

PERENCANAAN PLTA UNDIP II, SEMARANG
(Design of The UNDIP Hydropower Plant II, in Semarang)

Yudi Putra Wira Negara., Cahyarsi Murtiaji.

Joetata Hadihardaja^{*)}, Sri Sangkawati^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239,
Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

UNDIP sebagai sebuah lembaga pendidikan memiliki peran yang cukup penting sebagai bentuk kontribusi dan pengabdian terhadap masyarakat dalam hal konservasi sumber daya air maupun pengembangan. Dengan letak kampus UNDIP Tembalang yang terletak di daerah yang elevasinya cukup tinggi, ditambah dengan terdapat sungai yang mengalir di depan kampus UNDIP, didukung dengan kekayaan intelektual yang dimiliki civitas akademi UNDIP maka potensi ini lebih dari cukup untuk mengembangkan dan mendayagunakan segala potensi yang dimiliki untuk kepentingan konservasi sumber daya air dan pengembangan pembangkit listrik tenaga air.

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan. Selain kapasitas daya keluarannya yang paling besar diantara energi terbarukan lainnya, pembangkit listrik tenaga air ini juga telah ada sejak dahulu kala.

Debit desain PLTA UNDIP II Semarang dengan menggunakan mass curve inflow selama 11 tahun (tahun 2001 s/d 2011) adalah 0,152 m³/dtk, akan tetapi untuk mendapatkan daya paling besar digunakan debit 0,220 m³/dtk dari perhitungan analisis hidrologi.

Desain struktur PLTA yang direncanakan untuk menunjang operasional PLTA agar dapat berfungsi dengan baik adalah bangunan pengambilan (Intake), pipa pesat, pintu pengaturan, turbin, saluran pembuangan, dan draft tube. Hasil detail perencanaan adalah sebagai berikut, (1) intake menggunakan tipe menara dengan diameter 0,83 m pada elevasi +147,05 (2) Penstock dengan diameter 0,83 m dan panjang total 150 m dan tersambung dengan lubang intake pada elevasi +139,00. (3) Tinggi terjun bersih 42,25 m. (4) Daya yang dihasilkan sebesar 77 kW. (5) Pintu pengatur menggunakan profil Canal 500x250x10. (6) Turbin yang digunakan yaitu tipe Turbin Francis. (7) Saluran pembuangan pasangan batu kali penampang trapesium dengan ukuran $b = 0,7$ m, $h = 0,4$ m.

Tinjauan dan Perencanaan PLTA UNDIP II Semarang memerlukan biaya sebesar Rp 56.857.829.520.98 (lima puluh enam milyar delapan ratus lima puluh tujuh juta delapan ratus dua puluh sembilan ribu lima ratus dua puluh rupiah) dengan lama waktu pelaksanaan 25 minggu.

ABSTRACT

Diponegoro University as an educational institution has an important role as a contribution and dedication to the community in the conservation and development of water resources. With the location of the campus UNDIP Tembalang located in high elevation areas, plus there is a river flowing in front of the campus UNDIP, supported by intellectual property owned civitas academy UNDIP then the potential is more than enough to mengembangkan and utilize all its potential for the benefit of conservation of water resources and hydropower plant.

Hydroelectric power (hydropower) is one of the power plants that use renewable energy in the form of water. One advantage of this generator is a fast response so it is suitable for peak load conditions or when there is interference in the network. In addition to the output power capacity of the greatest among other renewable energy, hydro power has also been there since time immemorial.

Debit design of UNDIP II Hidropower Plant Semarang using the mass inflow curve for 11 years (2001 s/d 2011) the results was 0.152 m³/second, but to get the most power capacity used 0.220 m³/second discharge of hydrologic analysis calculations.

Design structures to support the planned hydropower hydropower operations in order to function properly is building decision (Intake), rapid pipe, door arrangements, turbine, sewer, and draft tube. The results of the planning details are as follows: (1) using a type intake tower with a diameter of 0.83 m at an elevation of +147.05 (2) Penstock with a diameter of 0.83 m and a total length of 150 m and is connected to the intake hole at an elevation of +139, 00. (3) High net falls 42.25 m. (4) The power generated by 77,51 kW. (5) door controller using 500x250x10 Canal profiles. (6) used the Turbine Turbine type Francis. (7) The sewer masonry trapezoidal cross section times the size of $b = 0.7$ m, $h = 0.4$ m.

Review and Planning UNDIP II Hydropower plant cost of Rp 56.857.829.520.98 (fifty-six billion, eight hundred and fifty-seven million eight hundred twenty nine thousand five hundred twenty dollars) with a long time of the 25 weeks.

PENDAHULUAN

Tenaga air telah berkontribusi banyak bagi pembangunan kesejahteraan manusia sejak beberapa puluh abad yang lalu. Beberapa catatan sejarah mengatakan bahwa penggunaan kincir air untuk pertanian, pompa dan fungsi lainnya telah ada sejak 300 SM di Yunani, meskipun peralatan-peralatan tersebut kemungkinan telah digunakan jauh sebelum masa itu. Pada masa-masa antara jaman tersebut hingga revolusi industri, aliran air dan angin merupakan sumber energi mekanik yang dapat digunakan selain energi yang dibangkitkan dari tenaga hewan. Perkembangan penggunaan energi dari air yang mengalir kemudian berkembang secara berkelanjutan sebagaimana dicontohkan pada desain tenaga air yang menakjubkan pada tahun 1600-an untuk istana Versailles di bagian luar Paris, Perancis. Sistem tersebut memiliki kapasitas yang sepadan dengan 56 kW energi listrik (Sumber : Firman Sasongko).

UNDIP sebagai sebuah lembaga pendidikan memiliki peran yang cukup penting sebagai bentuk kontribusi dan pengabdian terhadap masyarakat dalam hal

konservasi sumber daya air maupun pengembangan. Dengan letak kampus UNDIP Tembalang yang terletak di daerah yang elevasinya cukup tinggi, ditambah dengan terdapat sungai yang mengalir di depan kampus UNDIP, didukung dengan kekayaan intelektual yang dimiliki civitas akademi UNDIP maka potensi ini lebih dari cukup untuk mengembangkan dan mendayagunakan segala potensi yang dimiliki untuk kepentingan konservasi sumber daya air dan pengembangan pembangkit listrik tenaga air.

