

DETAIL ENGINEERING DESIGN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM)
CIBALAPULANG 2 (2 x 3,25 MW) & CIBALAPULANG 3 (2 x 3 MW)

Tombak P¹, M. Hamzah Fadli¹

¹*PT Wiratman, Power Engineering Division*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan semakin langkanya bahan bakar fosil dan untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional serta membantu upaya nyata pemerintah untuk menurunkan konsumsi energi fosil, pemanfaatan energi baru terbarukan dan pelaksanaan konservasi energi merupakan 2 (dua) hal utama yang berperan dalam menentukan ketersediaan energi di masyarakat.

Sampai dengan akhir tahun 2008, total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional adalah sebesar 30.527 MW yang terdiri dari pembangkit milik PT. PLN (Persero) sebesar 25.451 MW (83%), IPP sebesar 4.159 MW (14%) dan PPU sebesar 916 MW (3%). Kapasitas terpasang pembangkit tersebut mengalami penambahan sebesar 5.480 MW sejak tahun 2004 atau meningkat sebesar 22% selama periode 5 tahun.

Undang-undang Ketenagalistrikan No. 30 Tahun 2009 membuka kesempatan bagi pihak swasta dan koperasi untuk ikut serta dalam mengusahakan sistem penyediaan ketenagalistrikan di samping PT. PLN (Persero). Undang-undang ini yang menjadi payung hukum bagi swasta atau koperasi untuk usaha ketenagalistrikan untuk umum. Potensi energi listrik masih cukup tersedia, dengan pemanfaatan teknologi yang sesuai potensi yang ada, dapat dikonversi menjadi energi listrik yang bermanfaat dan bernilai ekonomi.

Desa Waringin Sari dan sekitarnya yang berada di selatan Kabupaten Cianjur, Propinsi Jawa Barat mempunyai potensi energi yang dapat dimanfaatkan, berupa aliran air Sungai Cibalapulang. Melihat potensi tersebut maka perencanaan untuk membangun PLTM Cibalapulang 2 dan PLTM Cibalapulang 3 dengan tata letak berdekatan (*cascade*) untuk memanfaatkan potensi air sungai Cibalapulang dengan sistem *Run Off River* dapat menjadi tenaga listrik yang bermanfaat bagi masyarakat serta bernilai ekonomis.

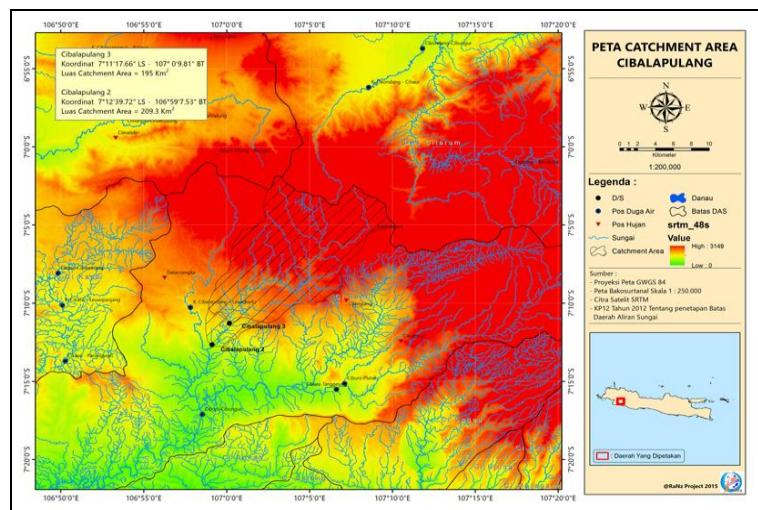
Daya listrik yang dihasilkan dari PLTM Cibalapulang 2 dan PLTM Cibalapulang 3 direncanakan akan disalurkan dan terkoneksi dengan Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv pada Sistem Penyalang terdekat milik PT. PLN (Persero) – Area Pelayanan dan Jaringan Cianjur.

Lokasi PLTM Cibalapulang 2 & 3, adalah sebagai berikut :

- ◆ PLTM Cibalapulang 2 berada di DAS Sungai Cibalapulang, Desa Wargasari, Kecamatan Kadupandak, Kabupaten Cianjur, Propinsi Jawa Barat
- ◆ PLTM Cibalapulang 3 berada di DAS Sungai Cibalapulang, Desa Sukagalih/Warnasari, Kecamatan Takokak, Kabupaten Cianjur, Propinsi Jawa Barat

2. ANALISA HIDROLOGI

Lokasi rencana PLTM Cibalapulang 3 terletak pada koordinat $7^{\circ}11'17.66''$ LS – $107^{\circ}0'9.81''$ BT dengan luas DAS sebesar 195 km^2 sedangkan untuk PLTM Cibalapulang 2 terletak pada koordinat $7^{\circ}12'39.72''$ LS – $106^{\circ}59'7.53''$ BT dengan luas DAS sebesar $209,3 \text{ km}^2$. Peta DAS Cibalapulang dapat dilihat pada gambar 1.



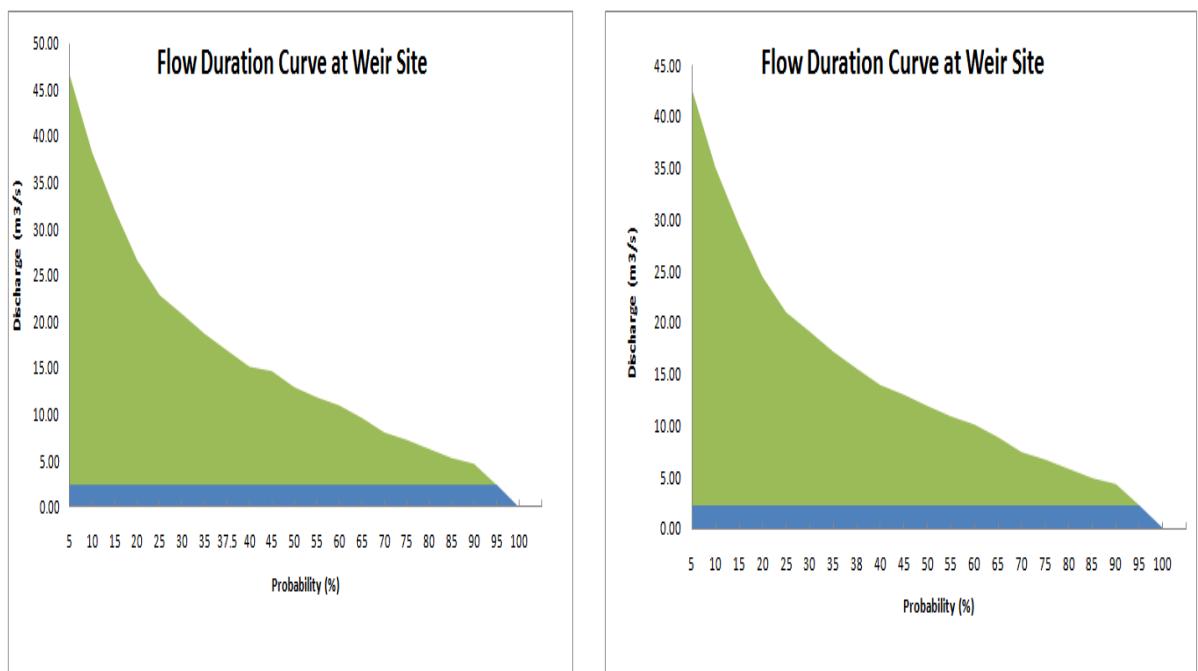
Analisis debit banjir ditentukan dari 2 pendekatan yaitu dari data debit sesaat maksimum yang diperoleh dari pengamatan debit banjir observasi di Sungai Cibuni – Cibungur dan dari pendekatan analisis hujan rencana yang dikonversi ke debit dengan menggunakan model sinthetik unit hydrograph dari Snyder.

