sigma_t = \frac{q_u}{s_f} \text{ (tegangan ijin tanah)}$$

- c) Daya dukung tanah dasar

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B} \right) \leq \sigma_t$$

- (1). Keamanan terhadap guling

$$SF_{gl} = \frac{\sum MT}{\sum MG} > 2 \quad \text{(stabil)}$$

- (2). Keamanan terhadap geser

$$SF_{gs} = \frac{\sum V \cdot \tan \phi + C \cdot B}{\sum H} \geq 1,50$$

(stabil)

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Umum

Sebelum melakukan perhitungan struktur konstruksi penunjang bendung karet ciberung, maka perlu diketahui data-data hidrolis bendung karet Ciberung untuk mendapatkan perencanaan ulang konstruksi penunjang bendung karet sesuai dengan data-data hidrolis yang telah dibahas pada Bab sebelumnya.

2. Analisa Hidrologi

Dari hasil pengamatan pada peta topografi dapat ditentukan Luas Daerah Pengaliran (DPS): 38,564 km². Panjang sungai Cibeber adalah 7 km, Panjang Sungai kedung ingas adalah 6,5 km, jumlah panjang sungai

adalah 13,5 km. Beda tinggi antara titik terjauh (0,9 L) dengan lokasi bangunan bendung karet 43,50 m.

a) Analisis curah hujan

Stasiun pengamatan curah hujan yang masuk dalam daerah pengaliran sungai (*Cachmant Area*) ada 4

(1) Data Curah Hujan

$$\bar{R} = \frac{\sum(R_i)}{n} = \frac{685,80}{10} = 68,58 \text{ mm}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4299,62}{10-1}} = 21,86 \text{ mm}^2$$

$n = 10 \rightarrow$ dari tabel 3.1, di peroleh $Y_n = 0,4952$

Persamaan:

$$R_T = 122,02 \text{ (25 th)}$$

Persamaan *Metode Log Person III*:

$$\text{Log } x = \frac{\sum \text{Log } x_i}{n} = \frac{18,18}{10} = 1,82 \text{ mm}$$

$$S \text{ log } x = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x_i - \text{Log } x)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,1541}{10-1}} = 0,1308 \text{ mm}^2$$

$$\text{Koef. Skewnes (g)} = \frac{n \cdot \sum (\text{Log } x_i - \text{Log } x)^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (S_{\text{log } x})^3} = \frac{10 \cdot (0,0202062)}{(10-1) \cdot (10-2) \cdot (0,1308)^3} = \frac{0,0202062}{0,161122} = 0,125409$$

$$R_t = 14,287 \text{ (25 th)}$$

(2) Metode Log Normal 2 Parameter:

$$\text{Log } x = \frac{\sum \text{Log } x_i}{n} = \frac{18,18}{10} = 1,82 \text{ mm}$$

$$S \text{ log } x = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x_i - \text{Log } x)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,1541}{10-1}} = 0,1308 \text{ mm}^2$$

Koefisien Variasi:

$$CV = \frac{S \text{ log } x}{\text{log } x} = \frac{0,1308}{1,82} = 0,07187$$

$$R_t = 119,657 \text{ (25 th)}$$

Di pakai metode gumbel.

b) Debit banjir rencana

(1) Metode Hasper

$$Q_T = \alpha \times \beta \times q_T \times f$$

$$\alpha = \frac{1+0,012 \times t^{0,7}}{1+0,075 \times t^{0,7}} = \frac{1+0,012 \times 58,564^{0,7}}{1+0,075 \times 58,564^{0,7}} = \frac{1,207}{2,295} = 0,525$$

$$t = 0,1 \times L^{0,8} \times i^{-0,3}$$

$$= 0,1 \times (16,50)^{0,8} \times (0,000724)^{-0,3} = 0,1 \times 9,419 \times 8,751 = 8,243 \text{ jam}$$

$$1/\beta = 1 + \frac{t + 3,7 \times 10^{-0,4t}}{t^2 + 15} \times \frac{f^{0,75}}{12} = 1 + \frac{8,243 + 3,7 \times 10^{-0,4(8,243)}}{8,243^2 + 15} \times \frac{58,564^{0,75}}{12}$$

$$\beta = \frac{1}{3,129} = 0,319$$

$$r = \frac{t \times R_t}{t+1} = \frac{8,243 \times 122,02}{8,243+1} = 108,819 \text{ mm}$$

$$q_t = \frac{r}{3,6 \times t} = \frac{108,819}{3,6 \times 8,243} = 3,667 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{m}$$