Berkaitan dengan hal di atas Universitas Diponegoro Semarang akan membangun waduk yang sekaligus akan difungsikan sebagai PLTA. Sebagai salah satu upaya untuk berkontribusi terhadap penyediaan listrik di sekitar wilayah UNDIP, sehingga UNDIP bisa memenuhi kebutuhan listriknya sendiri tanpa harus bergantung pada PLN, sekaligus sebagai laboratorium observasi mahasiswa, seperti teknik sipil, perikanan, dan lingkungan. Waduk tersebut tidak hanya bermanfaat bagi UNDIP sendiri tapi juga bermanfaat bagi masyarakat sekitar, baik itu dalam menyediakan air saat musim kemarau atau sebagai tempat wisata.

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merencana elevasi waduk yang berfungsi untuk menaikkan muka air dan menampung air dari Kali Krengseng untuk kepentingan pengoperasian PLTA UNDIP II Semarang.
2. Merencanakan berbagai macam fasilitas yang mendukung pengoperasian PLTA seperti pipa pesat, pintu pengatur, *surge tank*, turbin, *power house*, pipa hisap.
3. Merencanakan pengoperasian dan pemeliharaan PLTA sehingga dapat berfungsi dengan baik dan dapat menghasilkan listrik sesuai dengan yang direncanakan.

TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip PLTA adalah merubah energi yang disebabkan gaya jatuh air untuk menghasilkan listrik. Turbin mengkonversi tenaga gerak jatuh air ke dalam daya mekanik. Kemudian generator mengkonversi gaya mekanik tersebut dari turbin ke dalam tenaga elektrik.

Sesuai dengan kondisi alam, pengembangan PLTA dapat dibagi atas 3 (tiga) tipe yaitu tipe bendungan (*storage plant*), tipe aliran langsung (*run off river plant*) dan tipe semi aliran langsung (*semi run off plant*). Tipe bendungan dapat berupa waduk (*reservoir*) dan keluaran danau (*lake outlet*), tipe aliran langsung dapat berupa aliran langsung sungai (*run-off river*) dan aliran langsung dengan bendungan pendek (*run-off river with low head dam*) sedangkan tipe *semi run off river* hampir sama dengan tipe *run off river* tapi menggunakan kolam tando harian (KTH) yang bertujuan untuk menyimpan air pada waktu tertentu. (Deni Rokhyadi. 2009) PLTA UNDIP II Semarang termasuk dalam kategori *storage plant* karena *intake* dihubungkan langsung ke *reservoir*. Bagian - bagian penting yang harus ada dalam perencanaan *storage plant* adalah *weir* atau *dam*, *intake*, *pressure tunnel*, *penstock*, *surge tank* atau pendatar air, *power house*, serta *tail race*.

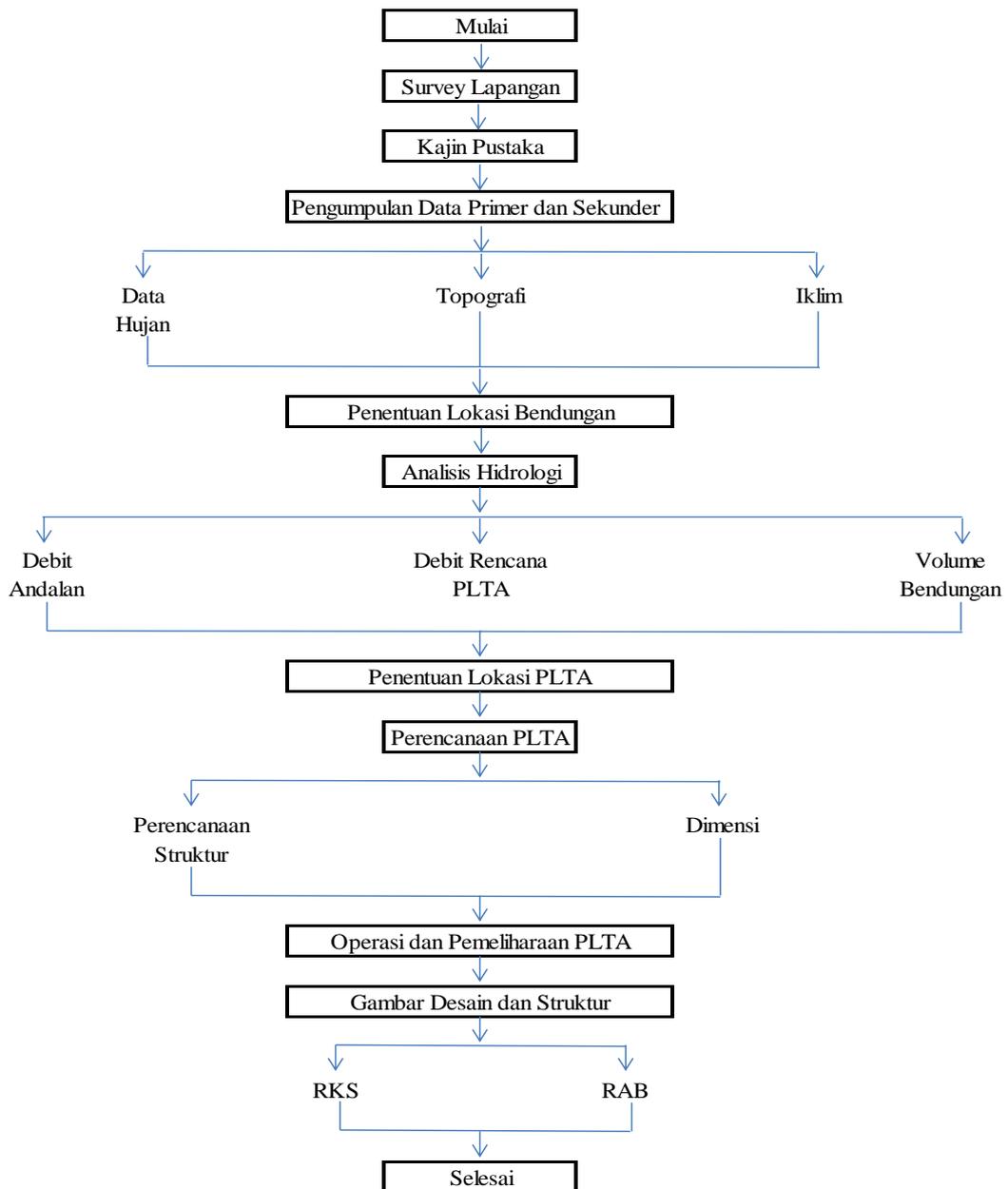
Analisis dan perhitungan dalam perencanaan PLTA ini antara lain:

