

# LAPORAN AKHIR

PEMANFAATAN AIR SUNGAI  
DENGAN PENERAPAN  
TEKNOLOGI POMPA AIR  
TENAGA HIDRO



PROTOTIPE

## POMPA AIR TENAGA HIDRO UNTUK PENYEDIAAN AIR BAKU DAN MENGATASI KEKERINGAN

OUTPUT KEGIATAN  
PEMANFAATAN AIR SUNGAI  
DENGAN PENERAPAN TEKNOLOGI POMPA AIR TENAGA HIDRO



DESEMBER, 2014



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR**

Jalan Ir. H. Juanda 193, Bandung 40135, Telp. (022) 2501083, 2504053, 2501554, 2500507  
Faks. (022) 2500163, PO Box 841, E-mail: pusat@pusair-pu.go.id, Http://www.pusair-pu.go.id

## **SAMBUTAN**

Penyediaan air irigasi merupakan dukungan utama untuk mewujudkan ketahanan pangan yang sedang dicanangkan pemerintah. Pada umumnya potensi sumber air di beberapa daerah terutama di Pulau Jawa sudah banyak dimanfaatkan baik untuk irigasi maupun untuk air minum dan industri. Meskipun begitu potensi sumber air di Pulau Jawa ini masih cukup besar untuk bisa dikembangkan walaupun harus didukung dengan teknologi yang memadai. Pompa air tenaga hidro ini menjadi salah satu teknologi yang mampu mendukung pemanfaatan potensi sumber air yang ada untuk memenuhi kebutuhan air di Pulau Jawa yang semakin meningkat.

Pompa air tenaga hidro (PATH) Wonokerso ini dirancang mampu memanfaatkan sumber air sungai dengan menaikkan air sampai ketinggian sawah yang membutuhkan tanpa memerlukan masukan energi. Dengan demikian PATH Wonokerso ini akan memberikan andil mendukung program pemerintah mewujudkan ketahanan pangan dan energi.

Dengan telah selesainya pembangunan PATH Wonokerso ini, diharapkan partisipasi masyarakat Desa Wonokerso untuk bisa mengelola dengan baik sehingga bangunan prasarana sumber daya air bisa berfungsi dengan baik dan berkelanjutan. Lebih jauh diharapkan, penerapan teknologi PATH di Wonokerso ini bisa menjadi percontohan bagi Pemerintah Daerah Temanggung dan sekitarnya dalam mengembangkan potensi sumber daya air yang dimiliki.

Semoga Tuhan Yang Maha Pemurah menganugerahkan PATH Wonokerso ini sebagai prasarana yang mampu meningkatkan kesejahteraan warga masyarakat di sekitarnya, amien.

Jakarta, Desember 2014

Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

**Dr. Ir. M. Basuki Hadimuljono, M.Sc**

## KATA PENGANTAR

Pembangunan Pompa Air Tenaga Hidro di Desa Wonokerso, Kecamatan Tembarak, Kabupaten Temanggung merupakan realisasi Perjanjian Kerjasama antara Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Temanggung dengan Pusat Litbang Sumber Daya Air nomor 610/032/IV/2014 / nomor 03/SPK/La/2014 tentang Penerapan Teknologi Tepat Guna (TTG) Pemanfaatan Air Sungai di Kabupaten Temanggung. Pembangunan ini dilaksanakan dengan menggunakan anggaran pada DIPA Satuan Kerja Balai Sungai Tahun Anggaran 2014, melalui kegiatan litbang yang berjudul *Pemanfaatan Air Sungai dengan Teknologi Pompa Air Tenaga Hidro*.

Pompa Air Tenaga Hidro merupakan salah satu teknologi tepat guna yang dikembangkan di Pusat Litbang Sumber Daya Air. Dengan melakukan modifikasi sebagai upaya peningkatan kinerjanya, dibangun sebuah prototipe di Desa Wonokerso sebagai tanggapan atas permintaan bantuan penyelesaian masalah kekurangan air irigasi dari Pemerintah Daerah Kabupaten Temanggung.

Tulisan yang disusun bersama oleh Ir. Sudarta, CES, Dr. Ir. Isdiyana, CES., Asep Sulaeman, ST., dan Suprpto, ST., merupakan dokumen penyerta yang mendeskripsikan dan menjelaskan keberadaan Bangunan Prototipe Pompa Air Tenaga Hidro Wonokerso ini.