Tabel 1 Analisis Debit Banjir PLTM Cibalapulang 2 dan PLTM Cibalapulang 3

Analisis Debit Banjir	Data Debit Sesaat		Hidrograph Banjir	
	LUAS DAS		LUAS DAS	
	Return Period	A = 195 km ²	A = 209.3 km ²	A = 195 km ²
(Tahun)	Bendung 3	Bendung 2	Bendung 3	Bendung 2
(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
200	413.57	443.20	380.45	386.19
100	353.68	379.03	346.60	351.82
50	296.39	317.63	313.85	318.58
25	241.75	259.07	281.74	285.98
10	173.63	186.08	239.86	243.47
5	125.10	134.06	207.58	210.70
2	63.68	68.24	160.40	162.44

3. KALKULASI ENERGI

Kurva Durasi yang digunakan dalam simulasi ini berupa tabel dan kurva durasi aliran data yang diambil dari analisis debit andalan. Debit pemeliharaan sungai yang dilepas secara kontinu sebesar debit dengan probabilitas 95% (- Q95% *dependable*).



Gambar 3 Kurva Durasi PLTM Cibalapulang 2 (Kiri) & PLTM Cibalapulang 3 (Kanan)

Tabel 2 Hasil Perhitungan Energi (2 x 3,25 MW) Calon PLTM Cibalapulang 2

No	Probabilitas Debit Sama atau Lebih Besar	Debit Rencana (m ³ /detik)	Tinggi Jatuh Bersih (m) *	Kapasitas Terpasang (kW)	Energi Produksi Tahunan (kWh/tahun)	Capacity Factor
1	35%	16.13	57.6	7,693.25	34,203,665	59.12 %
2*	37.5%	14.51	57.6	6,844.21	36,532,689	60.93 %
3	40%	12.75	57.6	5,803.13	33,401,588	67.74 %
4	45%	12.27	57.6	5,584.65	32,570,288	68.64 %
5	50%	10.54	57.6	4,797.25	29,637,156	72.71 %
6	55%	9.44	57.6	4,296.57	27,237,530	74.61%

Tabel 3 Hasil Perhitungan Energi (2 x 3,00 MW) Calon PLTM Cibalapulang 3

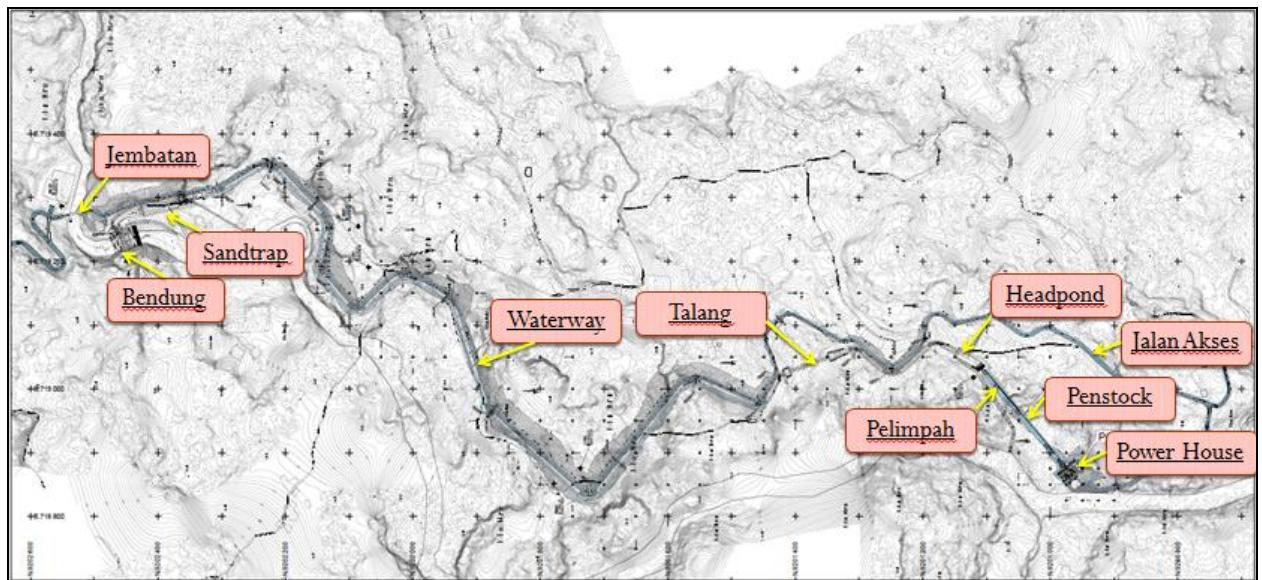
No	Probabilitas Debit Sama atau Lebih Besar	Debit Rencana (m ³ /detik)	Tinggi Jatuh Bersih (m) *	Kapasitas Terpasang (kW)	Energi Produksi Tahunan setelah dikurangi losses (kWh/tahun)	Capacity Factor
1	35%	14.96	55.58	6,809.00	34,203,665	59.12 %
2*	38 %	13.30	55.58	6,053.46	32,200,171	60.72 %
3	40%	11.70	55.58	5,325.22	30,560,579	67.74 %
4	45%	10.77	55.58	4,901.93	28,968,425	69.55 %
5	50%	9.67	55.58	4,401.27	27,189,686	72.70 %
6	55%	8.66	55.58	3,941.57	24,985,908	74.60%
7	60%	7.86	55.58	3,577.46	23,381,679	76.92 %
8	65%	6.63	55.58	3,018.63	20,449,085	79.75 %

Keterangan : * : Besar debit rencana yang digunakan sesuai dengan Studi Kelayakan Awal