- Analisis hidrologi, meliputi perhitungan dan penentuan Q andalan, dan Q rencana PLTA.
- Perhitungan tampungan waduk meliputi volume dan elevasi muka air waduk.

- Desain struktur, meliputi desain bangunan *intake*, *trash rack*, *surge tank*, pipa pesat, pintu pengatur, *tail race*, *draft tube*, beserta turbin dan bangunan pelengkap lainnya.

METODOLOGI

Secara umum metodologi ini di bagi dalam beberapa tahapan, mulai dari tahapan perencanaan.

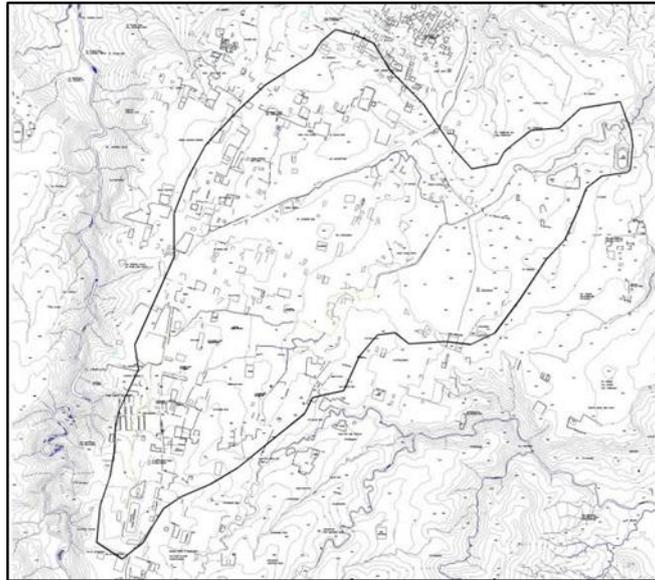


Gambar 1. Diagram alir perencanaan PLTA

ANALISIS HIDROLOGI

Penentuan Daerah Aliran Sungai

Dari peta topografi didapat luas daerah aliran sungai (DAS) Krengseng sebesar 9,027 km². Sedangkan peta daerah aliran sungai (DAS) dapat dilihat pada Gambar. Penentuan luasan DAS ini dengan menggunakan Metode Thiessen dibantu dengan program Autodesk Land Dekstop, Pembagian Poligon Thiessen dapat dilihat pada Gambar



Gambar 2. DAS Krengseng

Perhitungan Debit Andalan

a. *Basic Years Method*

Merupakan perhitungan data curah hujan tahunan 20% kering yang kemudian diurutkan dari data terbesar ke data terkecil, data curah hujan yang dimaksud terdapat pada urutan yang dihitung dengan persamaan berikut :

$$R_{20} = \frac{n}{5} + 1$$

Dimana

n = Jumlah tahun pengamatan (11 tahun)

Sehingga :

$$\begin{aligned} R_{20} &= \frac{11}{5} + 1 \\ &= 3,2 \approx 4 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapat nilai debit sebesar **0,105 m³/dt**

b. *Flow Characteristic Method*

Merupakan perhitungan data hujan bulanan dengan asumsi 80% kering (*Flow Characteristic Method*) berdasarkan data curah hujan yang ada, kemudian dihitung curah hujan rata-rata untuk ketiga stasiun hujan tersebut (Tabel 4.4). Curah hujan 80% (R₈₀) diambil dari hasil curah hujan rata-rata ketiga stasiun yang sudah diurutkan menurut data terbesar ke data terkecil perbulannya untuk

data 11 tahun (Tabel 4.5), curah hujan yang dimaksud terdapat pada urutan yang dihitung dengan persamaan berikut :

$$P = \frac{m}{n + 1}$$

$$\frac{80}{100} = \frac{m}{11 + 1}$$

$$\begin{aligned} m &= 0,8 \times 12 \\ &= 9,6 \approx 10 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapat nilai debit sebesar $0,092 \text{ m}^3/\text{dt}$

c. Debit rata-rata 11 tahun

Dari perhitungan debit rata-rata selama 11 tahun didapat nilai debit sebesar $0,106 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Perhitungan Volume Waduk

Total volume waduk adalah volume total penyimpanan air yang direncanakan ditampung di dalam storage. Di dalam perhitungan volume waduk sudah termasuk dengan *dead storage volume* yang didapat dari perhitungan angkutan sedimen. Perhitungan volume waduk dihitung dengan cara mencari selisih antara garis penjumlahan debit yang didapat dari kumulatif debit andalan selama 11 tahun dengan garis debit pemakaian yang didapat dari debit rencana PLTA, baik berdasarkan *Basic Years Method*, *flow Characteristic Method*, maupun dengan menggunakan debit rata-rata selama 11 tahun. Setelah diperoleh total volume waduk yang dibutuhkan maka dapat dilakukan interpolasi dengan tabel perhitungan hubungan elevasi terhadap luas genangan dan volume bendungan untuk mendapatkan nilai elevasi mercu pelimpah yang dibutuhkan.