Semoga buku ini bisa memberikan informasi keberadaan Pompa Air Tenaga Hidro Wonokerso dengan jelas dan bermanfaat bagi pengembangan dan pengelolaan pompa tersebut. Kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan bagi pembangunan Pompa Air Tenaga Hidro Wonokerso diucapkan banyak terima kasih.

Bandung, Desember 2014

Kepala Pusat Litbang Sumber Daya Air



Dr. Ir. Suprpto, M.Eng.  
NIP. 195705071983011001<sup>ke</sup>

## **TIM PENYUSUN**

*Ir. Sudarta, CES.*

*Dr. Ir. Isdiyana, CES.*

*Asep Sulaeman, ST.*

*Suprpto, ST*

## RINGKASAN

Pompa Air Tenaga Hidro (PATH) adalah pompa air yang digerakkan oleh tenaga putaran turbin penangkap tenaga air, tanpa melalui transformasi menjadi tenaga listrik. PATH yang dibangun di Desa Wonokerso, Kecamatan Tembarak, Kabupaten Temanggung memanfaatkan potensi Curug Ketitang di alur Kali Lungge. Kali Lungge ini bermuara di Kali Jambe, anak Kali Progo, yang berada di dalam wilayah kerja Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak.

PATH Wonokerso difungsikan untuk pemenuhan kebutuhan air baku irigasi seluas 36 ha dengan debit sebesar 50 l/det. Selain mampu mensuplai debit 50 l/det tersebut, PATH ini masih memiliki potensi mensuplai air 35 l/det yang disediakan untuk pengembangan daerah untuk berbagai pemanfaatan seperti perluasan daerah oncoran, pengembangan wisata, perikanan, dan lain sebagainya.

Bangunan PATH Wonokerso terdiri dari instalasi hidromekanik dan bangunan sipil pendukungnya, Instalasi hidromekanik berupa pipa pesat panjang 42 m dengan diameter 60 cm yang memberikan tinggi energi bruto sebesar 11 m dan debit aliran sebesar 585 l/det; 2 (dua) buah turbin dengan diameter runner 22,5 cm dan debit rencana masing-masing 250 l/det; 2 (dua) buah pompa air masing-masing berkapasitas 50 l/det dengan tinggi pemompaan 18 m dan 35 l/det dengan tinggi pemompaan 32 m; 2 (dua) jalur pipa PVC untuk suplai air dari pompa masing-masing berdiameter 8" dengan panjang 46 m untuk penyalur air 50 l/det dan berdiameter 6" dengan panjang 67 m untuk penyalur air 35 l/det. Bangunan sipil pendukung PATH terdiri dari bendung setinggi 80 cm dengan panjang mercu 14 m yang didesain aman dilalui banjir Kali Lungge 50 tahunan sebesar 10 m<sup>3</sup>/det.; pintu intake lebar 0,75 m dengan kapasitas debit 585 l/det; saluran pembawa lebar 0,75 m dalam 0,50 m; kolam penenang seluas kurang lebih 5 m<sup>2</sup> yang dilengkapi dengan pintu penguras lebar 0,75 m; dan rumah turbin/pompa berukuran panjang 4,50 m lebar 3,50 m dan tinggi 2,50 m dari struktur beton bertulang.

PATH Wonokerso memiliki dua unit turbin berjenis *Cross-flow*, dengan tinggi energi netto 9 m yang masing-masing turbin dengan debit 250 l/det bisa membangkitkan energi sebesar 21 HP. Sumber air pemompaan diambil dari pipa pesat yang memberikan keuntungan bahwa sumber air memiliki tinggi energi setinggi energi air dalam kolam penenang. Model ini berbeda dengan pompa tenaga hidro lain yang sudah dibangun.

