

ANALISIS KELAYAKAN BENDUNG CIPASAURAN SEBAGAI SUMBER AIR BAKU BAGI PT KRAKATAU TIRTA INDUSTRI

CIPASAURAN WEIR FEASIBILITY ANALYSIS AS A SOURCE FOR RAW WATER INDUSTRY PT KRAKATAU TIRTA

Ririn Rimawan¹⁾, Adi Prasetyo²⁾

^{1),2)} Staf Balai BHGK Puslitbang SDA

Puslitbang Sumber Daya Air, Jl. Ir. H. Juanda No, 193 Bandung 40135

Telp. 022-2500507, 2504053, 2504053, 2501083 Fax 022-2500163

e-mail: peott_ind@yahoo.com

Diterima: 03 September 2013; Disetujui: 22 November 2013

ABSTRAK

PT Krakatau Tirta Industri (PT. KTI) merupakan anak perusahaan Krakatau Steel Group (PTKS) yang bergerak di bidang penyediaan air bersih, untuk Kawasan Cilegon dan sekitarnya. Saat ini PT. KTI memiliki kemampuan produksi sebesar 2.000 l/det, namun hanya 1.515 l/det air baku yang dapat diproduksi secara kontinu sepanjang tahun. Berdasarkan proyeksi kebutuhan air tahun 2012-2023, kekurangan air baku di masa mendatang adalah sebesar 1.453 l/det. Untuk itu PT KTI berupaya mencari alternatif sumber air baku lain yang layak baik secara teknis dan ekonomi untuk mencukupi kebutuhan suplai air baku, salah satunya dengan memanfaatkan sumber air yang berasal dari Sungai Cipasauran. Berdasarkan perhitungan debit andalan di Sungai Cipasauran diperkirakan akan mampu mensuplai air baku sebesar 720 l/det. Berdasarkan hasil analisis secara teknis, desain Bendung Cipasauran memenuhi kriteria stabilitas daya dukung serta aman terhadap gaya geser dan gaya guling. Selain itu berdasarkan hasil pemodelan numerik, daerah di sebelah udik bendung dipastikan tidak akan mengalami efek pembendungan (backwater) atau banjir. Hasil analisa parameter-parameter kelayakan investasi mendapatkan NPV sebesar Rp. 78.072.487.959,77, BCR sebesar 2,48 dengan IRR sebesar 29,24% dan kondisi BEP selama 7 tahun.

Kata kunci: Air baku, bendung, fisibilitas, investasi, sungai

ABSTRACT

PT Krakatau Tirta Industry (PT KTI) is a subsidiary of Krakatau Steel Group (PTKS) engaged in the provision of clean water, to Cilegon and surrounding areas. Currently PT.KTI has a production capacity of 2,000 l / s, but only 1,515 l / s of water that can be produced continuously throughout the year. Based on the projected water demand in 2012-2023, shortage of raw water in the future is equal to 1,453 l / s. For the PT KTI trying to find other alternative sources of raw water are both technically feasible and economically to meet the need of the raw water supply, one of them by utilizing water from river Cipasauran. Based on the calculations in river discharge mainstay Cipasauran expected to be able to supply raw water at 720 l /det. Based on the results of technical analysis, design of weirs Cipasauran meet stability criteria as well as the safe carrying capacity of the shear force and roll style. Also based on the results of numerical modeling, the area next to the dam hick certainly will not have the effect of damming (backwater) or flooding. The results of the feasibility analysis parameters get NPV investment of Rp.78,072,487,959.77, BCR at 2.48 with an IRR of 29.24% and BEP conditions for 7 years.

Keywords: raw water, weir, feasibility, investment, river

PENDAHULUAN

Seiring dengan semakin berkembangnya kawasan industri di wilayah Cilegon dan meningkatnya pertambahan jumlah penduduk di kawasan tersebut, maka semakin meningkat pula kebutuhan akan air bersih di wilayah tersebut.

Namun peningkatan kebutuhan air ini tidak diiringi dengan suplai dan ketersediaan air baku yang cukup, baik untuk sektor industri maupun rumah tangga. Hal ini tentunya akan menjadi kendala bagi pengembangan industri-industri strategis yang berada di kawasan tersebut.

Salah satu industri strategis yang berada di kawasan Cilegon adalah Krakatau Steel Group (PTKS). PTKS saat ini sedang melakukan pengembangan bisnis untuk meningkatkan kemampuan produksinya dalam rangka menghadapi persaingan global. PTKS berencana akan membangun beberapa pabrik baru diantaranya Blast Furnace dan Integrated Steel Mill, PT Krakatau Posco Tahap I dan II dan lain-lain, dimana dalam proyek pengembangan tersebut membutuhkan dukungan prasarana penunjang salah satunya adalah ketersediaan air baku yang cukup.

PT Krakatau Tirta Industri (PT. KTI) sebagai anak perusahaan PTKS yang bergerak di bidang penyediaan air bersih di Kawasan Cilegon, diharapkan mampu mensuplai kebutuhan air yang diperlukan tersebut. Saat ini PT. KTI memiliki kemampuan produksi sebesar 2.000 l/det, namun hanya 1.515 l/det air baku yang dapat diproduksi secara kontinu sepanjang tahun. Sumber air baku berasal dari Sungai Cidanau sebesar 1.375 l/det dan Waduk Krenceng sebesar 140 l/det. Kemudian berdasarkan proyeksi kebutuhan air tahun 2012-2023, kekurangan air baku di masa mendatang adalah sebesar 1.453 l/det.

Berdasarkan data tersebut di atas terlihat bahwa permintaan air bersih di masa mendatang akan melebihi kemampuan produksi air baku yang dihasilkan oleh PT. KTI. Oleh karena itu, PT KTI berupaya mencari alternatif sumber air baku lain yang layak secara teknis dan ekonomis untuk mencukupi kebutuhan suplai air baku, salah satunya dengan memanfaatkan sumber air yang berasal dari Sungai Cipasauran. Lokasi Sungai Cipasauran relatif tidak terlalu jauh dari rumah pompa pengambilan air baku Sungai Cidanau sehingga air baku dari Sungai Cipasauran dapat disuplai ke Rumah Pompa Cidanau untuk dialirkan kembali ke instalasi pengolahan air (IPA) PT. KTI di Cilegon.

Berkenaan dengan rencana PT. KTI untuk memanfaatkan sumber air baku yang berasal dari Sungai Cipasauran tersebut maka kegiatan penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan konsep desain bendung yang optimal. Dalam tulisan ini dibahas analisis kelayakan pembangunan bendung baik dari aspek teknis maupun aspek ekonomi dan finansial untuk menentukan pembangunan bendung tersebut layak atau tidak dibangun

TINJAUAN PUSTAKA

Bendung Tetap

Pengertian bendung tetap menurut KP 02 : Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama

adalah bangunan air dengan kelengkapannya yang dibangun melintang sungai atau sudetan, dan sengaja dibuat untuk meninggikan muka air dengan ambang tetap sehingga air sungai dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke jaringan irigasi. Kelebihan airnya dilimpahkan ke hilir dengan terjunan yang dilengkapi dengan kolam olak dengan maksud untuk meredam energi.

Dalam rangka mendesain bendung tetap untuk keperluan irigasi teknis dibutuhkan data sebagai berikut:

- Data topografi; peta topografi, peta situasi sungai untuk lokasi bendung, potongan memanjang dan melintang.
- Data hidrologi; debit banjir dengan kala ulang tertentu dan debit andalan; data kebutuhan air yang diperlukan untuk irigasi pertanian dan kebutuhan air untuk keperluan lainnya.
- Data morfologi sungai; bentuk, ukuran alur, dan palung dan kemiringan dasar sungai keadaan angkutan sedimen, gejala agradasi, dan degradasi dasar sungai, perubahan morfologi sungai dan sebagainya.
- Data geoteknik; keadaan geologi lapangan, kedalaman lapisan tanah keras, sesar, kelulusan dan sebagainya; data mekkan seperti bahan konstruksi, bahan pondasi, sumber bahan timbunan, parameter tanah yang harus digunakan dan sebagainya.
- Data lingkungan dan sebagainya.