Perhitungan Angkutan Sedimen

Berdasarkan luas DAS

Apabila luas DAS dari bendungan lebih kecil dari 100 km^2 , maka angka sedimentasi dapat dicari dengan menggunakan yang dibuat berdasarkan hasil-hasil pencatatan yang sesungguhnya dari bendungan-bendungan yang telah dibangun sebelumnya. Dari perhitungan didapat hasil $433.296 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Berdasarkan Metode USLE

Dari sekian banyak rumusan yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya erosi, model yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978), yang dikenal dengan the *Universal Soil Loss Equation* (USLE), dianggap merupakan metode yang paling populer dan banyak digunakan untuk memprediksi besarnya erosi. USLE adalah suatu metode erosi yang dirancang untuk memprediksi rata-rata erosi jangka panjang dari erosi lembar (*sheet erosion*) termasuk didalamnya erosi alur (*rill erosion*) pada suatu keadaan tertentu. Dengan menggunakan persamaan USLE dapat diprediksi juga rata-rata erosi dari suatu bidang tanah tertentu, pada suatu kecuraman lereng dan dengan pola hujan tertentu, untuk

setiap macam penanaman dan tindakan pengelolaan (tindakan konservasi tanah) yang sedang atau yang mungkin dapat dilakukan. Persamaan USLE yang diusulkan adalah $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$. Dari perhitungan didapat hasil 121,855 m³/tahun.

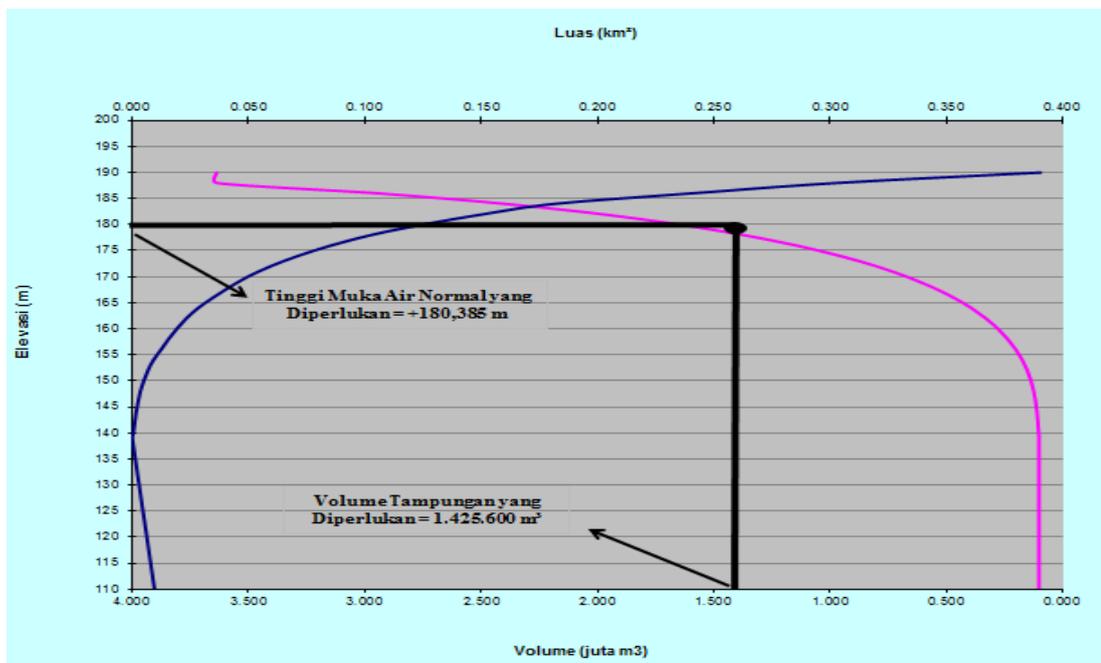
Hubungan Elevasi – Luas Genangan – Volume Bendungan

Perhitungan ini didasarkan pada peta topografi dengan beda tinggi kontur 1 – 2 m. Peta kontur daerah sekitar Kali Krenseng. Cari luas permukaan bendungan yang dibatasi oleh 2 garis kontur yang berurutan dengan menggunakan pendekatan volume.

Tabel 1. Hubungan Elevasi – Luas Genangan – Volume Bendungan

No	Elevasi (m)	Selisih Tinggi (m)	Luas Genangan (m ²)	Volume (m ³)	Total Volume Genangan (m ³)
1	150		4953.88		0.00
		2		11660.39	
2	152		6752.86		11660.39
		2		15813.07	
3	154		9119.35		27473.46
		2		21424.86	
4	156		12388.83		48898.32
		2		27927.05	
5	158		15599.83		76825.37
		2		34709.33	
6	160		19170.79		111534.70
		2		42381.40	
7	162		23276.97		153916.10
		2		51560.73	
8	164		28367.60		205476.83
		2		63067.77	
9	166		34809.95		268544.60
		2		76532.11	
10	168		41829.54		345076.71
		2		91402.40	
11	170		49685.47		436479.11
		2		109013.31	
12	172		59474.44		545492.42
		2		130579.32	
13	174		71282.98		676071.75
		2		156556.58	

14	176		85488.57		832628.32
		2		187990.09	
15	178		102766.36		1020618.41
		2		227117.61	
16	180		124704.71		1247736.02
		2		275306.32	
17	182		151021.20		1523042.34
		2		332546.90	
18	184		182007.26		1855589.24
		2		421271.27	
19	186		240625.64		2276860.52
		2		542506.97	
20	188		303081.00		2819367.49
		2		691738.06	
21	190		390500.82		3511105.55



Gambar 3. Hubungan Elevasi terhadap Luas Genangan dan Volume Bendungan

Volume Tampungan Waduk

Dead Storage Volume

Dead Storage Volume adalah volume sedimen yang ditampung di dalam bendungan selama 50 tahun. *Dead Storage Volume* dihitung berdasarkan pada besarnya angkutan sedimen tahunan. Dari perhitungan didapat hasil 6092.753 m³

Total Volume Storage

Total volume storage adalah volume total penyimpanan air yang direncanakan ditampung di dalam storage. Di dalam total volume storage sudah termasuk dengan dead storage volume. *Total volume storage* dihitung dengan cara mencari selisih antara garis penjumlahan debit yang didapat dari kumulatif debit andalan selama 11 tahun dengan garis debit pemakaian yang didapat dari debit rencana PLTA, baik berdasarkan *Basic Years Method*, *flow Characteristic Method*, maupun dengan menggunakan debit rata-rata selama 11 tahun. Dari perhitungan didapat hasil 1.425.600 m³

Effective Storage Volume

Effective Storage Volume adalah besarnya penyimpangan air di dalam bendungan untuk memenuhi keperluan PLTA. *Effective Storage Volume* dihitung dengan mengurangi *Total Storage Volume* dengan jumlah *Dead Storage Volume*. Dari perhitungan didapat nilai 1.419.507,247 m³.