Debit rencana (Q25th):

$$Q_T = \alpha \times \beta \times q_T \times f$$

$$Q_{25th} = 0,525 \times 0,319 \times 3,667 \times 58,564$$

$$Q_{25th} = 35,97 \text{ m}^3/\text{dt}$$

(2) Metode Dr. Monobe (Rasional Jepang)

$$Q_T = \frac{1}{3,6} \times \alpha \times r \times f$$

$$V = 72 \times \left(\frac{\Delta H}{L}\right)^{0,6} = 72 \times \left(\frac{0,01195}{16,50}\right)^{0,6} = 0,940 \text{ m/dt}$$

$$t = \frac{L}{V} = \frac{16,50}{0,940} = 17,553 \text{ jam}$$

$$r = R_t / 24 \times (24/t)^{2/3} = 122,02 / 24 \times (24/17,553)^{2/3} = 6,269 \text{ mm/jam}$$

$$\alpha = 0,80 \text{ (koefisien pengaliran)}$$

Debit rencana (Q25th) menurut metode Dr Monobe (Rasional Jepang) adalah sebagai berikut:

$$Q_T = \frac{1}{3,6} \times \alpha \times r \times f$$

$$Q_{25th} = \frac{1}{3,6} \times 0,80 \times 6,269 \times 58,564 = 81,59 \text{ m}^3/\text{dt}$$

(3) Metode Widuen

$$Q_t = mn \cdot f \cdot q' \cdot \frac{R_{70}}{240}$$

$$R_{70} = \frac{R}{m_p} = \frac{122,02}{0,845} = 144,402 \rightarrow m_p =$$

koefisien selama periode 25 tahun didapat dari grafik debit maksimum menurut *weduen*.

Dengan $i = 0,000724$ maka didapat $\alpha\beta q = 3,00 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$

$$Q_{70} = 1,00 \cdot 38,564 \cdot \frac{144,402}{240}$$

$$Q_{70} = 23,203 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Debit rencana (Q_{25th}) menurut metode Weduen adalah sebagai berikut:

$$Q_t = mn \cdot f \cdot q' \cdot \frac{R^{70}}{240}$$

$$Q_{25} = 0,845 \cdot 58,564 \cdot 3,00 \cdot \frac{144,402}{240}$$

$$Q_{25} = 89,32 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Di pakai metode weduen.

3. Perhitungan Hidrolis

a) Tinggi muka air banjir rencana

Aliran sungai dianggap sebagai aliran seragam (*Uniform Flow*), sehingga dalam menentukan tinggi air banjir (H) dapat digunakan rumus *Manning* sebagai berikut:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \cdot A$$

b) Perhitungan tinggi muka air banjir rencana

Data:

- (1) Debit Banjir Rencana (Q_{25th}) = 485,901 m³/dt
- (2) Lebar sungai yang di bangun Bendung Karet (b) = 25,00 m
- (3) Kemiringan talud diperkirakan (m) = 1: 1
- (4) Kemiringan dasar sungai = 0,000724
- (5) Koefisien Manning (n) = 0,025