Kepemilikan aset PATH Wonokerso diserahkan kepada Pemerintah Kabupaten Temanggung dan pengelolaannya diserahkan kepada Pemerintah Desa Wonokerso bekerjasama dengan Pemerintah Desa Tembarak

## DAFTAR ISI

<b>SAMBUTAN</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>TIM PENYUSUN</b> .....	iii
<b>RINGKASAN</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	ix
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat.....	1
1.3 Lingkup Bangunan.....	1
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	2
2.1 Sistem Pompa Air Tenaga Hidro .....	2
2.2 Pipa dan turbin .....	2
2.3 Tenaga Air .....	3
2.4 Penentuan Debit Rencana .....	4
2.5. Inovasi Teknologi .....	4
<b>BAB III DESAIN PROTOTIPE</b> .....	6
3.1. Lokasi .....	6
3.2. Data Desain.....	6
3.2.1. Kebutuhan dan Ketersediaan Air.....	6
3.2.2. Analisis Hujan Rencana.....	8
3.2.3. Debit Banjir Rencana .....	11
3.3. Desain Turbin .....	13
3.3.1 Umum.....	13
3.3.2 Kriteria Desain .....	13
3.3.3 Data Teknis .....	13
3.3.4 Pemilihan turbin .....	14
3.3.5 Dimensi Pipa Pesat/Penstok.....	15
3.3.6 Dimensi Turbin .....	15
3.3.7 Daya Aliran Air dan Daya Turbin.....	17
3.3.8 Dimensi Pipa Napas/Pipa Pelepas Tekan.....	17
3.4. Desain Pompa .....	17
3.5. Kapasitas Turbin dan Pompa .....	21
3.6. Desain Bangunan Sipil.....	22
3.6.1 Umum .....	22
3.6.2 Kriteria Desain .....	22

3.6.3	Desain Bendung Penangkap Air.....	23
3.6.4	Desain Bangunan Sadap .....	24
3.6.5	Desain Saluran Pembawa .....	24
3.6.6	Desain Kolam Penenang dan Saringan Sampah .....	25
3.6.7	Desain Saringan Sampah .....	25
3.6.8	Desain Rumah Turbin .....	25
<b>BAB IV</b>	<b>KONSTRUKSI .....</b>	<b>27</b>
4.1	Umum .....	27
4.2	Lingkup Pekerjaan.....	27
4.3	Tahapan Pelaksanaan .....	29
4.4	Metode Pelaksanaan .....	30
<b>BAB V</b>	<b>DESKRIPSI BANGUNAN PROTOTIPE.....</b>	<b>31</b>
5.1	Komponen Bangunan dan Spesifikasi .....	31
5.2	Detail Komponen Turbin.....	33
5.3	Prinsip Kerja .....	34
5.4	Gambar Purnabangun.....	35
<b>BAB VI</b>	<b>OPERASI DAN PEMELIHARAAN .....</b>	<b>36</b>
6.1	Operasi.....	36
6.1.1	Pengambilan Air .....	36
6.1.2	Pengurusan Sedimen .....	36
6.1.3	Pembangkitan Energi dan Pemompaan .....	36
6.2	Pemeliharaan.....	37
6.2.1	Pemeriksaan .....	37
6.2.2	Perawatan.....	37
6.2.3	Pembersihan Sedimen.....	38
6.2.4	Pembersihan Sampah.....	38
<b>BAB VII</b>	<b>PEMANTAUAN DAN EVALUASI KINERJA.....</b>	<b>39</b>
7.1	Pemantauan PATH.....	39
7.1.1	Pemantauan Morfologi dan Hidrologi Sungai .....	39
7.1.2	Pemantauan Operasi Turbin dan Pompa.....	39
7.1.3	Pemantauan Produksi Pemompaan .....	39
7.2	Evaluasi Kinerja PATH .....	39
7.2.1	Evaluasi Fungsi dan Keamanan.....	39
7.2.2	Evaluasi Efisiensi Turbin dan Pompa .....	39
<b>BAB VIII</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>41</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>42</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>43</b>



## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1. Skema Pompa Air Tenaga Hidro .....	2
Gambar 2. Skema transformasi energi aliran dalam pipa pesat.....	3
Gambar 3. Inovasi Pengambilan Air Pemompaan pada PATH.....	5
Gambar 4. Lokasi Pembangunan PATH Wonokerso .....	6
Gambar 5. Daerah Oncoran PATH Wonokerso.....	7
Gambar 6. DAS Kali Lungge .....	11
Gambar 7. Penampang Tubuh Bendung.....	24
Gambar 8. Bagan alir konstruksi PATH .....	29
Gambar 9. Komponen Bangunan PATH Wonokerso .....	31