Elevasi Muka Air Bendungan

Muka Air Rendah (MAR)

Muka air rendah berdasarkan volume *dead storage* yang dihitung berdasarkan besarnya angkutan sedimen yaitu sebesar 6092.753m³ pada elevasi +147,05 m untuk umur rencana waduk selama 50 tahun.

Muka Air Normal (MAN)

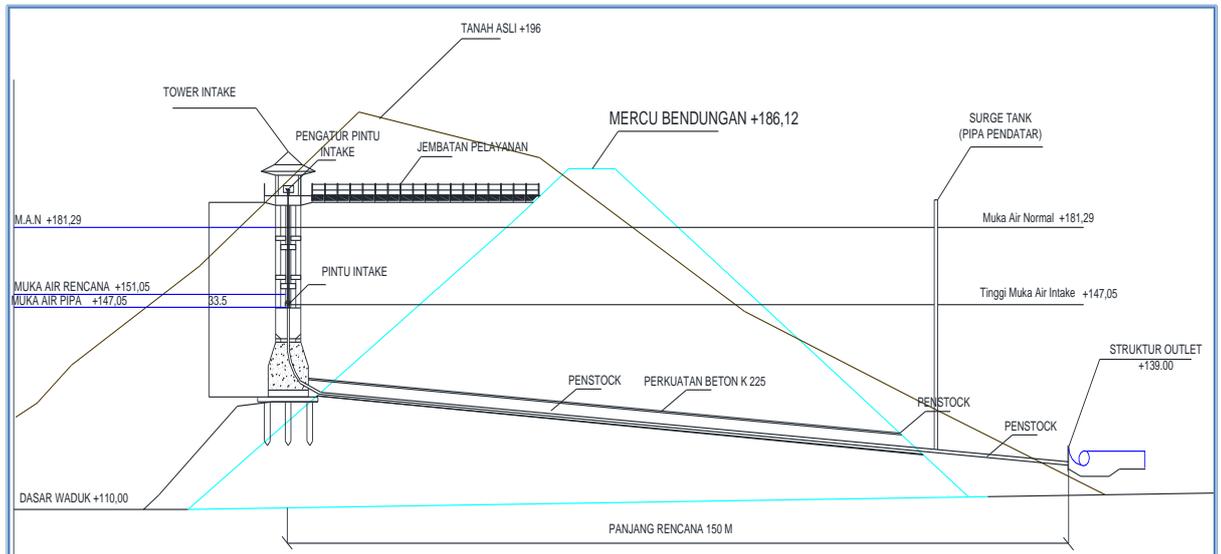
Muka air normal direncanakan berdasarkan tinggi mercu pelimpah yang diperlukan untuk mendapatkan volume storage tertentu yang dibutuhkan oleh PLTA UNDIP II Semarang untuk beroperasi dengan debit 0,106 m³/dt. Dari Tabel hubungan elevasi – luas genangan – volume dengan cara interpolasi didapat tinggi muka air normal +181,29 m.

DEBIT RENCANA PLTA

Debit rencana merupakan debit yang digunakan untuk perencanaan bangunan tenaga air dalam hal ini perencanaan PLTA. Q rencana kumulatif tidak boleh melebihi Q andalan yang masuk ke tampungan. Dengan memperhatikan nilai debit rata-rata sebesar 0,106 m³/dt dan debit maksimal sebesar 0,271 m³/dt, maka ditentukan nilai debit rencana PLTA sebesar 0,220 m³/dt, sehingga diharapkan dengan besaran debit tersebut volume tampungan dapat digunakan secara lebih efektif dan tidak ada air yang terbuang melalui pelimpah sekaligus dapat menghasilkan daya PLTA yang maksimal.

PERENCANAAN PLTA

Untuk berfungsi dengan baik, sebuah PLTA memerlukan kelengkapan bangunan yang bekerja secara optimal. Perencanaan bangunan tersebut didasarkan pada hasil perhitungan analisis hidrologi.



Gambar 4. Tata letak PLTA UNDIP II Semarang

Bangunan Pengambilan (Intake)

Bangunan intake/pengambilan dalam perencanaan PLTA UNDIP II Semarang ini dipakai tipe pengambilan menara, hasil sedapan kemudian dialirkan ke hilir sungai dengan kapasitas saluran sungai di sebelah hilir.

Pipa Penyalur

Dalam perencanaan ini, pipa penyalur berfungsi sebagai penyadap. Pipa penyadap ditempatkan di atas elevasi dead storage yaitu pada elevasi +151,045 m. Hal ini dikarenakan supaya air yang disadap tidak tercampur dengan sedimen. Dari perhitungan di atas, maka digunakan pipa hume berdiameter 0,83 m.

Perhitungan dimensi pipa pengambilan

Dimensi pipa pengambilan dihitung berdasarkan besarnya debit yang akan dilayani untuk kebutuhan air baku. System distribusi air dari bendungan untuk keperluan air baku penduduk dengan system gravitasi, yang didesain sebagai pipa bertekanan. Dari perhitungan direncanakan diameter pipa pengambilan sebesar 0,83 m

Perhitungan Konstruksi Pintu Air

Konstruksi pintu umumnya terdiri dari sistem balok memanjang atau melintang dan pelat baja (Bj 3700 dengan $\sigma = 2400 \text{ kg/cm}^2$ dan $\sigma_{ijin} = 2400 \text{ kg/cm}^2$) yang

dilekatkan pada system balok-balok tersebut. Tegangan pada balok-balok yang disebabkan oleh tekanan-tekanan hydrostatis dapat dihitung dengan pembebanan yang merata sepanjang balok-balok tersebut tertumpu pada kedua ujungnya. Sedangkan tegangan yang terjadi pada plat baja yang merupakan bidang persegi panjang bertumpuan pada sekeliling tepinya.