Tubuh bendung adalah bagian bendung yang terdiri dari ambang tetap, yang berfungsi untuk meninggikan taraf muka air sehingga diperoleh tinggi tekan. Bidang miring tubuh bendung bagian udik dapat didesain tegak atau miring. Bidang miring tubuh bendung bagian hilir didesain miring dengan perbandingan 1:1 atau dapat lebih tegak.

Tubuh bendung harus stabil dan kuat menahan beban-beban yang bekerja baik statik maupun dinamik dan dengan memperhatikan faktor kekuatan material yang dipakai, bahaya beban, benturan sedimen dan batu, kemungkinan kavitasi, rembesan, stabilitas dan kekuatan struktur.

Desain hidraulik adalah tahapan kegiatan penentuan bentuk dan ukuran hidraulik bangunan bendung dan bangunan perlengkapannya. Dalam desain hidraulik bendung dirancang:

- Bendung pelimpah; sumbu ambang pelimpah bendung, lebar bentang bendung, tinggi bendung, dan bentuk mercu bendung.
- Bangunan peredam energi bendung.
- Perlengkapan bendung; tembok sayap hilir, tembok sayap udik, tembok pangkal, pengarah

aliran, saringan sampah dan batu, lantai udik serta tanggul penutup.

d Bangunan pengambil (*intake*).

e Bangunan bilas.

Pada tubuh bendung tetap di hilir pengambilan, dibuat bangunan pembilas, guna mencegah masuknya sedimen kasar ke dalam jaringan saluran irigasi. Pembilas dapat direncanakan sebagai:

a Pembilas pada tubuh bendung dekat pengambilan (tipe tradisional)

b Pembilas bawah (*undersluice*) (sekarang umum dipakai)

c *Shunt undersluice* (dibuat di luar lebar bersih bangunan bendung)

d Pembilas bawah tipe boks (menggabung pengambilan dan pembilas dalam satu bidang atas bawah).

Ekonomi dan financial

1 Kriteria Kelayakan

Investasi pasti mengharapkan return/benefit atau investasi harus layak, sedang layak bisa dilihat dari berbagai sisi: teknis, Lingkungan, Sosial politik, Pertahanan Keamanan, Ekonomi dan Financial.

Penilaian terhadap kelayakan usaha secara ekonomis ditetapkan dengan kriteria kelayakan sebagai berikut :

a Net Present Value (NPV)

Menunjukkan jumlah dana tunai dari usaha perusahaan yang berhasil dikumpulkan dari tahun ke tahun jika dinilai pada keadaan sekarang dengan menggunakan metoda discounted value atau faktor bunga efektif yang berlaku pada keadaan sekarang.

$NPV = \text{jumlah present value penerimaan} - \text{dikurangi jumlah present value pembiayaan}$

Untuk suatu tingkat suku bunga (interest rate), nilai NPV bias positif, bias nol, atau bias negative. Positif berarti $Pv \text{ Revenue} > Pv \text{ Cost}$, Nol berarti $Pv \text{ Revenue} = Pv \text{ Cost}$, sedangkan negative berarti $Pv \text{ Revenue} < Pv \text{ Cost}$.

Sebuah proyek dikatakan layak (menguntungkan) bila NPV lebih besar dari nol (positif). Jika $NPV = 0$ berarti proyek tidak untung tapi juga tidak rugi. Jika NPV kecil dari nol (negative) berarti proyek rugi.

b Internal Rate of Return

Menunjukkan kemampuan dari usaha perusahaan dari tahun ke tahun dalam menghasilkan dana tunai untuk memberikan

nilai return / deviden rata-rata tahunan dalam bentuk persentase terhadap nilai investasi.

Besar interest rate yang memberikan $NPV=0$ atau interest rate yang memberikan $Pv \text{ cost} = Pv \text{ Revenue}$.

Jika interest rate yang dibebankan lebih besar dari IRR, proyek akan rugi. Jika lebih kecil proyek untung. IRR dapat dihitung dengan NPV untuk berbagai tingkat interest rate sehingga mendapatkan angka positif dan negative. IRR dihitung dengan interpolasi kedua harga NPV tersebut.

c Pay Back Period

Menunjukkan kemampuan dari usaha perusahaan untuk berapa lama dapat mengembalikan seluruh biaya investasi dari dana tunai yang berhasil dikumpulkan dalam satuan waktu (tahun) dengan tidak memperhitungkan pengaruh suku bunga dan waktu terhadap nilai uang.

d Benefit Cost Ratio (B-C Ratio)

B-C Ratio merupakan perbandingan jumlah $Pv \text{ Revenue}$ dengan $Pv \text{ Cost}$ untuk suatu interest rate tertentu. Ada tiga kemungkinan besaran B-C Ratio:

1) B-C Ratio > 1 ; untuk interest rate tersebut, $Pv \text{ Revenue} > Pv \text{ Cost}$, Proyek layak/menguntungkan, $NPV > 0$.

2) B-C Ratio $= 1$; untuk interest rate tersebut, $Pv \text{ Revenue} = Pv \text{ Cost}$, Proyek tidak untung/tidak rugi, $NPV = 0$

3) B-C Ratio < 1 ; untuk interest rate tersebut, $Pv \text{ Revenue} < Pv \text{ Cost}$, Proyek rugi, $NPV < 0$.

2 Skenario Bisnis

Dalam penyusunan analisis financial, disusun suatu skenario bisnis untuk mengetahui unsur-unsur financial yang memiliki peran penting dalam proses analisis. Dalam menentukan skenario bisnis proyek ini memperhitungkan peran harga jual air bersih dan volume penjualan. Dengan demikian faktor paling penting dalam melakukan analisis financial studi kelayakan proyek ini adalah bagaimana volume penjualan dapat tercapai sesuai dengan rencana kebutuhan air dan harga jual yang wajar dan juga menguntungkan dalam merealisasikan Proyek Optimasi Cipasauran.

METODE PENELITIAN

Metodologi yang dibagi dalam 3 (tiga) tahap sesuai lingkup kegiatan sebagai berikut:

Tahap 1 Pendahuluan. Dalam tahap ini dilakukan pengumpulan data sekunder. Pengumpulan data sekunder bertujuan untuk mengetahui karakteristik kondisi area studi yang

ditinjau dari aspek hidrologi, hidraulika geoteknik, sosial dan ekonomi secara keseluruhan.

Tahap 2 Survei, Investigasi Lapangan dan Analisis. Dalam tahap ini dilakukan survei, penyelidikan lapangan dan analisa teknis terhadap data yang diperoleh serta verifikasi dari hasil pengumpulan data sekunder pada Tahap 1. Kegiatan dilanjutkan dengan analisis untuk masing-masing kajian, yaitu analisis topografi untuk pemetaan dan penentuan elevasi bangunan air, penyelidikan geoteknik untuk mengetahui kondisi geologi dan geoteknik lokasi disekitar rencana bendung, analisa hidrologi untuk mengetahui potensi ketersediaan air, menghitung debit andalan dan debit banjir rencana, analisa hidraulik untuk mendapatkan desain bendung dan bangunan pelengkap lainnya, pemodelan numerik untuk mengetahui efek *backwater* akibat pembendungan dan analisis stabilitas Tahap 3 adalah penyusunan konsep basic engineering design dan feasibility study. Dalam tahap ini dilakukan beberapa kegiatan meliputi kompilasi terhadap analisis dan verifikasi yang telah dilakukan pada kegiatan tahap 1 dan 2. Hasil akhir berupa desain rencana bendung beserta kelayakan dari segi teknis dan ekonomis.