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan Stasiun Parakan.....	9
Tabel 2 Hubungan Periode Ulang (T) Dengan Reduksi Variat dari Variabel (Yt).....	9
Tabel 3 Hubungan <i>Redued Variate</i> Rata-Rata (Yn) Dengan Jumlah Data (N).....	9
Tabel 4 Perhitungan Distribusi Gumbel Secara Analitis .....	10
Tabel 5 Hasil analisis curah hujan.....	11
Tabel 6 Hasil analisis debit rencana .....	12

## DAFTAR ISTILAH

Daerah Aliran Sungai (DAS)	Sebuah kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografis, yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan air ke anak sungai dan sungai utama yang bermuara ke danau atau laut
Daya air	Potensi yang terkandung dalam air dan atau sumber air yang dapat memberikan manfaat bagi kehidupan dan penghidupan manusia
Pengelolaan sumberdaya air	Upayamerencanakan, melaksanakan, memantau dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumberdaya air, pendayagunaan sumberdaya air, dan pengendalian daya rusak air.
Sumber Daya Air	Air dan semua potensi yang terdapat pada air, sumber air, termasuk sarana dan prasarana pengairan yang dapat dimanfaatkan, namun tidak termasuk kekayaan hewani yang ada di dalamnya.
Sungai	Sistem pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi pada kanan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan.
Wilayah sungai	Kesatuan wilayah pengelolaan sumber daya air dalam satu atau lebih Daerah Aliran Sungai dan atau satu atau lebih pulau-pulau kecil, termasuk cekungan air tanah yang berada di bawahnya.

## **DAFTAR SINGKATAN**

BBWS	: Balai Besar Wilayah Sungai
DAS	: Daerah Aliran Sungai
PATH	: Pompa Air Tenaga Hidro

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gagasan pembangunan Pompa Air Tenaga Hidro (PATH) Wonokerso bermula dari diadakannya sosialisasi hasil litbang Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum di Kabupaten Temanggung. Sosialisasi tersebut mendapat tanggapan positif dari Pemerintah Daerah dengan mengajukan usulan pembangunan PATH di Desa Wonokerso dengan memanfaatkan potensi energi Curug Ketitang di Kali Lungge. Usulan ini diterima oleh Pusat Litbang Sumber Daya Air dengan mengalokasikan anggaran pembangunannya melalui DIPA Satuan Kerja Balai Sungai Tahun Anggaran 2014.

PATH Wonokerso direncanakan untuk mensuplai air daerah irigasi Sicandi seluas 36 ha. Daerah irigasi Sicandi merupakan daerah irigasi teknis eksisting yang menjadi kekurangan air akibat pembangunan bendung pengambilan air di Kali Lungge sebelah hulu intake Sicandi. Dengan demikian secara ekonomi pembangunan PATH ini sangat layak karena bisa mengoncori sawah seluas 36 ha tanpa memerlukan tambahan pekerjaan jaringan irigasi. PATH Wonokerso secara teknik juga sangat layak karena tersedia debit andalan sebesar 585 l/det dengan terjunan air setinggi sekitar 9,00 m dan memerlukan pengangkatan air setinggi 18 m. Sisa potensi energi Curug Ketitang yang mampu mengangkat air 35 l/det setinggi 25 m bisa disediakan untuk pengembangan daerah irigasi atau untuk pengembangan lain di daerah yang bisa dijangkau.

Pembangunan PATH Wonokerso dilaksanakan secara swakelola oleh Balai Sungai sedangkan pengelolaannya setelah terbangun diserahkan kepada Pemerintah Daerah Kabupaten Temanggung cq Pemerintah Desa Wonokerso.

### 1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan pembangunan PATH Wonokerso adalah untuk mengatasi kekurangan air di daerah irigasi Sicandi desa Wonokerso dan menunjang pengembangan daerah di sekitarnya.

PATH Wonokerso bermanfaat menyediakan air sebesar 50 l/det untuk mengairi 36 ha sawah di daerah irigasi Sicandi, dan menyediakan air 35 l/det yang siap dimanfaatkan untuk pengembangan daerah seperti untuk pengembangan sawah irigasi, kebun buah, perikanan, pariwisata, dan lain sebagainya.