Dengan memasukkan harga-harga pada data tersebut diatas dalam rumus *Manning*, dengan cara trial and error didapat harga kedalaman air (H) sebagai berikut:

$$A = (25,00 + 1 \cdot H)H$$

$$A = 25H + H^2$$

$$P = 25,00 + 2H \sqrt{1 + 1^2}$$

$$= 25,00 + 2,828 H$$

$$R = \frac{25H + H^2}{25,00 + 2,828 H}$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot A$$

$$89,32 = \frac{1}{0,025} \cdot \left(\frac{25H + H^2}{25,00 + 2,828 H} \right)^{2/3} \cdot (0,000724)^{1/2} \cdot 25H + H^2$$

$$89,32 = 1,076 \cdot \frac{(25H + H^2)^{5/3}}{(25,00 + 2,828H)^{2/3}}$$

Coba H = 2 m

$$89,32 = 1,076 \times \frac{(25 \cdot 2 + 2^2)^{5/3}}{(25,00 + 2,828 \cdot 2)^{2/3}}$$

$$= 89,32 \text{ m}^3/\text{dt} = 84,89 \text{ m}^3/\text{dt}$$

c) Tinggi mercu bendung karet

$$\frac{h}{p} = 0,40$$

$$h = 0,40 \cdot p$$

$$p = \frac{1h}{0,40}$$

$$p = 2,50 h$$

Dimana h + p = H atau h = H – p dengan memasukkan persamaan diatas maka dapat dihitung besarnya p dan h.

p = 2,50 . (H – p) kita ambil H = 2,50 m

Maka:

$$p = 2,50 \cdot (2,50 - p)$$

$$p = 1,80 \text{ m}$$

$$h = 0,40 p$$

$$h = 0,40 \cdot 1,80$$

$$h = 0,75$$

Sehingga tinggi mercu bendung adalah 1,80 m dari dasar sungai.

d) Hitungan Limpasan Maksimum di atas Mercu

Dimensi penampang bendung:

(1) Lebar dasar Sungai Ciberung (B) = 25,00 m

(2) Lebar mercu bendung = 26,8 m

(3) Tinggi mercu (p) = 1,80 m

(4) Tinggi Muka air diatas mercu sebelum kempis = 0,75 m

(5) Kemiringan tembok pangkal (tepi kiri kanan) = 1: 0,5

Untuk pelimpahan sempurna harga koefisien debit (C):

$$C = 1,77 h/p + 1,05 \text{ dimana harga: } 0 < h/p < 0,60$$

$$C = 1,77 \frac{0,75}{1,80} + 1,05$$

$$C = 1,79 \text{ berarti } 0 < 0,40 < 0,60 \text{ (masuk)}$$

Debit maksimum yang melimpas diatas mercu bendung karet ciberung belum terjadi pengempisan tubuh bendung karet:

$$Q = C \cdot B \cdot h^{3/2}$$

$$Q = 1,79 \cdot 26,8 \cdot (0,75)^{3/2}$$

$$Q = 31,16 \text{ m}^3/\text{dt}$$

e) Tinggi Muka Air Di hilir Bendung Karet

(1) Debit limpasan maksimum = 31,16 m³/dt

(2) Lebar sungai = 25,00 m

(3) Kemiringan talud diperkirakan = 1: 1

(4) Kemiringan dasar sungai = 0,000724

(5) Koefisien Manning (n) = 0,025

Dengan trial and error didapat tinggi air

(H) sebagai berikut:

$$A = (25,00 + 1 \cdot H)H$$

$$A = 25H + H^2$$

$$P = 25,00 + 2H\sqrt{1 + 1^2}$$

$$= 25,00 + 2,828 H$$

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

$$R = \frac{25H + H^2}{25,00 + 2,828 H}$$

$$31,16 = 1,076 \cdot \frac{(25H + H^2)^{5/3}}{(25,00 + 2,828H)^{2/3}}$$

$$\text{Coba } H = 1,08 \text{ m}$$

$$31,16 = 31,29 \text{ m}^3/\text{dt}$$

4. Panjang Lantai Muka

Perhitungan Creep Line (rembesan) dihitung dari gambar rencana

$$L \geq \Delta H \cdot CL = 1,80 \times 7,00 = 12,60 \text{ m}$$

Panjang Creep Line Rencana = 15,90 > 12,60 → aman

5. Perhitungan Stabilitas

a) Perhitungan Stabilitas Badan Bendung Karet Ciberung

(1) Gaya Berat dan Titik Berat Pondasi

$$X = \frac{\sum Mx}{\sum G} = \frac{106,46}{30,03} = 3,54 \text{ m}$$

(2) Gaya Gempa dan Titik Berat Gaya

$$y = \frac{\sum My}{\sum G} = \frac{4,128}{3,003} = 1,37 \text{ m}$$

(3) Gaya Angkat (Uplift) dan Titik Tangkap Gaya

(a) Panjang total Creep Line (L) = 28,90 m

(b) Beda Tinggi (ΔH) = 1,80 m

(c) Panjang Creep Line sampai titik K = 10,90 m

(d) Panjang Creep Line sampai titik J = 12,40 m

(e) Panjang Creep Line sampai titik I = 13 m

(f) Panjang Creep Line sampai titik H = 17,10 m

(g) Panjang Creep Line sampai titik G = 17,70 m

(h) Panjang Creep Line sampai titik F = 19,20 m

(i) Tinggi air pada ke titik K ; J ; G ; F = 4,40 m

(j) Tinggi air pada ke titik I ; H = 3,30 m

(4) Perhitungan Gaya Angkat (Uplift)

$$(a) UK = 4,40 - \frac{10,90}{28,90} \cdot 1,80 = 3,72 \text{ ton}$$

$$(b) UJ = 4,40 - \frac{12,40}{28,90} \cdot 1,80 = 3,63 \text{ ton}$$

$$(c) UI = 3,30 - \frac{13}{28,90} \cdot 1,80 = 2,49 \text{ ton}$$

$$(d) UH = 3,30 - \frac{17,10}{28,90} \cdot 1,80 = 2,23 \text{ ton}$$

$$(e) UG = 4,40 - \frac{17,70}{28,90} \cdot 1,80 = 3,30 \text{ ton}$$

$$(f) UF = 4,40 - \frac{19,20}{28,90} \cdot 1,80 = 3,20 \text{ ton}$$

Uplift pada bidang

$$(a) U1 = \frac{3,72 + 3,63}{2} \times 1,50 = 5,51 \text{ ton}$$

$$(b) U2 = \frac{2,49 + 2,23}{2} \times 4,10 = 9,68 \text{ ton}$$

$$(c) U3 = \frac{3,30 + 3,20}{2} \times 1,50 = 4,88 \text{ ton}$$

(5) Titik Tangkap Gaya

Pada bidang 1

$$X_1 = \left[\frac{(3,72) + 2 \cdot (3,63)}{3,72 + 3,63} \right] \cdot \frac{1,50}{3} = 0,747 \text{ m}$$

Pada bidang 2

$$X_2 = \left[\frac{(2,49) + 2 \cdot (2,23)}{2,49 + 2,23} \right] \cdot \frac{4,10}{3} + 1,50$$

$$= 3,512 \text{ m}$$

Pada bidang 2

$$X_3 = \left[\frac{(3,30) + 2 \cdot (3,20)}{3,30 + 3,20} \right] \cdot \frac{1,50}{3} + 5,60$$

$$= 6,346 \text{ m}$$

$$x = \frac{\sum Mx}{\sum U} = \frac{69,08}{20,07} = 3,44 \text{ m}$$

(6) Gaya Berat Air (Ww)

$$x = \frac{\sum Mx}{\sum Ww} = \frac{4,407}{3,822} = 1,15 \text{ m}$$

(7) Tekanan Air

$$\text{Tekanan air tetap (Pw)} = 0,50 \cdot 1,00 \cdot (1,80)^2$$

$$= 1,62 \text{ ton}$$

$$\text{Titik pusat (y)} = 1/3 \cdot H_0 + 1,50$$

$$= 1,1 \text{ m}$$

(8) Gaya Tarik Udara Pada Bendung Karet

α = koefisien tekanan udara pada bendung karet = 1,00

$$H = 1,80 \text{ m}$$

$$h = 0$$

$$T = 0,50 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot (1,80^2 + 1,78 \cdot 0) = 1,62 \text{ ton}$$