1 Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik untuk mengetahui efek pembendungan (*backwater*) terhadap daerah di udik bangunan. Dalam studi ini, model numerik yang digunakan adalah model MIKE 11. Mike 11 adalah model numerik 1D yang dapat mensimulasikan profil aliran, muka air dan sedimen transpor di sungai, sistem irigasi ataupun di dalam saluran drainase. Untuk menganalisa stabilitas aliran di dalam saluran digunakan modul hidrodinamik untuk material dasar saluran yang relatif seragam. Model Hidrodinamik menyelesaikan persamaan kontinuitas aliran air dan persamaan momentum aliran air.

Persamaan untuk bagian hidrodinamik adalah sebagai berikut:

Persamaan Kontinuitas Air :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = q$$

keterangan:

Q , debit sungai	[m ³ /s];
b , lebar sungai	[m];
h , kedalaman air	[m];
δx , langkah jarak	[m];
δt , langkah waktu	[s];
Q , debit aliran per meter lebar	[m ³ /s/m'].

Persamaan Momentum :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\beta Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial h}{\partial x} - gAS_f = 0$$

Keterangan:

A , luas basah	[m ²];
β , koefisien Bousinesq	[-];
S_f , kemiringan energi	[-].
$S_f = \frac{Q[Q]}{K^2}$	
K , kapasitas pengaliran berdasarkan persamaan Manning	
R , hidraulik radius	[m];
P , keliling basah	[m];
n , koefisien Manning	[m ^{1/3} /s].

Modul Hidrodinamik MIKE 11 menggunakan skematisasi Abbott - Ionescu dengan 6 titik untuk memecahkan persamaan diferensial berdasarkan metoda beda-hingga secara implisit. Di dalam persamaan tersebut terdapat parameter-parameter yang dapat dikalibrasi, agar model menunjukkan hasil simulasi sesuai dengan kondisi lapangan. Untuk setiap langkah waktu dari aliran tidak langgeng, modul hidrodinamik MIKE 11 menghitung kedalaman aliran, debit dan kecepatan aliran pada setiap penampang di sepanjang sungai. Pada setiap langkah waktu di antara penampang tersebut diterapkan persamaan kontinuitas massa sedimen untuk menentukan perubahan elevasi dasar pada tiap penampang melintang. Pada langkah waktu berikutnya, elevasi dasar sungai yang baru ini digunakan oleh modul hidrodinamik untuk menghitung keadaan aliran.

2 Hidrologi

Analisa hidrologi untuk desain bendung adalah perhitungan besarnya ketersediaan air termasuk perhitungan debit andalan dan perhitungan debit banjir rencana untuk bendung.

Dalam analisa ketersediaan air permukaan akan digunakan sebagai acuan adalah debit andalan (*dependable flow*). Debit andalan adalah suatu besaran debit pada suatu titik kontrol (titik tinjau) di suatu sungai dimana debit tersebut merupakan gabungan antara limpasan langsung dan aliran dasar. Debit ini mencerminkan suatu angka yang dapat diharapkan terjadi pada titik kontrol yang dikaitkan dengan waktu dan nilai keandalan dengan suatu resiko kegagalan tertentu.

Perhitungan debit andalan dengan analisis lengkung kekerapan digunakan untuk perencanaan berbagai pemanfaatan air dimana probabilitas yang digunakan disesuaikan dengan persyaratan

dalam perencanaan tersebut, misal untuk debit andalan setiap bulan dengan probabilitas 80% mengandung pengertian dalam kurun waktu rata-rata sekali dalam 5 tahun debit andalan tidak tercapai.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan debit andalan dengan metode kekerapan adalah sebagai berikut:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{n + 1}$$

Keterangan:

$P(X < x)$, probabilitas terjadinya variable X (debit aliran) > dari $x \text{ m}^3/\text{s}$;

m, nomor urut dari besar ke kecil;

n, jumlah data;

X, peubah debit;

x, nilai debit tertentu (*variant*).

Analisis hidrologi mengenai perhitungan banjir rencana ini menggunakan paket program HEC-HMS (*Hydrological Modeling System*) yang merupakan program komputer untuk menghitung pengalihan hujan dan proses routing pada suatu sistem DAS. Software ini dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Centre* (HEC) dari *US Army Corps Of Engineers*. Dalam software HEC-HMS terdapat fasilitas kalibrasi maupun simulasi model distribusi, model menerus dan kemampuan membaca data GIS. Di dalam HEC-HMS terdapat beberapa model yang terpisah dimana masing-masing model yang dipilih mempunyai input yang berbeda-beda. Model HEC-HMS digunakan untuk menghitung volume *runoff*, *direct runoff*, *baseflow* dan *channel flow*.

3 Geoteknik

Untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan teknik lapisan tanah sebagai pondasi dari rencana bendung Cipasauran perlu dilakukan serangkaian kegiatan pengujian geoteknik baik di lapangan maupun di laboratorium. Serangkaian penyelidikan geoteknik lapangan yang perlu dilaksanakan adalah:

a Pemetaan geologi di sekitar lokasi rencana bendung dan daerah genangan

b Pemboran inti (bor mesin)

Pemboran inti dimaksudkan untuk mengetahui jenis lapisan tanah yang lebih dalam dari ± 20 meter, sekaligus untuk pengambilan contoh tanah tak terganggu. Secara umum, dari hasil pemboran dapat diketahui antara lain:

- 1) tebal setiap jenis lapisan tanah
- 2) kedalaman muka air tanah
- 3) warna dari setiap jenis lapisan tanah
- 4) gradasi dari jenis tanah berbutir kasar

5) data lain yang ditemukan di lapangan dan dianggap penting.

c Penyondiran

Dari penyondiran dapat diketahui kekuatan dari lapisan tanah yang ada, berupa perlawanan konus dan nilai lekatan tanah. Alat sondir yang akan dipergunakan mempunyai kapasitas maksimum 150 kg/cm^2 dengan mata sondir tipe Begemann yang dapat mengukur perlawanan konus dan nilai lekatan tanah sampai kedalaman 20 meter.

d Analisa laboratorium mekanika tanah/batuan

Atas sejumlah contoh tanah/batuan yang berhasil diambil dari lapangan, perlu dilakukan serangkaian pengujian di laboratorium Mekanika Tanah/Batuan berupa:

1) Penentuan sifat-sifat fisik tanah/batuan, yaitu:

- a) berat isi tanah/batuan asli
- b) kadar air tanah/batuan asli
- c) berat jenis tanah/batuan asli
- d) konsistensi
- e) distribusi butiran

2) Penentuan sifat-sifat teknik tanah/batuan, yaitu:

- a) pengujian triaxial
- b) pengujian konsolidasi
- c) pengujian permeabilitas

Kegiatan pengujian di laboratorium ini menggunakan acuan ASTM yang sedikit mengalami perubahan dan disesuaikan dengan kondisi tanah di Indonesia (berdasarkan SNI - Standar Nasional Indonesia).

4 Stabilitas Bendung

Analisis stabilitas dilakukan agar struktur bendung yang memiliki daya dukung yang kuat dan aman terhadap gaya geser dan gaya guling.

Persyaratan Stabilitas

Bendung dan pelengkapannya harus di desain dengan baik agar dapat berfungsi sesuai rencana, bendung harus memenuhi persyaratan keamanan dari segi hidraulik, struktural, operasi, pemeliharaan, dan lingkungan. Dari segi keamanan struktur diantaranya adalah bendung dan pelengkapannya harus aman terhadap stabilitas guling, stabilitas geser, dan daya dukung. Dari segi keamanan hidraulik diantaranya adalah bendung dan pelengkapannya harus didesain aman terhadap erosi buluh melalui fondasi maupun tebing tumpuan bangunan, dan aman terhadap tekanan angkat pada fondasi bangunan.