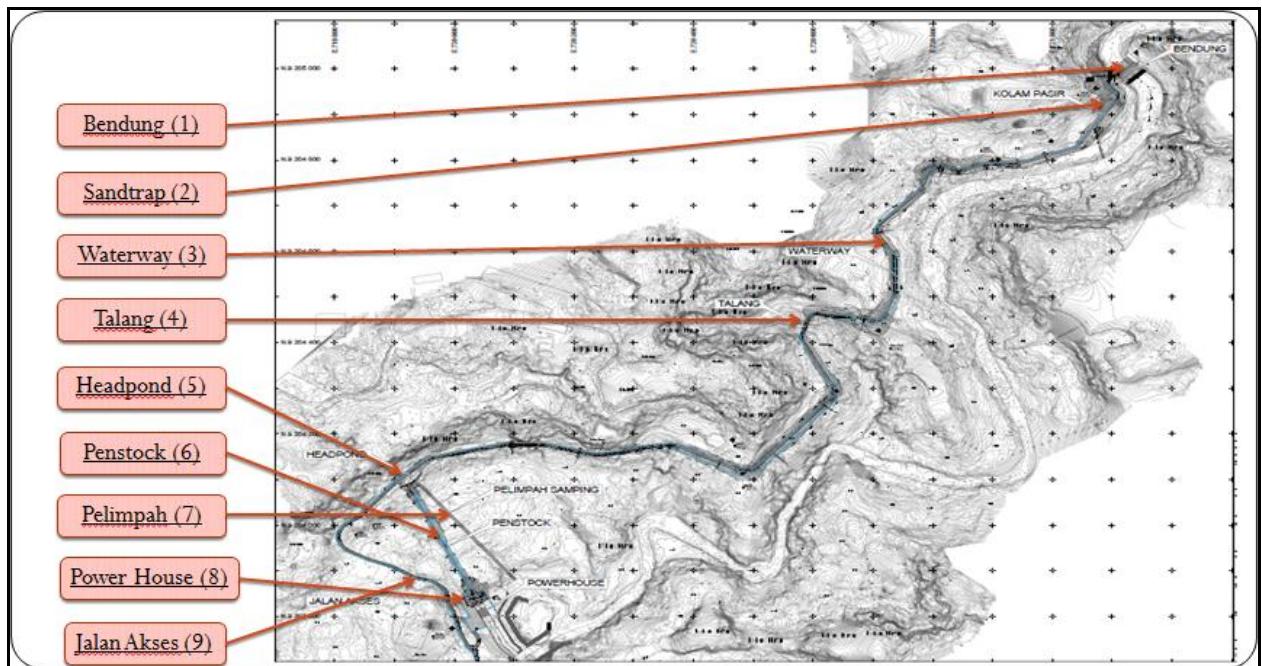
*) : Besaran tinggi jatuh bersih didapat dari spesifikasi peralatan mekanikal

4. TATA LETAK BANGUNAN SIPIL PLTM CIBALAPULANG 2 & 3

Tata letak bangunan sipil Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Cibalapulang 2 & 3 dari Bendung sampai *Power House* dapat dilihat pada peta topografi dibawah ini.



Gambar 4 Layout Bangunan PLTM Cibalapulang 2



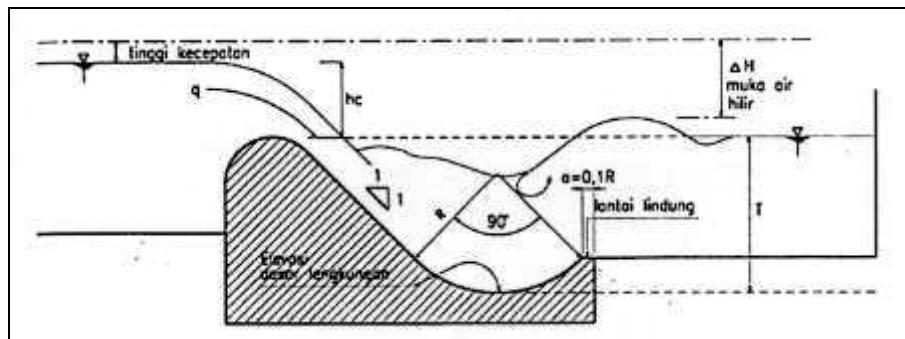
Gambar 5 Layout Bangunan PLTM Cibalapulang 3

5. BENDUNG (WEIR)

Tipe bendung yang akan digunakan adalah bendung pelimpah dengan lapis beton. Bagian bendung yang direncanakan adalah mercu bendung, bangunan pembilas, kolam olak, tanggul pelindung kepala bendung dan bangunan pengambilan (*intake*).

Mercu yang direncanakan adalah tipe mercu bulat karena memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada sungai bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif pada mercu.

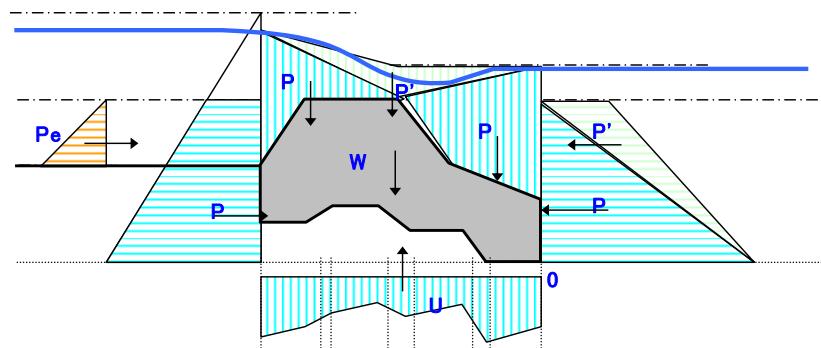
Untuk meredam energi setelah melalui bendung, maka diperlukan suatu kolam olakan. Peredam energi yang direncanakan adalah tipe bak tenggelam. Jika kedalaman konjugasi hilir dari loncatan air terlalu tinggi dibandingkan kedalaman air normal di hilir, maka dipakai peredam energi yang relatif pendek tetapi dalam. Tipe bak tenggelam baik untuk bendung dengan bilangan *Froude* yang rendah.



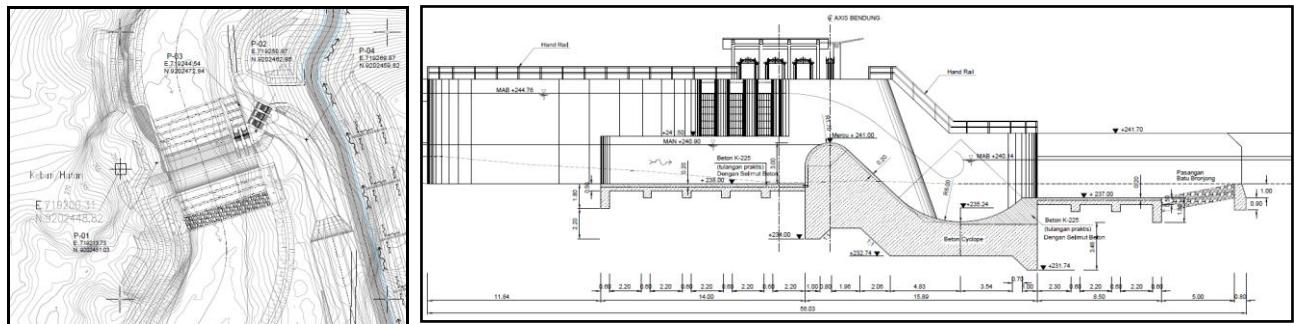
Gambar 6 Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam

Radius mercu bendung tipe bulat adalah diantara $0,3 - 0,7 H_{1\max}$ untuk material pasangan batu (KP-02) dan $0,1 - 0,7 H_{1\max}$ untuk bendung dengan material beton.

Analisis stabilitas bendung juga perlu dilakukan terhadap tekanan Uplift (ketebalan lantai yang diperlukan), stabilitas terhadap guling, geser, dan tekanan untuk berbagai kondisi, seperti bendung tenggelam. Analisis stabilitas akan mengecek kembali dimensi-dimensi bendung yang telah direncanakan. Keamanan terhadap gaya gempa direncanakan dengan cara mengalikan percepatan dengan massa bangunan sebagai gaya horizontal dengan koefisien gempa menuju kearah yang tidak aman, yakni kearah hilir.