Titik tangkap gaya

$$x = 1,87$$

$$y = 0,90$$

(9) Tekanan Dalam Bendung (Pp)

$$P_0 = \alpha \cdot \gamma_w \cdot H = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,80 = 1,80 \text{ ton}$$

$$P_p = P_0 \cdot 1,87 = 1,80 \cdot 1,87 = 3,366 \text{ ton}$$

$$\text{Titik tangkap} = \frac{1,87}{2} \cdot 1,50 = 1,403 \text{ m}$$

(10) Rekapitulasi Total Gaya-Gaya dan Momen

Tabel 1. Rekapitulasi Gaya dan Momen

No.	Uraian Gaya	Gaya Vert (Ton)	Gaya Hor (Ton)	X (m)	Y (m)	Mx (Ton.m)	My (Ton.m)
1.	Berat Pondasi (G)	30,03	-	3,54	-	106,30	-
2.	Gaya Gempa (Gg)	-	3,003	-	1,37	-	4,114
3.	Gaya Angkat (U)	-20,07	-	3,44	-	69,04	-
4.	Berat Air (Ww)	3,882	-	1,15	-	4,46	-
5.	Tekanan Air (Pw)	-	1,62	-	1,1	-	1,78
6.	Gaya Tarik Bendung (T)	-1,62	-	1,87	-	-3,03	-
7.	Tekanan Dalam Bendung (Pp)	3,366	-	1,403	-	4,722	-
	Σ	15,59	4,62			43,41	5,89

(11) Kontrol Stabilitas

(a) Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{7,1}{2} - \frac{43,41 - 5,89}{15,59} = 1,143 < 1,18$$

(b) Daya Dukung Tanah Ijin

$$q_u = c \cdot N_c + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma \cdot D \cdot N_q$$

$$= 2,00 \cdot 6,4 + \frac{1}{2} 1,60 \cdot 7,1 \cdot 1,20 + 1,60 \cdot 2,60 \cdot 2,7$$

$$= 12,8 + 6,816 + 11,23$$

$$q_u = 30,848 \text{ ton/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_t = \frac{1}{3} q_u = \frac{30,848}{3} = 10,283 \text{ ton/m}^2$$

(daya dukung tanah yang diijinkan)

(c) Daya Dukung Tanah Dasar

$$\sigma_1 = \frac{15,59}{7,10} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,143}{7,10} \right)$$

$$= 4,317 < 10,283 \text{ (ok stabil)}$$

$$\sigma_2 = \frac{15,59}{7,10} \left(1 - \frac{6 \cdot 1,143}{7,10} \right)$$

$$= 0,075 < 10,283 \text{ (ok stabil)}$$

(d) Kestabilan terhadap Guling

$$SF_{gl} = \frac{43,41}{5,89} = 7,37 > 2$$

(ok stabil)

(e) Kestabilan terhadap geser

$$SF_{gs} = \frac{15,59 \cdot \tan 14^\circ + 2,00 \cdot 7,10}{\frac{4,62}{3,89 + 14,2}} \geq 1,50$$

$$= \frac{4,62}{4,62}$$

$$= 4,76 > 1,50 \text{ (ok stabil)}$$

b) Koefisien Tanah

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 37/2) =$$

$$0,249$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) = \tan^2 (45 + 37/2) = 4,023$$

(1) Tegangan Tanah

$$\sigma_a = \gamma \cdot H \cdot K_a = 1,96 \times 6,00 \times 0,249 = 2,928 \text{ ton/m}$$

$$\sigma_p = \gamma \cdot H \cdot K_p = 1,579 \times 2,00 \times 4,023 = 12,705 \text{ ton/m}$$

$$\sigma_c = -2c \sqrt{K_a} = 2 \times 1,50 \sqrt{0,249} = 1,497 \text{ ton/m}$$

(2) Tekanan Tanah

$$P_a = \frac{1}{2} (\sigma_a - \sigma_c) (H - H_0) = \frac{1}{2} (2,928 - 1,497) 2,932 = 2,098 \text{ ton}$$

$$P_p = \frac{1}{2} (\sigma_p) h = \frac{1}{2} \cdot 12,705 \cdot 2,00 = 12,705 \text{ ton}$$