Stabilitas Geser

Dalam analisis keamanan terhadap geser digunakan faktor keamanan untuk memberikan margin keamanan yang sesuai antara beban yang dapat menyebabkan ketidakstabilan dan kapasitas material disepanjang bidang gelincir yang berpotensi mengalami kegagalan untuk mencegah ketidakstabilan. Persamaan yang digunakan dalam menghitung faktor keamanan terhadap geser adalah sebagai berikut:

$$FK = (\Sigma V \times f) / \Sigma H$$

Keterangan:

F, koefisien friksi pada dasar (tan Ø);

ΣV, total gaya vertikal;

ΣH, total gaya horisontal.

Tahanan geser pada rumus diatas dapat dijumlahkan dengan kontribusi kohesi material pada bidang geser apabila ada, dan kontribusi tahanan lateral lainnya seperti tekanan hidrostatik pada hilir bendung dan tekanan pasif pada hilir bendung.

Kebutuhan faktor keamanan terhadap stabilitas geser dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Faktor Keamanan terhadap Stabilitas Geser (sumber Pd.T-03.2.-2005-A, Pedoman Penyelidikan Geoteknik)

Skenario Pembebanan	Faktor Keamanan
Muka air normal tanpa gempa	1.5
Muka air normal dengan gempa	1.3
Muka air banjir tanpa gempa	1.3

Stabilitas Guling

Dalam analisis keamanan terhadap guling digunakan faktor keamanan untuk memberikan margin keamanan yang sesuai antara beban yang dapat menyebabkan momen menggulingkan dan kapasitas beban yang bekerja untuk mencegah momen guling. Persamaan yang digunakan dalam menghitung faktor keamanan terhadap guling adalah sebagai berikut:

$$FK = \Sigma Mt / \Sigma Mg$$

Keterangan:

ΣMt, total momen tahan;

ΣMg, total momen guling.

Tahanan guling pada rumus diatas merupakan penjumlahan gaya vertikal dikalikan jarak titik beratnya terhadap titik guling. Besarnya jumlah gaya vertikal didominasi oleh berat tubuh bendung dengan hubungan berbanding lurus, dan berbanding terbalik dengan tekanan angkat pada fondasi bendung. Kebutuhan faktor keamanan

terhadap stabilitas guling dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Faktor keamanan terhadap stabilitas guling (sumber Pd.T-03.2.-2005-A, Pedoman Penyelidikan Geoteknik)

Skenario Pembebanan	Faktor Keamanan
Muka air normal tanpa gempa	1.5
Muka air normal dengan gempa	1.3
Muka air banjir tanpa gempa	1.3

Hal penting dalam analisis stabilitas guling selain faktor keamanan adalah titik eksentrisitas yang bekerja pada fondasi bendungan. Jarak eksentrisitas harus cukup pada semua kondisi pembebanan, dimana e dihitung sebagai berikut:

$$e = (\Sigma M / (\Sigma V) - L / 2)$$

$$e \leq L / 6 \text{ (Kondisi normal)}$$

Keterangan:

e, eksentrisitas (m),

L, panjang dasar (m).

Daya Dukung

Kuat tekan pada dasar ditentukan dari persamaan berikut dan harus memenuhi kapasitas daya dukung dari fondasi.

$$q = (\Sigma V / L) \times (1 \pm 6e / L)$$

$$FK = qu / q$$

q adalah tekanan lentur terjadi di dasar fondasi yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja (t/m²), dan qu adalah kapasitas daya dukung izin tanah fondasi. Daya dukung (FK) yang diijinkan antara 3 -5.

Faktor Keamanan Terhadap Rembesan

Bendung harus aman terhadap masalah akibat rembesan, untuk itu dalam tahap desain perlu dilakukan analisis rembesan air. Hasil analisis tersebut harus dapat menghasilkan desain yang memenuhi kriteria keamanan terhadap rembesan. Ragam keruntuhan akibat gaya rembesan air pada kasus ini dibagi dalam 3 jenis yaitu:

- 1 Gradien keluaran melampaui batas,
- 2 Tekanan pori melampaui batas,
- 3 Debit rembesan melampaui batas,
- 4 Gradien Keluaran Melampaui Batas.

Faktor keamanan biasanya dinyatakan sebagai nilai banding antara gradien kritis (Ic) dengan komponen vertikal dari gradien keluaran, yang diperoleh dari perhitungan atau pembacaan langsung pada instrumen pisometer di lapangan , dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$FK = \frac{I_c}{I_e} \geq 4$$

$$I_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

Keterangan:

FK, faktor keamanan;

I_c, gradien keluaran kritis;

I_e, gradien keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan instrumen pisometer;

γ', berat volume efektif (terendam) (gr/cm³);

γ_w, berat volume air (gr/cm³);

G_s, spesifik gravitasi;

e, angka pori.

Faktor keamanan terhadap pengaruh tekanan angkat yang tinggi, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$FK = \frac{\gamma_n t}{\gamma_w h} > 2$$

Keterangan:

γ_n, berat volume material fondasi (gr/cm³);

t, tebal overburden (cm);

h, tinggi tekanan pisometrik (cm).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Analisa Geologi dan Geoteknik

Untuk merencanakan desain pondasi pada rencana Bendung Cipasauran maka perlu dilakukan studi geologi dan geoteknik yang meliputi:

a studi geologi regional

b studi geoteknik (data sekunder dan data primer)

Studi Geologi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Regional, kondisi lapisan geologi pada lokasi rencana Bendung Cipasauran tersusun dari BATUAN GUNUNGAPI MUDA (Qhv) berupa Breksi gunungapi, lava, tufa, dan aliran lahar.

Batuan gunungapi muda ini merupakan hasil letusan dari Gn. Ascupan (Qhva), Gn. Parakasak (Qhvp), Gn. Pulosari (Qhvi), dan Gn. Tompo (Qhvt). Breksi gunungapi, berbutir pasir hingga bom, bentuk menyudut penuh hingga membundar tanggung, kemas terbuka, terpilah buruk, mudah lepas, berkomponen basal andesit, batu apung, obsidian dan kaca, dengan masa dasar tufa pasiran atau bahan piroklastik yang halus, berselingan dengan tufa dan aliran lava, komponen ukuran bom tersebar tak teratur dan tak merata.

Lava, berstruktur aliran atau lidah, bertekstur kasat mata, terdiri dari basal olivine, basal piroksen-olivine, basalto-andesit-berolivin dan andesit piroksen, sebagian terkekarnya mendatar atau tegak, retak-retak, vesikuler, permukaannya seperti kerak roti yang berwarna coklat kemerahan, sebagai sisipan dalam breksi gunungapi dan tebal antara beberapa puluh cm dan beberapa puluh meter.

Tufa, berbutir halus hingga sebesar kacang merah atau lapili, bersifat menengah hingga basa, sebagai perselingan dengan breksi gunungapi, tebal beberapa puluh cm.

Lahar, berbutir pasir hingga bongkah, bentuk menyudut tanggung sampai membundar tanggung, berkomponen basal, andesit, batu apung, obsidian, tufa dan sisa tumbuhan yang berpencar-pencar, mudah lepas atau runtuh, tersingkap di lereng gunung atau lembah sungai.

Batuan gunungapi muda ini diendapkan pada lingkungan darat, umurnya adalah holosen, dan mendidih tak selaras batuan yang lebih tua.

Studi Geoteknik

Untuk mengetahui sifat fisik dan teknik dari tanah pondasi, dilakukan serangkaian kegiatan penyelidikan geoteknik lapangan berupa: Bor inti, sebanyak 2 (dua) titik dengan kedalaman 20 meter, pengujian SPT setiap 3 meter, pengujian permeabilitas setiap 3 meter, pengambilan contoh UDS (undisturbed samples) dan Sondir, sebanyak 1 (satu) titik kapasitas 150 kg/cm².