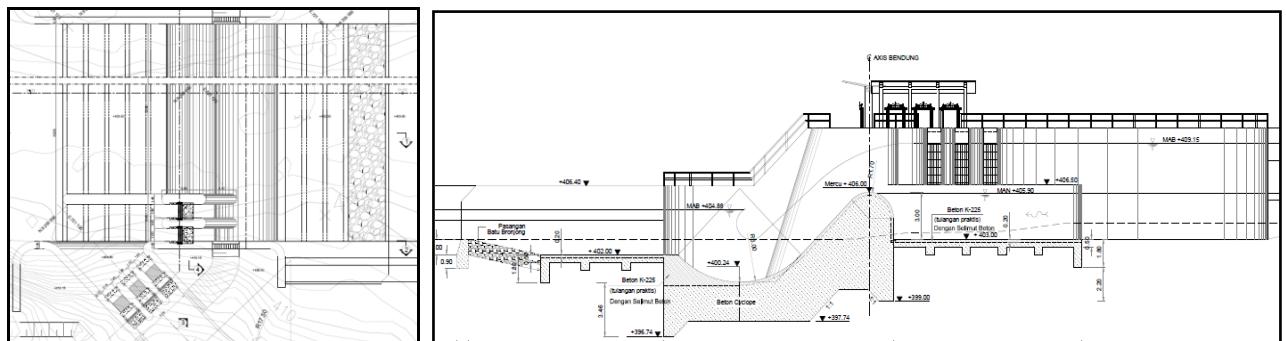


Gambar 7 Gaya Luar pada Bendung Kondisi Banjir (Bendung Tenggelam)



Gambar 8 Desain Bendung PLTM Cibalapulang 2, Konstruksi Beton Cyclope

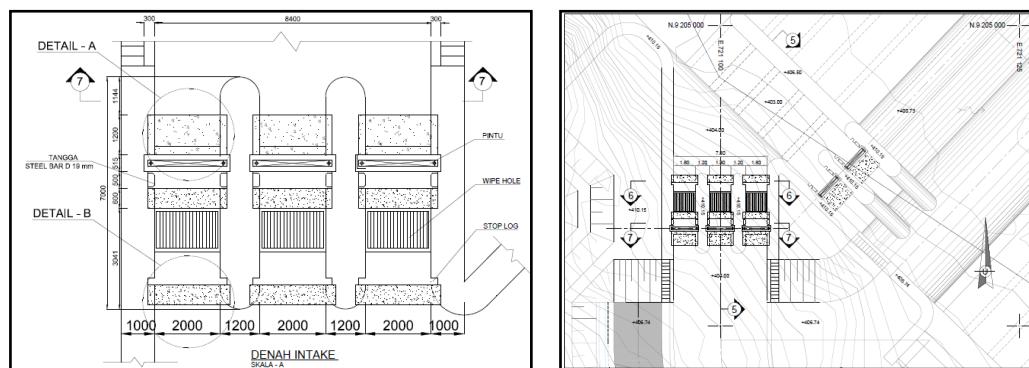
Elevasi Mercu berada pada + 241 m dengan tinggi mercu 3 m dan jari-jari 1.70 m, lebar mercu desain 26 m, dan lantai hulu berada pada elevasi +238 m. MAN berada pada elevasi + 240.90 m, kondisi banjir + 244.76 m, dan MAB di tubuh bendung + 240.14 m.



Gambar 9 Desain Bendung PLTM Cibalapulang 3, Konstruksi Beton Cyclope

Elevasi Mercu berada pada + 406 m dengan tinggi mercu 3 m dan jari-jari 1.70 m, lebar mercu bendung 40 m, dan lantai hulu berada pada elevasi +403 m. MAN berada pada elevasi + 405.90 m, kondisi banjir + 409.15 m, dan MAB di tubuh bendung + 404.89 m.

Intake terdiri dari pintu dan saluran pengambilan, untuk memperkecil endapan pasir dan kerikil yang masih terbawa pada sungai masuk ke bangunan sadap, maka ambang pintu harus lebih tinggi dari dasar sungai atau lantai pembilas bendung. PLTM Cibalapulang 2 & 3 memiliki 3 pintu pembilas dengan kapasitas desain 120% debit rencana pada saat muka air sungai setinggi mercu bendung. Kecepatan masuk rencana = 1.0-2.0 m/detik



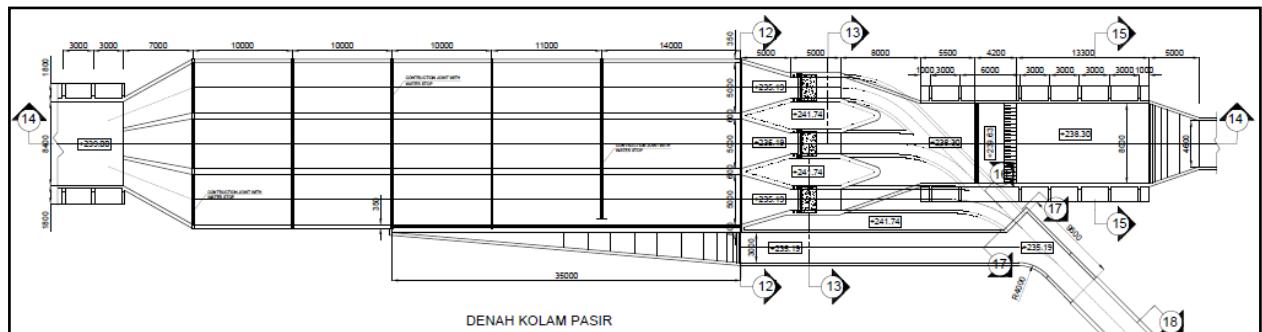
Gambar 10 Intake PLTM Cibalapulang 2 (Kiri) dan PLTM Cibalapulang 3 (Kanan)

6. KOLAM PASIR (SANDTRAP)

Kolam pengendap pasir berfungsi untuk menghindari masuknya bahan-bahan endapan ke dalam turbin. Perhitungan dimensi kolam pengendap pasir berdasarkan Metode

Camp dengan grafik hubungan WL/VY dan $\left[\frac{WY^{1/6}}{Vn \sqrt{g}} \right]$ untuk berbagai efisiensi pengendapan kolam. Dengan debit 120% debit rencana dan ukuran minimum butiran sedimen yang diendapkan 0.3 mm, diperoleh kecepatan endap 0.04 m/detik dan panjang kolam pasir minimum sebesar 54 m.

Volume tampung tergantung pada banyaknya sedimen yang masuk dan megendap selama masa periode pengurasan (asumsi 7 hari). Kolam pengendap harus dilengkapi dengan pintu dan saluran penguras (*flushing gate/flushing canal*). Pembersihan sedimen pada kantong lumpur dapat memakai pembilas atau secara manual dengan memakai peralatan excavator ukuran kecil.