Dimensi Pipa Pesat

Pipa pesat adalah pipa tekan yang berfungsi untuk mengalirkan air dari tangki atas (*head tank*) atau langsung dari bangunan air ke turbin. Pipa pesat daibuat dari berbagai material kayu, baja, beton, dan kombinasi atau dengan yang lainnya. Pipa pesat ditempatkan di atas atau dibawah permukaan tanah sesuai dengan keadaan geografis dan geologi dimana pipa tersebut ditempatkan.

Dari perhitungan didapatkan diameter sebesar 0.34 m. Namun agar tidak terjadi kehilangan energi akibat perbedaan diameter dengan lubang *intake* (*reducer*) maka direncanakan menggunakan diameter pipa pesat sebesar 0.83 m (sama dengan *intake*), dengan ketebalan 13 mm.

Anker Blok

Pada proyek PLTA UNDIP II Semarang dipakai 2 Anker Blok yang diletakkan pada ujung dan belokan pipa pesat. Selain itu juga ditambah dengan 6 saddle support pada tower intake dan 6 buah pada turbin dengan jarak rencana masing-masing sejauh 8 m. (ketentuan antara 6 – 12m).

Perhitungan Terjun (Head)

Kehilangan Energi (*Head Loss*)

Dengan adanya penyaluran dari reservoir ke saluran pembuangan akhir maka akan terjadi kehilangan energy yang diakibatkan oleh *trash rack*, Inlet *penstock*, gesekan dinding *penstock*, belokan, reducer pada draft tube.

Tinggi terjun Bersih (*Nett Head*)

Tinggi terjun bersih adalah tinggi terjun yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin, yaitu tinggi bruto dikurangi total kehilangan tinggi energi terjun $H_{nett} = H_{bruto} - H_{tot} = 42,29 - 0.039043 = 42,25097 \text{ m} \approx 42,25 \text{ m}$

Daya Yang Dihasilkan

Daya yang dihasilkan PLTA dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Daya maksimum yaitu daya terbesar yang dapat dibangkitkan oleh PLTA. Pada umumnya yang disebut output dari PLTA adalah daya maksimum ini.
2. Daya pasti (*firm output*) yaitu daya yang dibangkitkan selama 365 hari dalam setahun untuk tipe *run-off river plant*.
3. Daya puncak yaitu daya yang dibangkitkan selama jam-jam tertentu setia hari (umumnya lebih dari 4 jam) yang meliputi 355 hari dalam setahun.

4. Daya puncak khusus yaitu daya yang dihasilkan setiap hari tanpa pembatasan jam operasi dalam musim hujan dikurangi dengan daya pasti.
5. Daya penyediaan (*supply output*) yaitu hasil yang dapat dibangkitkan dalam musim kemarau, dengan menggunakan simpanan air dalam bendungan yang dikumpulkan selama musim hujan dikuangi dengan daya pasti.
6. Daya penyediaan puncak dan daya bendungan.

$$P = 9.81 * Q * H_{nett} * \eta = 9.81 * 0.220 * 42.25 * 0.85 = 77.51 \text{ kWatt} = 0.07751 \text{ MW}$$

Surge Tank (Pendatar Air)

Surge tank atau pendatar air adalah pipa yang digunakan untuk mengatur / membuka menutupnya pintu dan melindungi terowongan pesat yang sangat panjang, menjaga keseimbangan agar tidak terjadi bahaya vacuum.

Direncanakan menggunakan tipe *simple vertical surge tank*, yang letaknya sebagian ada di permukaan tanah dan sebagian lagi di dalam (*partially excavated*).

Dari perhitungan didapatkan diameter sebesar 0.42 m. Namun agar tidak jadi kehilangan energi akibat perbedaan diameter dengan lubang *penstock (reducer)* dan karena pertimbangan kemudahan pemasangan maka direncanakan menggunakan diameter *surge tank* sebesar 0.83 m (sama dengan *penstock*).

Power House

Dalam perencanaan PLTA UNDIP II Semarang tidak dihitung secara detail perencanaan *power house*, hanya mengambil dari contoh yang sudah ada. *Power house* yang direncanakan mempunyai panjang 3 m dan lebar 3 m, atap menggunakan seng BJLS 28 dengan kuda-kuda dari kayu dan pondasi setempat. Di bawah bangunan terdapat saluran yang mengalirkan air dan turbin ke saluran pembuangan (*tail race*).

Turbin

Turbin Francis paling banyak digunakan di Indonesia. Turbin ini digunakan pada PLTA dengan tinggi terjun sedang, yaitu antara 20 – 400 meter. Teknik ini mengkonversi energi potensial air menjadi energy mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin *francis* juga disebut sebagai turbin reaksi.

Perhitungan Daya Turbin

Direncanakan daya turbin sebesar 77,51 kWatt

Pemilihan jenis Turbin

Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi system operasi turbin yaitu :

1. Tinggi jatuh air efektif (*net head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin.
2. Daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.
3. Kecepatan putaran turbin

Dari perhitungan $N_s = 40$ s/d 400, dan dikarenakan $head\ 10 < H < 350$ maka dipergunakan turbin dengan tipe *Francis*

Diameter minimum turbin adalah 2050 mm, jumlah bilah *runner* turbin yang direkomendasikan sebanyak 4 buah.

Saluran Pembuangan (Tail Race)

Saluran pembuangan ini berfungsi untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin air untuk kemudian dibuang ke sungai, saluran irigasi atau ke laut. Saluran ini dimensinya harus sama atau lebih besar daripada saluran pemasukan mengingat adanya kemungkinan perubahan mendadak dari debit turbin air. Direncanakan saluran pembuangan dengan ketinggian 0,4 m dan kecepatan 0,64 m/dt.