Dari hasil pengeboran diketahui bahwa susunan tanah/batuan di lokasi ini tersusun dari atas ke bawah adalah sebagai berikut:

a Pasir lempungan

- 1) kedalaman endapan mencapai -1.5 m baik pada tumpuan kiri maupun pada tumpuan kanan.
- 2) warna coklat dan kelabu kehitaman.
- 3) berupa pelapukan dari batuan dibawahnya.
- 4) nilai Sandard Penetration Test (NSPT) 4 pukulan/30 cm.
- 5) nilai qc = 6-8 kg/cm² dan friction ratio 1 %.
- 6) nilai permeabilitas lapangan rata-rata 4x10⁻⁴ cm/det.

b Lava (gunung api)

- 1) kedalaman mulai - 1.5.
- 2) sangat keras, berupa *baserock*.
- 3) termasuk bagian paling atas dari formasi BATUAN GUNUNGAPI MUDA (Qhv).
- 4) nilai Sandard Penetration Test (NSPT) > 50 pukulan/30 cm.
- 5) nilai qc > 150 kg/cm².

6) nilai permeabilitas lapangan rata-rata 4×10^{-6} cm/det.

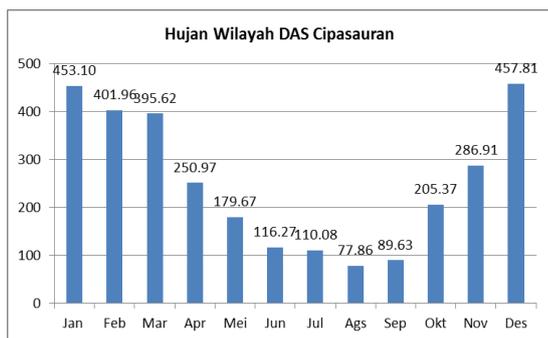
2 Analisis Hidrologi (Analisis Ketersediaan Air)

Perhitungan Hujan Wilayah

Perhitungan hujan rata-rata wilayah dilakukan untuk memberi nilai curah hujan secara time-series pada setiap kawasan yang berupa Daerah Aliran Sungai (DAS) berdasarkan data hujan dari pos-pos yang ada (*point rainfall*).

Perhitungan hujan wilayah dilakukan menggunakan metode Rata-rata Aritmetik.

Adapun grafik hujan bulanan rata-rata di DAS Cipasauran dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Hasil analisis grafik hujan bulanan rata-rata di DAS Cipasauran

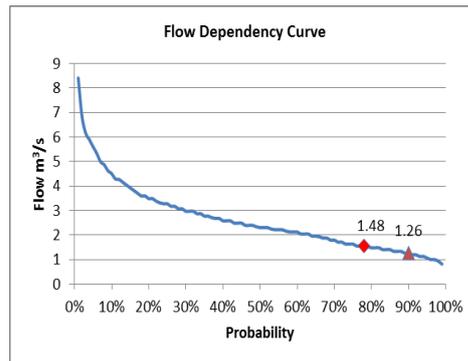
Debit Andalan

Berdasarkan data debit di PDA Kampung Dahu (luas DAS = 34.61 km²) yang tercatat pada tahun 2000-2010 (10 tahun), dihasilkan kurva durasi aliran seperti Gambar 2 dibawah ini. Untuk mendapatkan berapa besaran debit andal pada lokasi studi maka dapat digunakan ratio luas dimana luas DAS studi dengan luas DAS AWLR Kp. Dahu adalah 1.199 sehingga didapatkan debit andal 80 % sebesar 1,48 m³/det, 90 % sebesar 1,26 m³/det dan 95 % sebesar 1,06 m³/det. Berdasarkan hasil survey PT. KTI bersama-sama dengan IPB pada tahun 2012, pada DAS Cipasauran terdapat dua titik pengambilan air untuk irigasi yang berada di sebelah hulu rencana bendung dengan perkiraan total debit air yang diambil (berdasarkan ukuran intake dan saluran) sebesar 500 - 600 l/det.

Analisis Frekuensi

Tujuan dari analisis frekuensi curah hujan ini adalah untuk memperoleh curah hujan dengan berbagai periode ulang. Pada analisis ini digunakan beberapa metoda untuk memperkirakan curah hujan dengan periode ulang tertentu, yaitu: Distribusi Normal, Distribusi Log Normal 2 Parameter, Distribusi Pearson, Distribusi Log

Pearson, Gumbel dan GEV (*Generalized Extreme Value*).



Gambar 2 Hasil analisis kurva durasi aliran dan debit andalan

Periode ulang yang akan dihitung pada masing-masing metode adalah 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Analisa frekuensi dilakukan menggunakan Program Distrib2.2 dari Paket Program Smada 6.12 for Windows. Dari grafik yang dihasilkan dari data pada beberapa stasiun, nampak distribusi yang lebih mendekati adalah distribusi GEV. Dalam studi ini setelah dilakukan pengujian dan penyaringan data terhadap outlier, homogenitas dan independent untuk mendapatkan data yang berkualitas dan layak digunakan untuk analisa selanjutnya telah dipilih Stasiun Hujan Padarincang.

Adapun hasil analisa frekuensi pada pos hujan padarincang dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 3 Hasil Analisa Frekuensi pada Pos Padarincang.

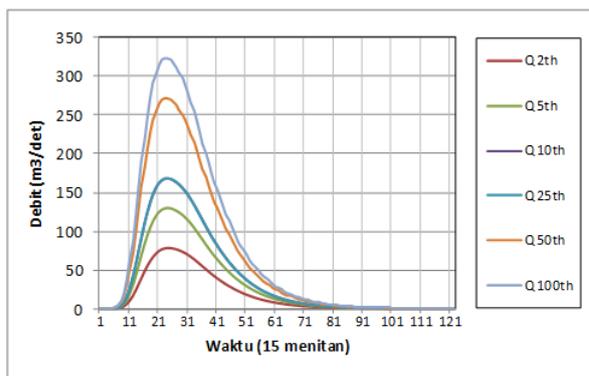
No	Distribusi	Periode Ulang (Tahun)					
		2	5	10	25	50	100
1	Normal	129.07	165.38	184.39	204.64	217.73	229.49
2	2 Log Normal	122.41	160.98	185.79	216.47	238.92	261.09
3	Pearson III	121.68	161.26	186.68	217.68	239.96	261.59
4	Log Pearson III	121.96	162.73	189.72	223.89	249.42	275.06
5	Gumbel	123.15	162.44	188.45	221.31	245.69	269.89
6	GEV	122.34	161.99	187.62	219.30	242.32	264.77

Banjir Rencana

Banjir rencana dihitung dengan metoda empiris karena data debit tidak tersedia. Metode empiris yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana dalam studi ini adalah menggunakan HEC-HMS. Berbagai input diperlukan dalam pemodelan ini, seperti karakteristik DAS, jenis tanah, tata guna lahan dan input lainnya. Analisa hidrologi terkait debit banjir rencana dihitung untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahunan.

Untuk mendapatkan hidrograf banjir aliran masuk dan hidrograf banjir aliran keluar suatu

rencana bendungan diperlukan hidrograf satuan. Kalibrasi tidak dapat dilakukan karena tidak terdapat data hidrograf banjir di Sungai Cidanau. Metode yang digunakan untuk mendapatkan hidrograf banjir adalah hubungan hujan–limpasan dengan unit hidrograf sintetis SCS dengan parameter yang diperoleh dari berbagai pendekatan. Semua komponen dalam model ini bertujuan mensimulasikan proses hujan menjadi limpasan yang terjadi dalam alam khususnya di sungai. Adapun hidrograf banjir untuk DAS Cipasauran untuk berbagai periode ulang dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Hasil analisis Hidrograf banjir berbagai periode ulang DAS Cipasauran menggunakan program HEC – HMS

3 Analisis Hidraulik Bendung

Dari analisis hidraulik bendung didesain dengan menggunakan Pedoman KP 02 didapat:

- a Elevasi dasar sungai di lokasi bendung = + 6,00
- b ketinggian mercu bendung = 6,50 m
- c Lebar total direncanakan (B) = 31,0 m
- d Tebal pilar = 1 m
- e Lebar bendung netto = 30,0 m
- f Lebar pintu pembilas = 3,0 m
- g Elevasi mercu bendung = + 12,50
- h tinggi muka air di udik bendung = + 15,37
- i Tinggi muka air di hilir bendung sebelum di bendung h = 3,23 m
- j Elevasi dasar sungai = + 6,15
- k Elevasi tinggi muka air hilir (tail water) = + 9,38
- l Tinggi terjun bendung (Z_{dp}) = $15,37 - 9,38 = 5,99 \approx 6,00$ m.