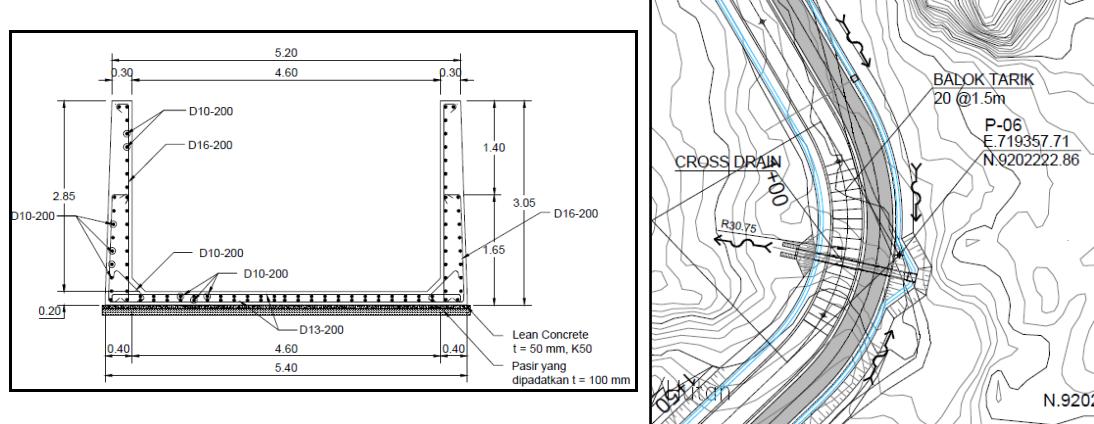


7. SALURAN PENGHANTAR (WATERWAY)

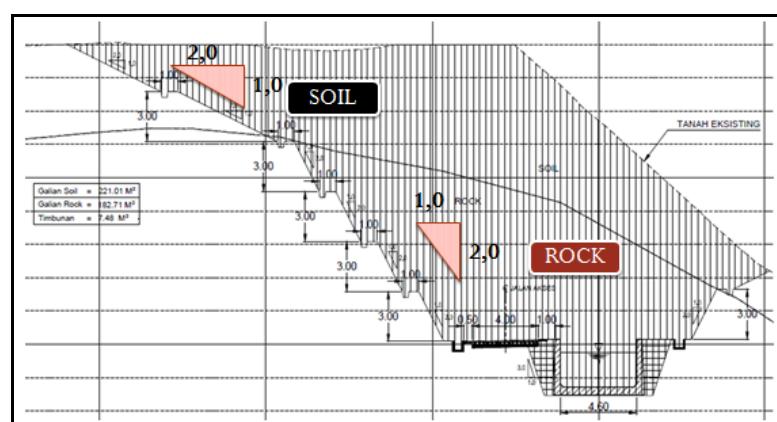
Saluran pengantar adalah jalan air menuju ke dalam pipa pesat untuk selanjutnya masuk ke turbin *Power House*. Pada kondisi topografi Cibalapulang yang relatif landai dan sebagian besar merupakan lahan persawahan, maka dipilih saluran bentuk penampang persegi terbuka.

Kecepatan aliran minimum yang direncanakan diambil antara nilai 0,6 m/detik – 1 m/detik untuk mencegah terakumulasinya sedimentasi. Kecepatan maksimum adalah 2 m/detik untuk *waterway* dengan konstruksi pasangan batu dan 3 m/detik dengan beton. Formula yang digunakan menggunakan persamaan *Manning* $Q = A \cdot V$, dengan Q = debit maksimum rencana, A = luas penampang basah, dan V = kecepatan rencana.

Panjang total saluran penghantar (waterway) PLTM Cibalapulang 2 adalah 1700 m dengan tinggi air desain 2,09 m sedangkan panjang total saluran penghantar (waterway) PLTM Cibalapulang 3 adalah 1748 m dengan tinggi air desain 1,95 m. Pembebatan dan perhitungan struktur waterway dilakukan terhadap kondisi kosong pada saat masa layan konstruksi dan saat kondisi penuh air, ditambah kondisi pada area jalur waterway yang melengkung menggunakan balok tarik. Kestabilan lereng pada area waterway berpengaruh pada rasio perbandingan galian waterway. Pada waterway Cibalapulang 2 & 3 perbandingan galian tanah/soil 1(V) : 2(H) sedangkan galian pada daerah batuan/rock adalah 2V : 1H.



Gambar 13 Saluran Penghantar (Waterway) Terbuka Beton Bertulang



Gambar 14 Tipe pada Galian Waterway

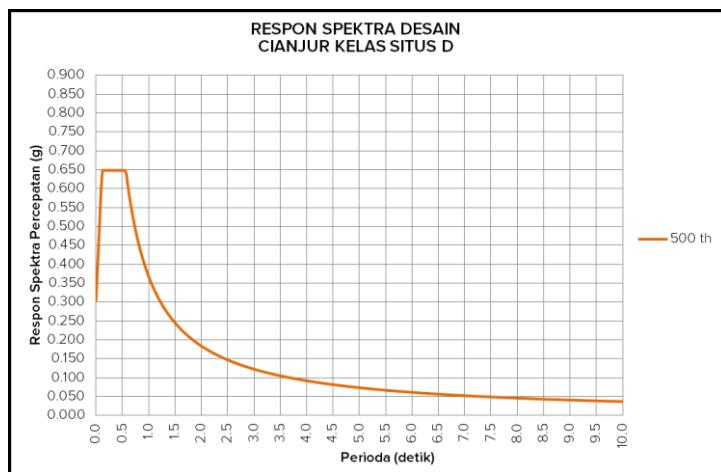
8. JEMBATAN (BRIDGE)

A. Jembatan Akses PLTM Cibalapulang 2

Jembatan akses Cibalapulang 2 terdiri dari 1 span menggunakan balok I girder baja komposit. Data struktur jembatan Cibalapulang 2 adalah sebagai berikut :

- Lebar jembatan : 6,3 m (1,15 m lebar trotoar kiri-kanan, 4 m lajur lalin)
- Panjang total : 36 m

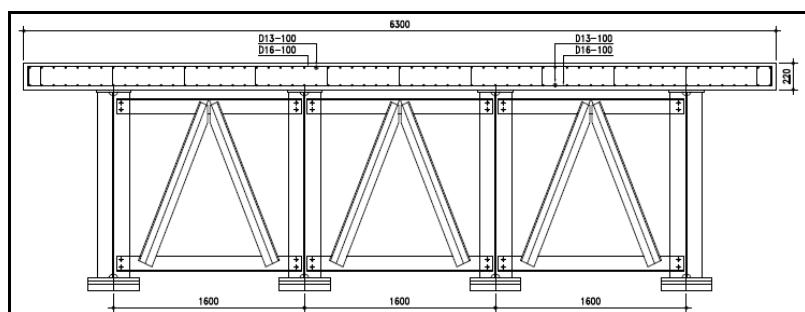
Kategori kepentingan jembatan yang digunakan adalah Jembatan Lainnya, berdasarkan periode ulang gempa yang direncanakan (10% dalam 50 tahun) mengacu pada standard RSNI 2833:201X. Parameter seismik untuk periode 500 tahun ini adalah $S_s = 0.45$, $S_1 = 0.175$ dan $PGA = 0.225$ pada klasifikasi tanah sedang diperoleh nilai $F_a = 1.44$, $F_v = 2.1$, dan $F_{PGA} = 1.35$.



Gambar 15 Respon Spektra Desain Cianjur Kelas Situs Tanah SD

Faktor reduksi gempa (R) untuk respon spektra rencana periode ulang 500 tahun $R = 3$ untuk pier struktur atas dan untuk desain pondasi juga digunakan response spektra modifikasi dengan $R = 1.5$ yaitu setengah dari R struktur atas untuk memastikan kegagalan pondasi tidak terjadi terlebih dahulu sebelum pier.