Titik tangkap:

$$Y_a = \frac{1}{3} \cdot (H - H_0) = \frac{1}{3} (6,00 - 3,068) = 0,977 \text{ m}$$

$$Y_p = \frac{1}{3} \cdot 2,00 = 0,667 \text{ m}$$

(3) Gaya Berat Sendiri dan titik Tangkap Gaya:

$$\text{Titik tangkap} = \frac{106,076}{46,459} = 2,283 \text{ m}$$

(4) Gaya Gempa dan titik Tangkap Gaya:

$$\text{Titik tangkap Gaya} = \frac{12,251}{4,646} = 2,637 \text{ m}$$

(5) Total Gaya dan Momen

Tabel 2. Total Gaya dan Momen

No.	Uraian Gaya	Gaya Vert (ton)	Gaya Hor (ton)	x (m)	y (m)	Mx (ton.m)	My (ton.)
1.	Berat sendiri	46,459		2,283		106,076	
	-Kontruksi						
	-Gempa		4,646		2,63		12,251
2.	Tekanan Tanah						
	-Aktif		2,098		0,97		2,050
	-Pasif		-12,705		0,67		-8,474
3.	Tanah Pasif	46,459	6,744			106,076	14,301
4.	Dengan pasif		-5,961				5,827

(6) Kontrol Stabilitas

(a) Eksentrisitas

$$e = \frac{4,20}{2} - \left(\frac{106,076 - 14,301}{46,459} \right)$$

$$e = 0,125 < 0,70 \rightarrow \text{(ok stabil)}$$

(b) Daya Dukung Tanah Ijin:

$$\Sigma u = 3 \cdot 16,80 + \frac{1}{2} \cdot 1,932 \cdot 4,20 \cdot 9,60 + 1,932 \cdot 2 \cdot 12,80$$

$$= 138,81 \text{ ton /m}^2$$

$$\bar{\sigma}_t = \frac{1}{3} \sum u = \frac{1}{3} \cdot 138,81 \\ = 46,27 \text{ ton /m}^2$$

(c) Daya Dukung Tanah Dasar:

$$\sigma_{1.2} = \frac{46,459}{4,20} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,125}{4,20}\right) \leq \bar{\sigma}_t \\ \sigma_1 = 13,04 \text{ ton /m}^2 (+) < 46,27 \\ \sigma_2 = 9,09 \text{ ton /m}^2 (-) < 46,27$$

(d) Kestabilan terhadap Guling:

$$SF_{gl} = \frac{106,076}{14,301} = 7,42 > 2 \rightarrow \\ \text{stabil}$$

(e) Kestabilan terhadap Geser:

$$SF_{gs} = \frac{46,459 \cdot \tan 34^\circ + 3 \cdot 4,20}{6,744} \\ = 6,515 > 1,50 \rightarrow (\text{ok stabil})$$

(7) Kontrol Tebal Alas Pondasi

(a) Tanah:

$$5,20 \times 1 \times 1,96 = 10,19 \text{ ton/m}^2$$

(b) Alas Pondasi:

$$0,80 \times 1 \times 2,40 = 1,92 \text{ ton/m}^2$$

(c) Beban yang berpengaruh:

$$M I-I = \frac{1}{2} \sum_1 l^2 + \frac{1}{3} \sum_2 l^2 \\ = \frac{1}{2} 1,05 \cdot 2,10^2 + \frac{1}{3} 1,47 \cdot \\ 2,10^2 = 5,211 \text{ ton.m} = 521100 \text{ kg.cm}$$

$$D I-I = \left(\frac{1,05+3,02}{2}\right) \cdot 2,10 = 4,2735 \\ \text{ton} = 4774 \text{ kg}$$

(d) Cek Tebal Alas Pondasi:

$$\frac{8}{7} \cdot \frac{4274}{100 \times 60} = 0,81 \text{ kg/cm}^2 < \bar{t}b = 6,5 \\ \text{kg/cm}^2 \rightarrow \text{aman}$$

5. URAIAN UMUM

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan biaya suatu konstruksi berdasarkan gambar rencana. Tujuan pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah untuk memberikan gambaran yang pasti mengenai bentuk, besar biaya, pelaksanaan dan penyelesaian.