4 Pemodelan Numerik

- a Sebagai langkah awal dalam analisis model numerik adalah penentuan parameter sebagai masukan dalam pemodelan. Dalam analisis di Sungai Cipasauran ini ada 2 parameter masukan utama yang diperlukan, yaitu besar

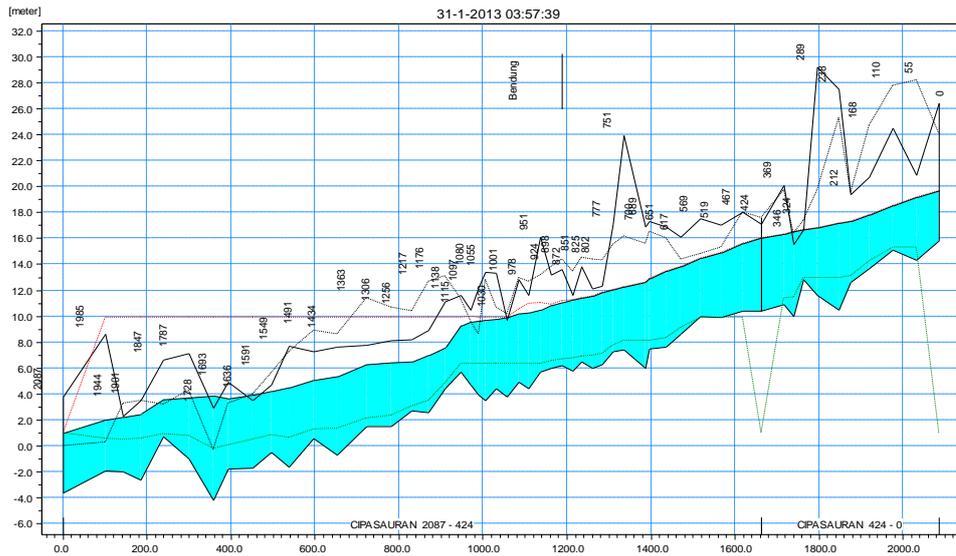
debit sebagai batas udik, dan tinggi muka air sebagai batas hilir. Parameter – parameter tersebut digunakan untuk batasan pemodelan numerik Cipasauran

- b Pemodelan untuk mengetahui kapasitas pengaliran Sungai Cipasauran dilakukan berdasarkan data pengukuran penampang melintang Sungai yang dilakukan pada tahun 2012. Pengukuran penampang melintang sungai dilakukan sepanjang ± 1 km kearah hulu rencana bendung dan $\pm 1,5$ km kearah hilir. Skenario pemodelan kapasitas sungai dilakukan dengan dua macam kondisi yang ada, yaitu:
 - 1) Kondisi sungai eksisting,
 - 2) Kondisi sungai setelah pembangunan bendung.
- c Pemilihan skenario ini dilakukan untuk dapat mengetahui kapasitas pengaliran sungai yang ada dan mengetahui keadaan yang ditimbulkan dari pembangunan bendung rencana. Debit pengaliran Cipasauran ditentukan berdasarkan data debit sungai dengan kapasitas penuh. Berdasarkan atas debit sungai dengan yang ada, debit alur penuh Sungai Cipasauran adalah sebesar $789 \text{ m}^3/\text{det}$.
- d Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan terlihat bahwa Sungai Cipasauran mempunyai kapasitas pengaliran yang cukup besar.
- e Analisis kapasitas pengaliran Sungai Cipasauran menunjukkan bahwa pada bagian hulu bendung Sungai Cipasauran masih mampu mengalirkan debit banjir sebesar $789 \text{ m}^3/\text{det}$. Permasalahan banjir tidak ditemui pada Sungai Cipasauran
- f Untuk mengetahui efek dari pembendungan akibat dari pembangunan bendung di ruas Sungai Cipasauran, pemodelan numerik dilakukan dengan memasukkan kondisi batas antara berupa bendung dengan elevasi 12,5 m dan lebar 30 m. Hasil pemodelan setelah ada bendung menunjukkan terjadi kenaikan muka air di hulu bendung sebesar 7 m akibat dari kenaikan elevasi bendung sebesar 6,5 dari dasar sungai. Efek pembendungan ini tidak mengakibatkan terjadinya banjir di hulu bendung.
- g Profil muka air Sungai Cipasauran dengan debit sebelum dan setelah ada pembendungan dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

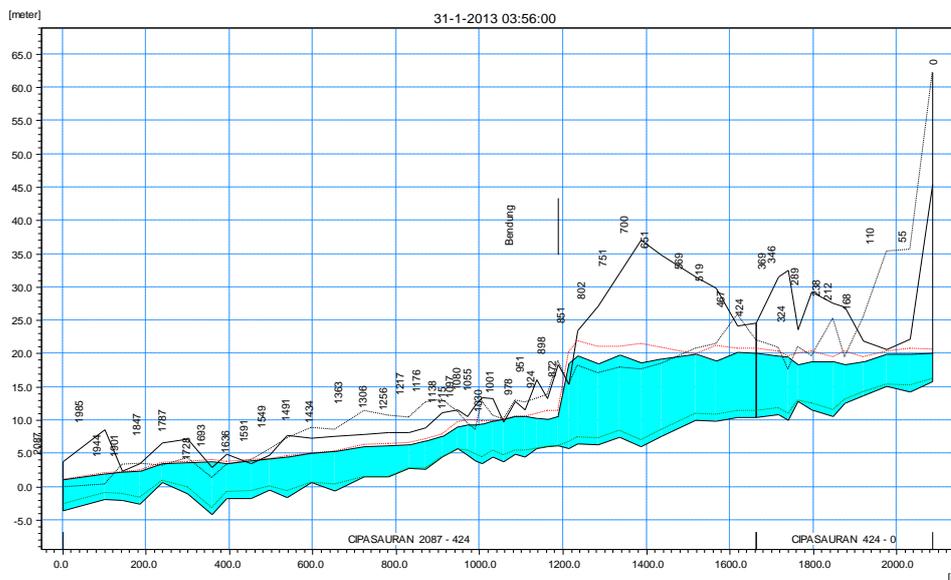
5 Analisis Stabilitas

Rembesan (*Seepage*)

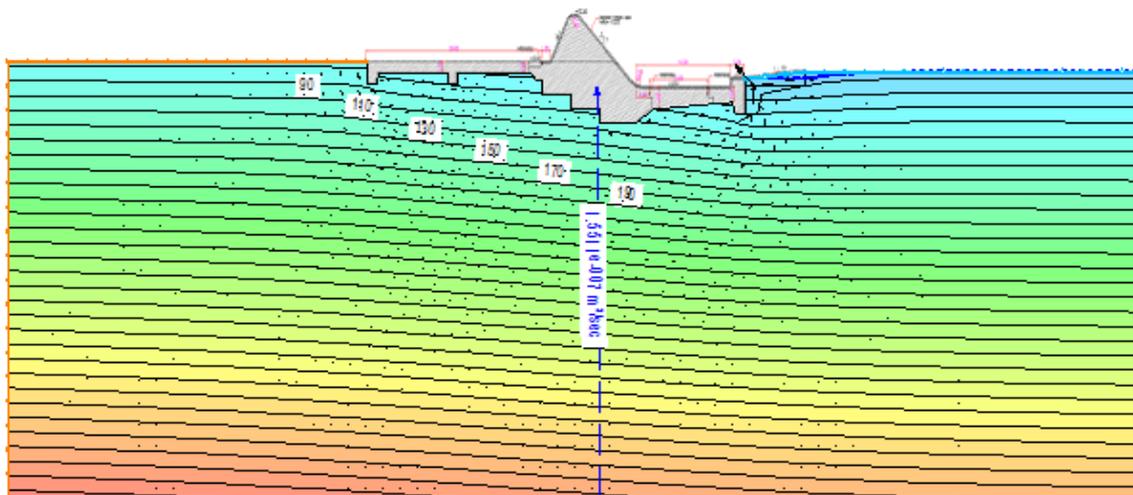
Setelah dilakukan pemodelan terhadap bendung dan tanah pondasi di lokasi Bendung Cipasauran, didapatkan kontur tekanan air pori pada titik pondasi yang akan ditinjau seperti terlihat pada Gambar 6 s.d Gambar 8.