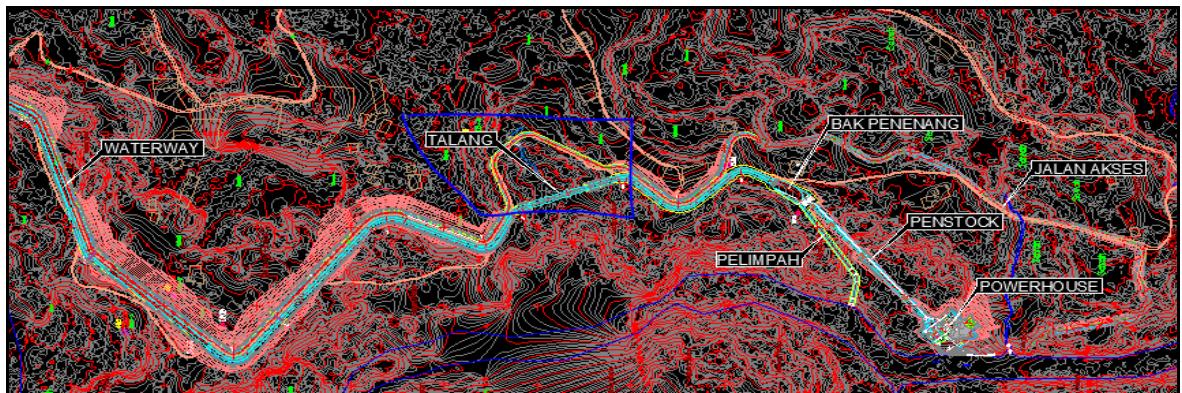
Pada perencanaan ini, beban truk dicoba menggunakan 2 jenis truk yaitu truk dengan beban 45 ton dan 15 ton. Dari hasil analisis struktur didapat 2 alternatif yaitu I Girder dengan tinggi girder total 1,6 m dan 1,5 m. Balok I girder ini merupakan segmental I girder dengan variasi panjang segmen 6 m. Diafragma pada I girder sebanyak 6 buah.



Gambar 16 Penampang Melintang Jembatan Akses Cibalapulang 2

B. Jembatan Talang Air

Lokasi jembatan talang air di PLTM Cibalapulang 2 adalah sebagai berikut :

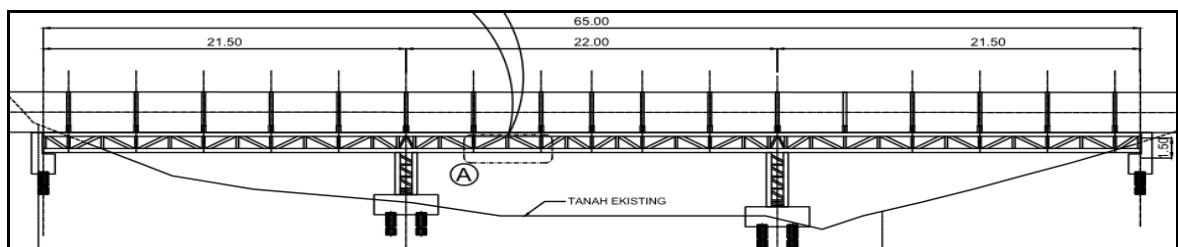


Gambar 17 Lokasi Jembatan Talang Air

Jembatan Talang Air ini berupa jembatan rangka baja dengan 5 bentang utama. Data-data struktur Jembatan Talang Air adalah sebagai berikut:

Lebar jembatan : 10 m (2@1.5 m pelat untuk inspeksi pekerja dan *handrail*, 2@3 m untuk pipa air, 1 m untuk jarak antar pipa air)

Panjang total : 65 m (bentang 1 = 21.5 m, bentang 2 = 22 m, bentang 3 = 21.5 m)



Gambar 18 Profil Memanjang Jembatan Talang Air

Standard yang digunakan antara lain *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*, *Perancangan Ketahanan Gempa untuk Jembatan 2833-201X* Kementerian Pekerjaan Umum, Republik Indonesia, 201X, dan *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 2002.

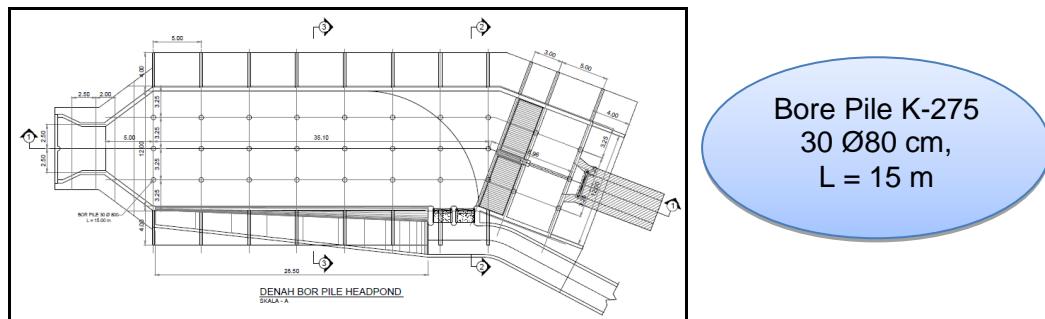
Untuk gempa dengan periode ulang 1000 tahun dan nilai $S_s = 0.744$, $S_1 = 0.346$, dan $PGA = 0.349$ pada klasifikasi tanah sedang diperoleh nilai $F_a = 1.2048$, $F_v = 1.708$, dan $F_{PGA} = 1.151$, $S_{DS} = 0.896$, $S_{D1} = 0.591$, dan $A_s = 0.402$. Faktor reduksi gempa (R) untuk respon spektra rencana periode ulang 500 tahun $R = 2$ untuk pier struktur atas dan untuk desain pondasi juga digunakan response spektra modifikasi dengan $R = 1$ yaitu setengah dari R struktur atas untuk memastikan kegagalan pondasi tidak terjadi terlebih dahulu.

Dead Load berupa 2 buah pipa air *outside diameter* 3 m dengan tebal 16 mm, *handrail*, dan pelat inspeksi setebal 3 mm. *Live Load* berupa beban air pada kondisi penuh dan beban angin dengan kecepatan angin desain untuk daya layan (*Service Limit State*) = 30 m/s, dan ultimit (*Ultimit Limit State*) = 35 m/s. Baja profil yang digunakan memiliki mutu 248 MPa dan pondasi jembatan menggunakan pile diameter 60 cm dengan $L = 9,50$ m.

9. BAK PENENANG (HEADPOND)

Debit desain Cibalapulang 2 sebesar $15,96 \text{ m}^3/\text{det}$, lama T ijin minimal 3 menit atau 180 detik, dan kapasitas bak $2872,98 \text{ m}^3$. Bak penenang (*headpond*) dengan hitungan tinggi air normal yaitu panjang sebesar 37 m, lebar 12 m, luas (A) sebesar 444 m^2 , h sebesar 0,0327 m, kecepatan air normal sebesar 0,16 m/det, kecepatan air rendah sebesar 0,16 m/det.