1. Lingkup Pekerjaan

- Pekerjaan Persiapan;
- Pembuatan Saluran Pengelak;
- Pembuatan Kistdam;
- Pembuatan Dewatering;
- Pekerjaan Galian dan Timbunan Tanah;

- Pekerjaan lantai beton K225 dan pondasi beton K300;
- Pasangan Batu Kali, Rip-Rap dan Bronjong;
- Pemasangan Bendung Karet;
- Pembuatan tanggul/landhop bending;
- Pembuatan rumah pompa; dan
- Test dan Komissioning serta pelatihan pemeliharaan dan operator.

2. Analisa Teknik

a) Galian Tanah Tubuh Bendung

- Galian tubuh bendung (A) = $1,50 \times (4,10 + 0,50) \times 40,00 = 276 \text{ m}^3$
- Galian pondasi (B) = $(2,10 \times (1,50 + 0,50) \times 40,00) \cdot 2 = 336 \text{ m}^3$
- Galian Lantai Hulu (C) = $0,50 \times (7,20 + 0,50) \times 40,00 = 154 \text{ m}^3$
- Kooperan lantai hulu (D) = $\frac{0,50+0,90}{2} \times 0,70 \times 40,00 = 19,6 \text{ m}^3$
- Galian Lantai Hilir (E) = $0,50 \times (7,50 + 0,50) \times 40,00 = 160 \text{ m}^3$
- Kooperan lantai hilir (F) = $(0,50 + 0,50) \times 1,60 \times 40,00 = 64 \text{ m}^3$

b) Galian Tanah Tembok Pangkal

$$\left(\frac{4,20+0,50}{2} \times 6,00 \times 40,00\right) \cdot 2 = 1.128 \text{ m}^3 \\ \text{Volume: } 2.137,60 \text{ m}^3$$

3. Timbunan tanah

$$40 \% \times (1.969,60) = 787,84 \text{ m}^3 \\ \text{Volume: } 787,84 \text{ m}^3$$

4. Gembalan Rumput

$$\text{Volume} = 375 \text{ m}^2$$

5. Beton Lantai Kerja K.100

$$50 \times 31,80 \times 0,10 = 159 \text{ m}^3$$

6. Beton Lantai Linning K.175

- $\left(\frac{0,30+0,60}{2} \times 2,50 \times 30,00\right) \cdot 2 = 67,5 \text{ m}^3$
- $\left(\frac{0,50+0,70}{2} \times 0,80 \times 30,00\right) \cdot 2 = 28,8 \text{ m}^3$

7. Beton Tulang Tubuh Bendung K225

- Lantai tubuh bendung (A) $2,00 \times 2,10 \times 40,00 = 168,00 \text{ m}^3$
- Pondasi tubuh bendung (B) $(1,50 \times 2,60 \times 40,00) \cdot 2 = 312,00 \text{ m}^3$
- Lantai hulu bendung (C) $0,50 \times 7,20 \times 40,00 = 144,00 \text{ m}^3$
- Kooperan bawah lantai hulu (D) $\frac{0,50+0,70}{2} \times 0,70 \times 40,00 = 16,80 \text{ m}^3$
- Ujung lantai tubuh bendung (E)

$$\frac{1,00+0,80}{2} \times 0,60 \times 40,00 = 21,60 \text{ m}^3$$

f) Lantai hilir bendung (F)
 $0,50 \times 7,50 \times 40,00 = 150,00 \text{ m}^3$

g) Kooperan atas lantai hilir (G)
 $\frac{0,50+0,80}{2} \times 0,50 \times 40,00 = 13,00 \text{ m}^3$