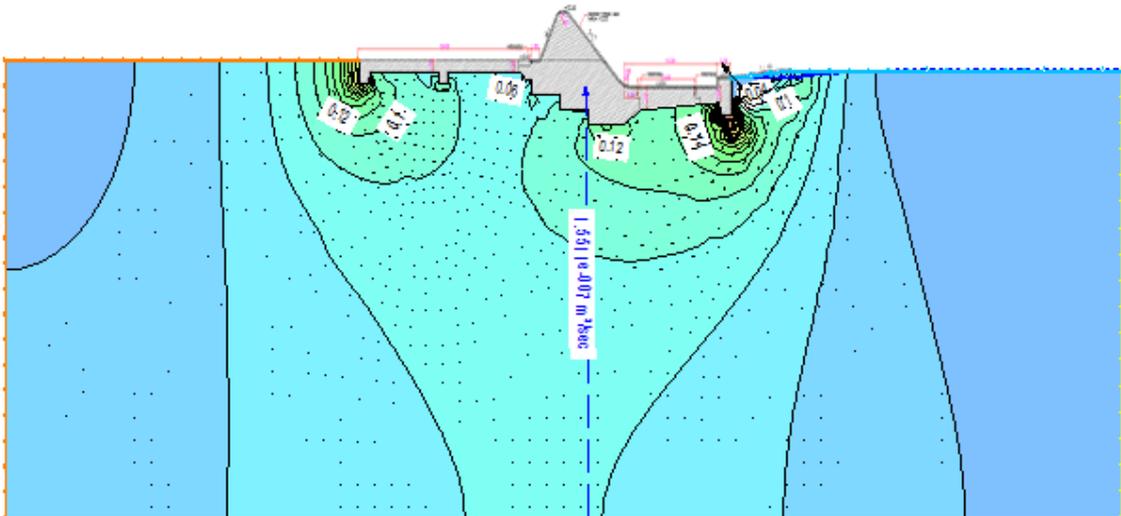
Gambar 4 Hasil Analisis Profil muka air Sungai Cipasauran dengan debit $789 \text{ m}^3/\text{s}$ (kondisi eksisting) menggunakan Software MIKE 11



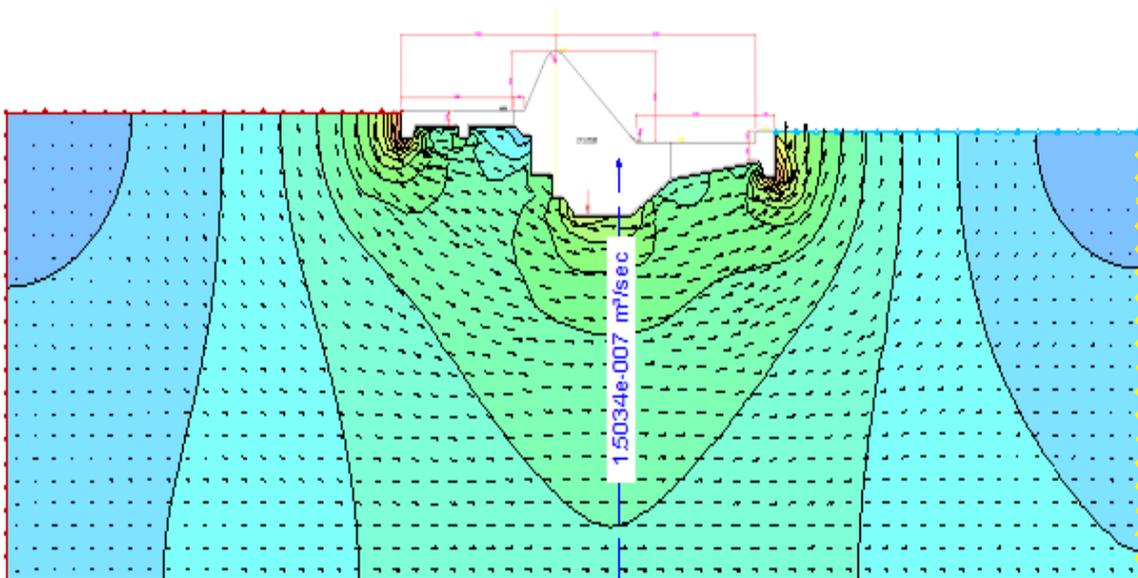
Gambar 5 Profil muka air Sungai Cipasauran dengan debit $789 \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 6 Hasil analisis Kontur tekanan air pori (kondisi setelah ada bendung) menggunakan Software Flaxis



Gambar 7 Hasil analisis Kontur gradien hidraulik menggunakan Software Flaxis



Gambar 8 Hasil analisis debit rembesan menggunakan Software Flaxis

Dari data tersebut, maka nilai tekanan air pori dapat digunakan sebagai gaya lateral air pada pondasi dan gaya uplift pada pondasi.

Stabilitas

Perhitungan uplift pada pondasi didapat dengan cara plotting nilai tekanan air pori pada titik pondasi yang ditinjau dan didapat suatu luasan seperti gambar diatas, sedangkan untuk nilai luasan diagram menggunakan bantuan AutoCad untuk menghitungnya. Adapun skematik perhitungan stabilitas untuk masing-masing bagian tubuh bendung dapat dilihat pada Gambar 9.

Resume hasil perhitungan stabilitas desain Bendung Cipasauran untuk ketiga kondisi pembebanan yaitu kondisi normal+uplift, kondisi

normal+uplift+gempa dan kondisi banjir+uplift, dapat dilihat pada Tabel 4.

6 Analisis Ekonomi

Asumsi yang mendasari analisis financial proyek

Asumsi-asumsi yang dipakai dalam melakukan analisis financial adalah sebagai berikut:

- a Debit minimum Sungai Cipasauran saat musim kering 720 l/det
- b Penambahan debit air baku dari optimasi Sungai Cipasauran dijual ke Industri dan domestik.
- c Masa pelaksanaan proyek selama 2 tahun
- d HPP tahun 2011 Rp. 3.462,-/m³
- e Kenaikan HPP 12 %/ tahun

129.80 m³/s, 10 Thn sebesar 168.80 m³/s, 25 Thn sebesar 226.40 m³/s, 50 Thn sebesar 272.80 m³/s dan 100 Thn sebesar 324.70 m³/s.

Desain bendung memiliki tinggi sebesar 6,5 meter dengan lebar 30 m dengan satu pintu pembilas selebar 3 meter. Elevasi dekzerk (tanggul banjir) udik adalah +17,00 dan di hilir adalah +13,00. Sedangkan dimensi pengendap sedimen memiliki panjang 38 m dan lebar 4,6 m.

Analisis dan pemodelan kapasitas pengaliran di Sungai Cipasauran menunjukkan bahwa untuk kondisi eksisting pada bagian udik bendung Sungai Cipasauran masih mampu mengalirkan debit banjir sebesar 789 m³/s. Permasalahan banjir tidak ditemui pada Sungai Cipasauran. Kemudian hasil pemodelan dalam kondisi ada bendung menunjukkan terjadi kenaikan muka air di hulu bendung sebesar 7 m akibat dari kenaikan elevasi bendung sebesar 6,5 dari dasar sungai. Namun efek pembendungan ini tidak mengakibatkan terjadinya banjir di hulu bendung.