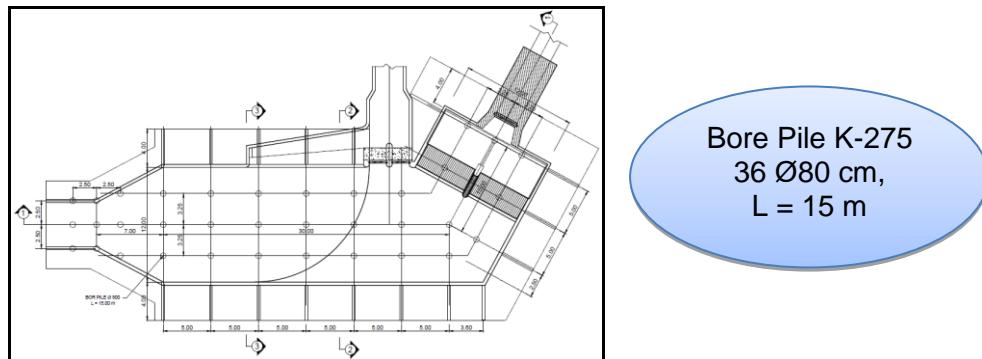
Headloss awal masuk yaitu 0 meter, elevasi muka air normal (MAN) sebesar 239,43 m, elevasi muka rendah (MAR) sebesar 239,40 m. Elevasi dinding atas sebesar 240,23 m, elevasi lantai bak penenang sebesar 231,30 m, elevasi dasar *penstock* sebesar yaitu 231,90 m, jarak lantai dengan muka air rendah diambil $3 \times D$ (pipa pesat) yaitu 8,10 m, panjang bak penenang sebesar 37 m, lebar bak penenang sebesar 12 m, tinggi bak penenang sebesar 8,93 m, kapasitas tumpang bak penenang sebesar $3377,81 \text{ m}^3$.



Gambar 19 Layout Desain Headpond PLTM Cibalapulang 2

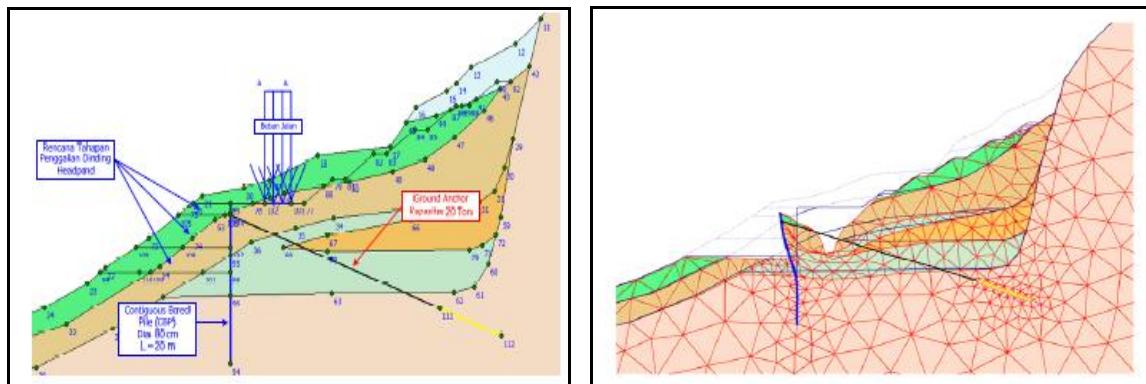
Debit desain Cibalapulang 3 sebesar $14,63 \text{ m}^3/\text{det}$, lama T ijin minimal 3 menit atau 180 detik, dan kapasitas bak $2633,40 \text{ m}^3$. Bak penenang (*headpond*) dengan hitungan tinggi air normal yaitu panjang sebesar 50,80 m, lebar 12 m, luas (A) sebesar $609,6 \text{ m}^2$, h sebesar 0,0218 m, kecepatan air normal sebesar 0,17 m/det, kecepatan air rendah sebesar 0,17 m/det.

Headloss awal masuk yaitu 0 meter, elevasi muka air normal (MAN) sebesar 404,57 m, elevasi muka rendah (MAR) sebesar 404,54 m. Elevasi dinding atas sebesar 405,37 m, elevasi lantai bak penenang sebesar 397,34 m, elevasi dasar *penstock* sebesar yaitu 397,94 m, jarak lantai dengan muka air rendah diambil $3 \times D$ (pipa pesat) yaitu 7,20 m, panjang bak penenang sebesar 50,80 m, lebar bak penenang sebesar 12 m, tinggi bak penenang sebesar 8,02 m, kapasitas tumpang bak penenang sebesar $4402,42 \text{ m}^3$.



Gambar 20 Layout Desain Headpond PLTM Cibalapulang 3

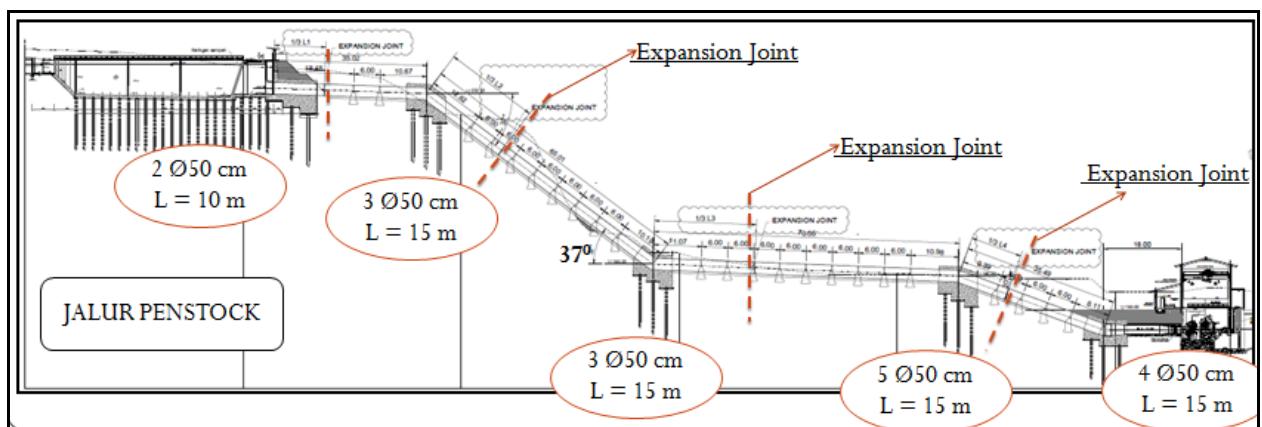
Tinggi galian di area dinding *headpond* PLTM Cibalapulang 3 sekitar 8,7 m, untuk melindungi konstruksi galian *headpond*, diperlukan konstruksi pengaman galian berupa *contiguous bored pile* (CBP) yang diperkuat dengan *ground anchor* permanen. Hasil analisis menunjukkan bahwa diperlukan CBP diameter 80 cm dengan panjang pembedaman 20 m dan 1 (satu) baris *ground anchor* permanen kapasitas 20 ton.



Gambar 21 Model Perkuatan Galian *Headpond* (Kiri) dan Tipikal Deformasi (Kanan)

10. PIPA PESAT (PENSTOCK) DAN ANGKUR BLOK

Pipa baja penstock PLTM Cibalapulang 2 & 3 direncanakan menggunakan \varnothing 2,7 m. Untuk mengurangi proses pemanjangan pipa terhadap suhu serta membagi gaya resultan antara blok angkur digunakan *expansion joint*. Daya dukung lateral pondasi 38,27 tonf.