Pipa Hisap (Draft Tube)

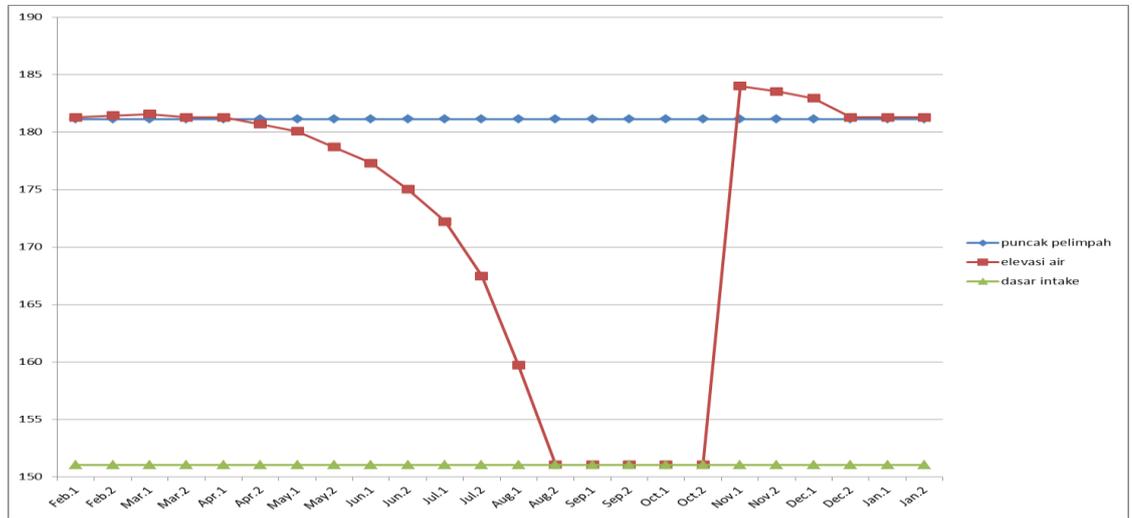
Pipa hisap umumnya dibuat ditempat pipa keluar atau dibagian muka saluran pembuangan. Dimana fungsi draft tube pada turbin reaksi adalah untuk memanfaatkan tinggi terjun antara rotor dan muka air bawah secara efisien, dan juga untuk mendapatkan kembali dan memanfaatkan energy kinetik air yang keluar. Direncanakan diameter pipa hisap sebesar 0,83 m dan kecepatan air yang keluar = 0,46 m/det

Operasi PLTA

Metode pengoperasian dari sebuah PLTA berbeda antara satu tempat dengan tempat lain. Namun pada umumnya suplai air yang digunakan untuk menggerakkan turbin harus di cek terlebih dahulu sebelum PLTA mulai beroperasi. Untuk itu pengecekan terhadap saluran, katup pengambilan (*intake*), dan *trashrack* diperlukan untuk melihat apakah bagian tersebut bersih sehingga air yang mengalir ke saluran dapat tercukupi.

Tabel 2. Perhitungan Simulasi

Bulan	Jumlah hari	Vol. Efektif	Vol. Mati	Kondisi Awal Periode			Q release	V kebutuhan	Total	Inflow		Vol air tersedia	V air tersedia - Voutflow	Keterangan	
				Volume Tampung	Elevasi	Daya Listrik Max (kW)				Q in (Q80)	V supply				
[1]	[2]	[3]	[4]	[5] = [3]+[4]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10] = [11]	[11]	[12]	[13] = [3] + [12]	[14] = [13] - [10]	[18]	
Feb.1	14	1419507.25	6092.75	1425600.00	181.29	108.44	0.22	266112.00	266112.00	0.24	284735.12	1704242.37	1438130.37	overflow	18623.12
Feb.2	14	1438130.37	6092.75	1444223.12	181.43	108.65	0.22	266112.00	266112.00	0.24	284735.12	1722865.49	1456753.49	overflow	18623.12
Mar.1	16	1456753.49	6092.75	1462846.24	181.56	108.86	0.22	304128.00	304128.00	0.16	222290.07	1679043.56	1374915.56	-	-81837.93
Mar.2	15	1419507.25	6092.75	1425600.00	181.29	108.44	0.22	285120.00	285120.00	0.16	208396.94	1627904.18	1342784.18	-	-76723.06
Apr.1	15	1419507.25	6092.75	1425600.00	181.29	108.44	0.22	285120.00	285120.00	0.15	200049.59	1619556.84	1334436.84	-	-85070.41
Apr.2	15	1334436.84	6092.75	1340529.59	180.67	107.50	0.22	285120.00	285120.00	0.15	200049.59	1534486.43	1249366.43	-	-85070.41
May.1	16	1249366.43	6092.75	1255459.18	180.06	106.56	0.22	304128.00	304128.00	0.11	148896.31	1398262.74	1094134.74	-	-155231.69
May.2	15	1094134.74	6092.75	1100227.49	178.70	104.50	0.22	285120.00	285120.00	0.11	139590.29	1233725.03	948605.03	-	-145529.71
Jun.1	15	948605.03	6092.75	954697.78	177.30	102.36	0.22	285120.00	285120.00	0.07	87270.46	1035875.49	750755.49	-	-197849.54
Jun.2	15	750755.49	6092.75	756848.25	175.03	98.91	0.22	285120.00	285120.00	0.07	87270.46	838025.96	552905.96	-	-197849.54
Jul.1	16	552905.96	6092.75	558998.71	172.21	94.61	0.22	304128.00	304128.00	0.05	70651.35	623557.31	319429.31	-	-233476.65
Jul.2	15	319429.31	6092.75	325522.06	167.49	87.43	0.22	285120.00	285120.00	0.05	66235.64	385664.95	100544.95	-	-218884.36
Aug.1	16	100544.95	6092.75	106637.70	159.72	75.60	0.22	304128.00	304128.00	0.04	56521.08	157066.03	-147061.97	-	-247606.92
Aug.2	15	-147061.97	6092.75	-140969.22	151.05	62.40	0.22	285120.00	285120.00	0.04	52988.51	-94073.46	-379193.46	-	-232131.49
Sep.1	15	-379193.46	6092.75	-373100.70	151.05	62.40	0.22	285120.00	285120.00	0.03	43803.84	-335389.62	-620509.62	-	-241316.16
Sep.2	15	-620509.62	6092.75	-614416.86	151.05	62.40	0.22	285120.00	285120.00	0.03	43803.84	-576705.78	-861825.78	-	-241316.16
Oct.1	16	-861825.78	6092.75	-855733.03	151.05	62.40	0.22	304128.00	304128.00	0.03	41678.21	-820147.57	-1124275.57	-	-262449.79
Oct.2	15	-1124275.57	6092.75	-1118182.82	151.05	62.40	0.22	285120.00	285120.00	0.03	39073.32	2135271.60	1850151.60	overflow	2974427.17
Nov.1	15	1850151.60	6092.75	1856244.35	184.00	112.57	0.22	285120.00	285120.00	0.05	66916.79	2056732.50	1771612.50	-	-78539.10
Nov.2	15	1771612.50	6092.75	1777705.25	183.53	111.85	0.22	285120.00	285120.00	0.05	66916.79	1957345.60	1672225.60	-	-99386.90
Dec.1	16	1672225.60	6092.75	1678318.35	182.93	110.94	0.22	304128.00	304128.00	0.07	91989.94	1764215.54	1460087.54	-	-212138.06
Dec.2	15	1419507.25	6092.75	1425600.00	181.29	108.44	0.22	285120.00	285120.00	0.07	86240.57	1505747.82	1220627.82	-	-198879.43
Jan.1	16	1419507.25	6092.75	1425600.00	181.29	108.44	0.22	304128.00	304128.00	0.26	356213.46	1775720.71	1471592.71	overflow	52085.46
Jan.2	15	1419507.25	6092.75	1425600.00	181.29	108.44	0.22	285120.00	285120.00	0.26	333950.12	1753457.36	1468337.36	overflow	48830.12