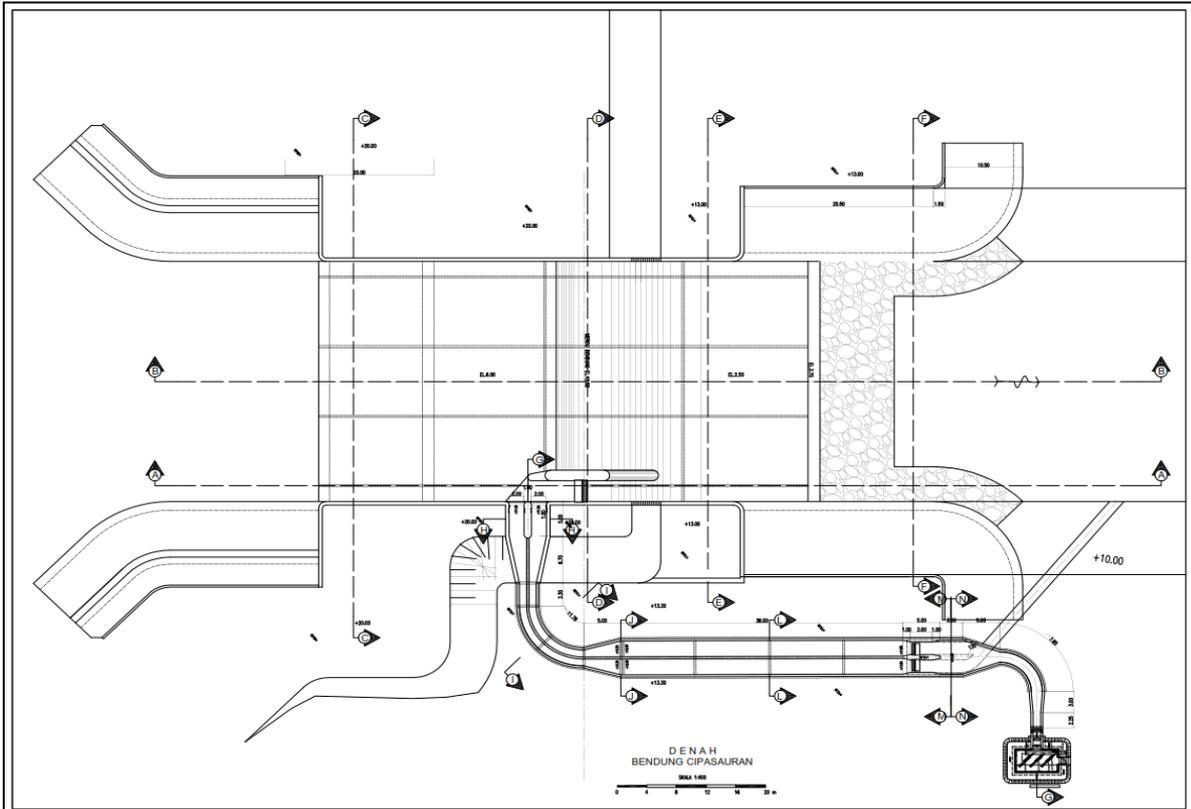
Analisis stabilitas menunjukkan bahwa bangunan aman terhadap 3 kondisi yaitu normal+uplift, banjir+uplift dan kondisi normal+uplift+gempa. Perhitungan stabilitas guling, eksentrisitas, geser dan daya dukung memiliki nilai yang berada di atas angka aman yang dipersyarat.

Hasil analisis kelayakan investasi pada Pembangunan Bendung Cipasauran ini layak dilaksanakan dan di dapat hasil yang menguntungkan.

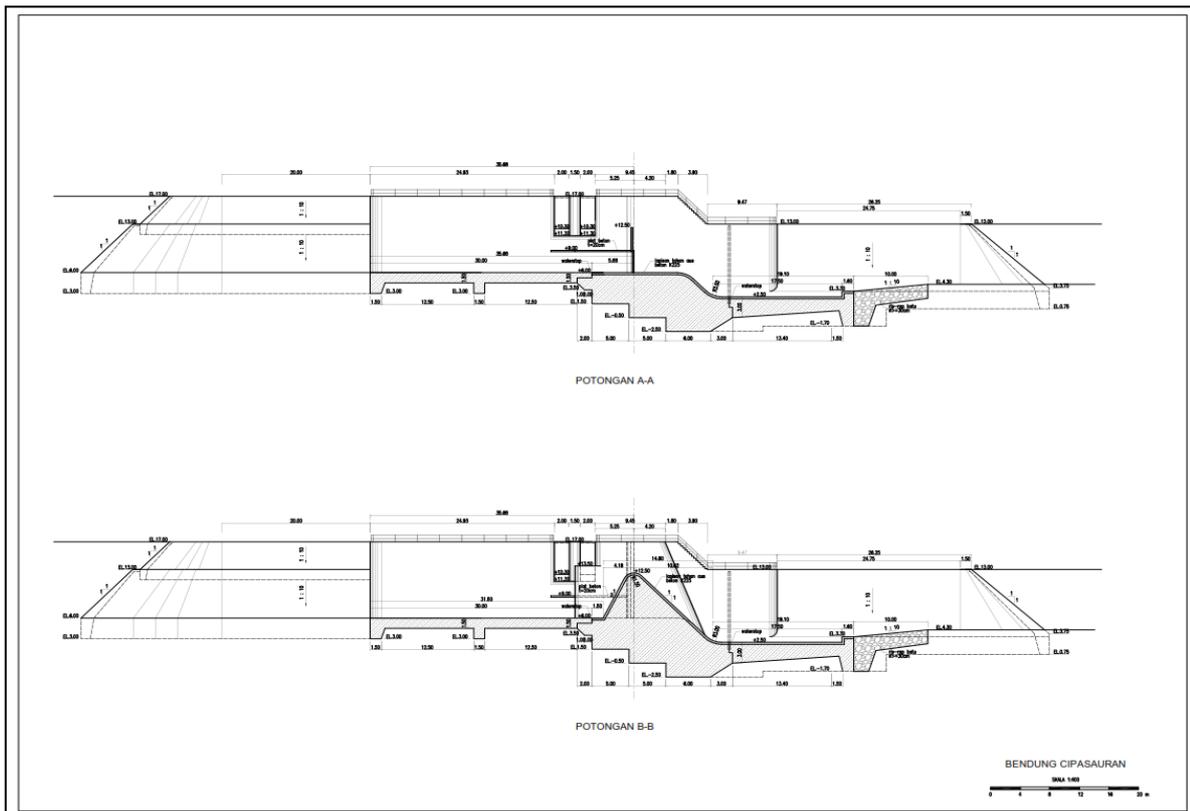
DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Pekerjaan Umum, 1986, "*Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*",
- Erman Mawardi & Moch. Memed. November 2002, "*Desain Hidraulik Bendung Tetap untuk Irigasi teknis*".
- DHI Water & Environment, June 2002, "*MIKE 11 A Modelling System for Rivers and Channels User Guide*".
- Yiniarti, 1997, *Teknik Sungai*, Diklat Kuliah, Institut Teknologi Nasional – Bandung.
- Standard Nasional Indonesia (SNI), SNI 03 – 3432 – 1994, "*Banjir Desain*".
- Standard Nasional Indonesia (SNI), SNI 03 – 2401 – 1991, "*Perencanaan Umum Bendung*".
- Ven Te Chow, Ph.D., 1982, "*Open Channel Hydraulics*" International Student Edition, 18th Printing, McGraw-Hill International Book Company.

LAMPIRAN



Tata Letak Bendung Cipasauran



Tata letak denah Bendung Cipasauran