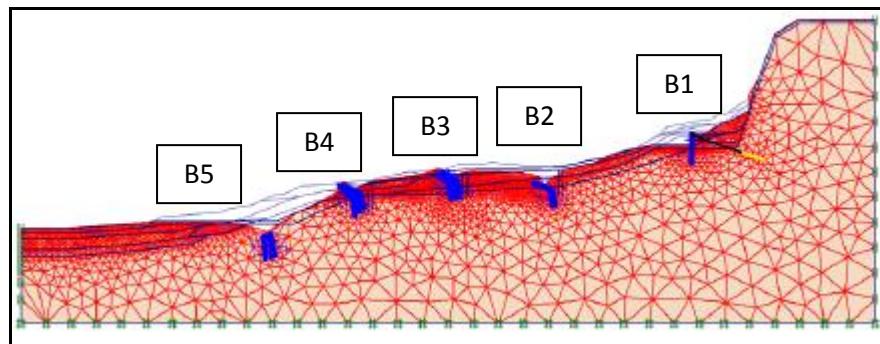


Gambar 22 Jalur Penstock PLTM Cibalapulang-2

Tabel 4 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Angkur Blok Penstock

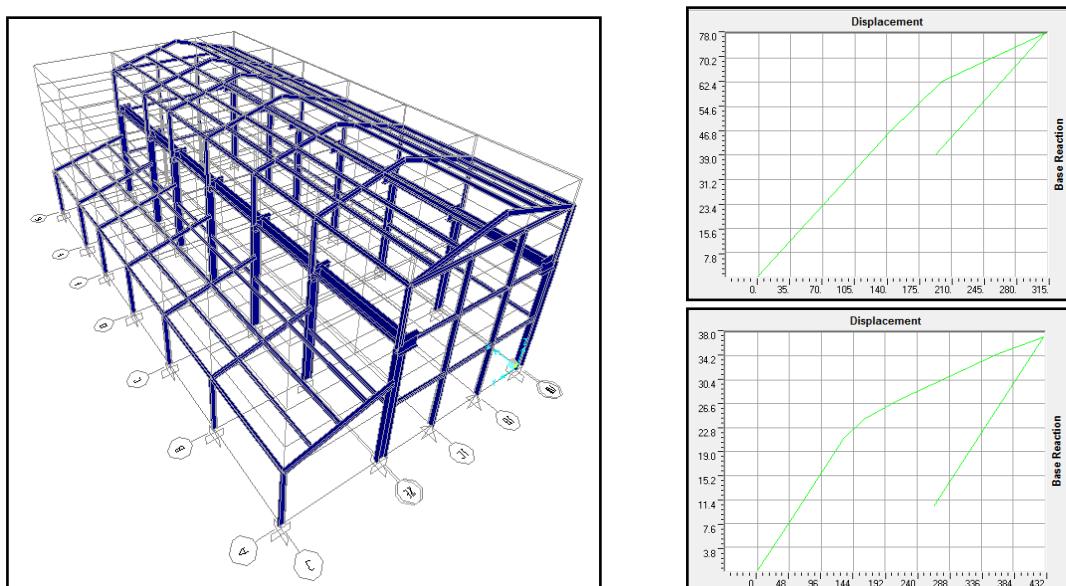
Blok Anker	Resultan Horizontal	Resultan Vertikal	Berat Angkur Blok	Resultan Gaya
	(Zx) - Kgf	(Zy) - Kgf	(G) - Kgf	(Z dan G) - Kgf
B1	56405.193	1969.713	768530.400	770600.027
B2	95825.211	-102.202	672657.600	679448.842
B3	107908.366	149230.620	672657.600	697411.098
B4	191192.524	-80418.545	685248.000	715951.496
B5	134236.266	302501.725	796800.000	862795.983

Pada PLTM Cibalapulang 3, kemiringan jalur penstock B1-B2, B2-B3, B3-B4, dan B4-B5 direncanakan sebesar 13^0 , 2^0 , 8^0 , dan 22^0 . Pengecekan defleksi difokuskan pada pondasi angkur blok B3 dan B4 dengan hasil *extreme total displacement* sebesar 2,17 cm.



Gambar 23 Skema Deformasi pada Jalur Penstock PLTM Cibalapulang 3

11. RUMAH PEMBANGKIT (POWER HOUSE)



Gambar 24 Model dan Analisis Power House PLTM Cibalapulang 2 & 3

Power House Cibalapulang 2 & 3 masing-masing memiliki ukuran luasan $32,7 \text{ m} \times 17,7 \text{ m}$ dengan kapasitas *crane* ± 40 ton yang memiliki tinggi bersih kolom ± 8 m. Baja Profil yang direncanakan menggunakan BJ-37 dengan dimensi kolom utama WF 588 X 300. Analisis pembebanan menggunakan standard SNI 1727-2013 untuk kategori beban impak dari *crane* yang berjalan dan SNI gempa 1726-2012 dengan ditambah analisis berbasis kapasitas seperti tampak kurva kapasitas gaya geser vs *displacement* diatas.

Pondasi mesin beton bertulang menanggung vibrasi 2 buah turbin PLTM Cibalapulang 2 & 3 dengan pengecekan menggunakan metode konvensional dan matriks terhadap tinjauan Amplitudo maksimum *rocking* ($2.29E-03$ mm), translasi ($2.13E-03$ mm) dan dimensi pondasi terhadap daya dukung tanah (dinamik) berdasarkan analisis geoteknik.

12. KESIMPULAN

- Pembangunan PLTM Cibalapulang 2 dan Cibalapulang 3 memanfaatkan potensi air sungai Cibalapulang dengan sistem *Run Off River* agar dapat menjadi tenaga listrik yang bermanfaat bagi masyarakat dan bernilai ekonomis. Daya listrik yang dihasilkan dari PLTM Cibalapulang 2 dan Cibalapulang 3 akan disalurkan dan terkoneksi dengan Jaringan Tegangan Menangah 20 KV pada sistem penyulang terdekat milik PT. PLN (Persero).
- Bangunan sipil PLTM Cibalapulang 2 dan Cibalapulang 3 terdiri dari : Bendung tipe mercu bulat, *intake*, *sandtrap*, saluran penghantar (*waterway*) dengan galian *waterway* yang terdiri dari kondisi *rock* dan *soil*, jembatan talang rangka baja dan jembatan akses baja beton komposit pada Cibalapulang 2 , *headpond*, angkur blok pada pipa *penstock*, bangunan *power house*, dan saluran pembuangan.
- Energi tahunan Cibalapulang 2 dengan $H_{netto} = 57,60$ m dan debit $14,51 \text{ m}^3/\text{detik}$ sebesar $36.532.689 \text{ kWh/tahun}$ ($CF = 60,93\%$). Energi tahunan Cibalapulang 3 dengan $H_{netto} = 55,58$ m dan debit $13,30 \text{ m}^3/\text{detik}$ sebesar $32.300.171 \text{ kWh/tahun}$ ($CF = 60,72\%$).

13. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO LRFD (2002). *Bridge Design Specifications*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AISC ASD (1989). Steel Construction Allowable Stress Design. American Institute of Steel Construction, United States.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) : SNI 1727:2013. Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- Badan Standarisasi Nasional (2012): SNI 1726:2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- Direktur Jenderal Pengairan (1986): Standar Perencanaan Irigasi : Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02.