f) Kooperan bawah lantai hilir (H)
 $\frac{0,50+0,80}{2} \times 0,60 \times 40,00 = 15,60 \text{ m}^3$

$$\sum \text{beton tulang tubuh bendung K225} = 841,00 \text{ m}^3$$

8. *Beton Tulang Tembok Pangkal K225*

a) $\frac{1,00+0,60}{2} \times 2,10 \times 40,00 = 294,00 \text{ m}^3$ (A)

b) $2,10 \times 2,00 \times 40,00 = 168,00 \text{ m}^3$ (B)

c) $\frac{2,10+0,50}{2} \times 3,20 \times 40,00 = 166,40 \text{ m}^3$ (C)

d) $0,50 \times 0,80 \times 40,00 = 16,00 \text{ m}^3$ (D)

$$\sum \text{beton tulang tembok pangkal K225} = 644,40 \text{ m}^3$$

$$\sum \text{beton tulang} = \text{tubuh bendung} + \text{tembok pangkal} = 1.485,40 \text{ m}^3$$

9. *Plesteran di tembok lining*

Plesteran 1:3
 $(5,30 \times 30,00) \times 4 = 636 \text{ m}^2$

10. *Pasangan Batu Kosong*

$$40 \times 20 \times 1,5 = 1200 \text{ m}^3$$

11. *Pemasangan Rubber Water stop*

$$50 \times 2 = 100 \text{ m}$$

- a) Daftar Harga Upah, Bahan dan Peralatan
Sumber dari: Daftar Harga Satuan dan Upah Dinas SDA Kabupaten Serang
- b) RAB
Terbilang: Sepuluh milyar tiga ratus dua puluh dua juta tiga ratus tujuh ribu rupiah.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

1. *Kesimpulan*

Dalam perencanaan bendung karet Ciberung dapat disimpulkan antara lain:

- Pembangunan kembali Bendung Karet Ciberung merupakan upaya perbaikan bendung yang kondisinya telah rusak supaya kebutuhan air terpenuhi kembali.
- Rencana Ulang Bendung Karet Ciberung untuk menaikkan muka air guna untuk

keperluan air baku, air irigasi, air industri serta air pertambakan.

- Rencana Anggaran Biaya konstruksi bendung direncanakan sebesar Rp 11.354.539.000 (Sebelas milyar tiga ratus lima puluh empat juta lima ratus tiga puluh sembilan ribu rupiah).
- Dari hasil analisa debit, perhitungan geser dan guling di peroleh hasil yang stabil.
- Dengan dilaksanakan perencanaan ulang dapat memenuhi kebutuhan air tawar saat musim kemarau bagi masyarakat di Wilayah Kecamatan Bojonegara dan Cibeber.
- Dengan digantinya *Rubber Dam* maka bendung karet dapat bekerja normal lagi, sehingga dapat mencegah intrusi air laut.

2. *Saran*

- Perlu pemeriksaan berkala terhadap kondisi bendung agar kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat segera ditangani sehingga tidak berakibat fatal.
- Perencanaan pembangunan kembali harus memperhitungkan kesulitan yang mungkin timbul untuk mendapatkan hasil yang optimal dan biaya yang ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 2004. *Perencanaan Bendung Karet Isi Udara*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, September.
- Balai Besar Wilayah Sungai Cidanau Cijung Cidurian Serang Banten.
- Sudjarwo. 2013. *Bendung Karet Kembang Kempis Serba Guna*, Mei.
- Bambang Triatmojo. 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Sri Harto.1993. *Analisa Hidrologi*, PT Grmedia Pustaka, Jakarta.
- Suyono Sosrodarsono. 1983. *Hidrologi Untuk Pengairan dan Kriteria Perencanaan Teknis Irigasi*, PT Pradya Paramita Indonesia.
- Sunggono KH, 1995. *Buku Teknik Sipil*, Nova, Bandung.

8. J.A. Mukomuko. 1972. *Dasar Penyusunan Anggaran Biaya Bangunan*. Kurnia Esa, Jakarta.