Gambar 5. Grafik Hasil Elevasi Simulasi

RENCANA ANGGARAN BIAYA

No	JENIS PEKERJAAN	BIAYA (Rp)
1	PEKERJAAN PERSIAPAN	6,423,514,087.57
2	PEKERJAAN PIPA PESAT	662,193,231.96
3	PEKERJAAN TOWER INTAKE	38,500,748,665.49
4	PEKERJAAN TURBIN	170,500,000.00
5	PEKERJAAN GENERATOR	202,500,000.00
6	PEKERJAAN POWER HOUSE	800,000,000.00
7	PEKERJAAN PINTU PENGATUR	36,128,432.00
8	PEKERJAAN SALURAN PEMBUANGAN (TA	111,247,198.88
9	PEKERJAAN FINISHING	10,000,000.00
10	PEKERJAAN LAIN - LAIN	73,312,500.00
	JUMLAH	46,990,144,115.90
	JASA PEMBORONGAN 10%	4,699,014,411.59
	JUMLAH	51,689,158,527.49
	PAJAK (PPN 10%)	5,168,915,852.75
	JUMLAH	56,858,074,380.23
	PEMBULATAN	56,857,829,500.00
	TERBILANG	Lima puluh enam miliar delapan ratus lima puluh tujuh juta delapan ratus dua puluh sembilan ribu lima ratus rupiah

KESIMPULAN

1. Melalui analisis yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa debit aliran Kali Krengseng UNDIP yang mempengaruhi Bendungan UNDIP II Semarang relatif kecil sehingga daya yang mampu dihasilkan hanya berkapasitas rendah.
2. Kapasitas tampungan waduk yang dibutuhkan yaitu sebesar $1.425.600 \text{ m}^3$. Untuk dapat memaksimalkan kapasitas tampungan yang ada maka dipakai debit rencana sebesar $0,220 \text{ m}^3/\text{dt}$ yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan pembangkit listrik.
3. Hasil Perencanaan :
 - a. Pipa Pengambilan/Pipa Pesat :
Panjang Pipa Pesat = 150 m
Diameter pipa pesat = 83 cm
Tebal pipa pesat = 13 mm
 - b. Turbin :
Dari data :
Hnetto = 42,25 m
Q = 0,220 m³/dt
Pturbin = 77,00 kWatt
pemilihan turbin digunakan turbin jenis tipe *francis*.
 - c. *Generator* yang dipilih adalah *generator* dengan daya 120 kVA, tegangan 400 Volt, frekuensi 50 Hz Faktor daya = 0,8, Jumlah kutub magnetik = 12 buah.
4. Dari hasil perhitungan daya yang dihasil tidak begitu mencukupi untuk memenuhi pasokan listrik UNDIP oleh karenanya hanya dijadikan contoh model fisik laboratorium PLTA UNDIP sebagai tempat studi operasional PLTA oleh mahasiswa.
5. Rencana anggaran biaya konstruksi PLTA UNDIP II Semarang direncanakan sebesar Rp. 56.858.074.380 (Lima puluh enam miliar delapan ratus lima puluh tujuh juta delapan ratus dua puluh sembilan ribu lima ratus rupiah).

DAFTAR PUSTAKA

- Limantarta, Lily Montarcih., Ir, M.Sc, Dr, 2010, *Hidrologi Praktis*, Lubuk Agung, Bandung.
- Bambang Triatmodjo, 2010, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Kodoatie, Robert J., 2005, *Analisis Ekonomi Teknik*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- M, Suyitno., M.Pd, Dr, 2001, *Pembangkit Energi Listrik*, Pembangkit Energi Listrik, Rineka Cipta, Jakarta.
- Soedibyo., Ir, 1993, *Teknik Bendungan*, Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Dandekar, M.M. dan Sharma, K.K. 1991, *Pembangkit Listrik Tenaga Air*, Universitas Indonesia, Jakarta.