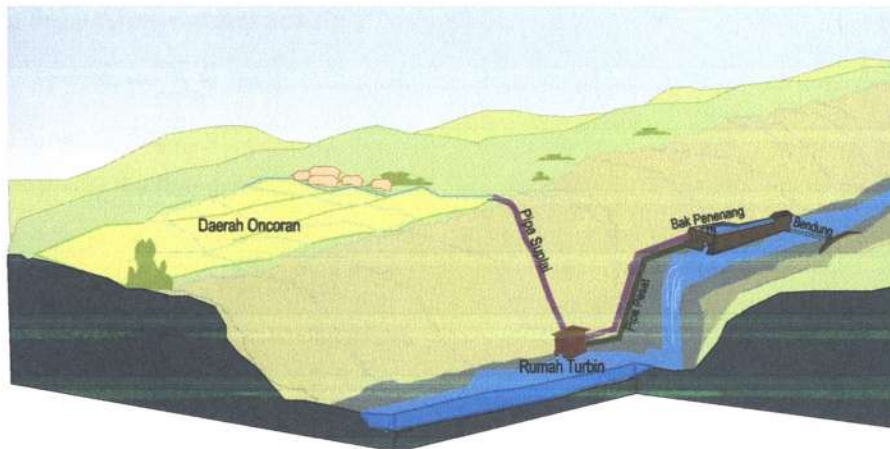
### 1.3 Lingkup Bangunan

Bangunan PATH Wonokerso meliputi bangunan penangkap air yang dilengkapi dengan bendung rendah, saluran pembawa, kolam penenang, pipa pesat, turbin, pompa, rumah turbin, pipa suplai dan bak *outlet* serta tangga akses. Pekerjaan pembangunan PATH ini tidak mencakup pembuatan/perbaikan infrastruktur irigasi, dan juga tidak membangun prasarana pariwisata namun desain PATH diarahkan untuk bisa mendukung pengembangan pariwisata lokasi PATH di Curug Ketitang ini.

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Sistem Pompa Air Tenaga Hidro

Pompa Air Tenaga Hidro (PATH) adalah peralatan pompa air yang dirangkai dengan turbin untuk memompa air ke elevasi yang lebih tinggi dengan tenaga turbin secara langsung (tanpa ditransformasi menjadi listrik) yang dibangkitkan oleh energi aliran air. Skema pompa air tenaga hidro ditunjukkan pada Gambar 1 berikut,



Gambar 1. Skema Pompa Air Tenaga Hidro

Dalam Kajian dan Detail Desain Mikrohidro untuk Pembangkit Energi Guna Pemompaan Air di Daerah Irigasi Batang Sinamar, 2009 disebutkan untuk bisa membangun PATH dengan efektif dan efisien diperlukan kondisi lapangan yang mempunyai potensi energi air, topografi dan pemanfaatan yang sesuai, yang dapat dideskripsikan sebagai berikut :

- 1) memiliki debit aliran sungai yang cukup besar dan menerus selama musim kemarau;
- 2) terdapat terjunan air di dasar sungai;
- 3) tebing alur sungai relatif tinggi, sehingga tidak layak jika dibangun bendung untuk menaikkan air ke atas tebing;
- 4) air hasil pemompaan bermanfaat besar, baik untuk irigasi maupun untuk air minum.

### 2.2 Pipa dan turbin

Pipa digunakan untuk menyalurkan air ke dalam turbin, yang selanjutnya tenaga air tersebut digunakan untuk memutar turbin, hal ini dapat diilustrasikan sebagai berikut:

Dengan menganggap kehilangan tenaga sekunder kecil maka di sepanjang pipa garis tenaga berimpitan dengan garis tekanan. Garis tenaga turun secara teratur, karena adanya kehilangan tenaga akibat gesekan. Dengan menganggap kehilangan tenaga sekunder

diabaikan, tinggi tekanan efektif  $H$  adalah sama dengan tinggi statis  $H_s$  dikurangi kehilangan tenaga akibat gesekan  $h_f$  (Triatmodjo, 2003)

$$H = H_s - h_f \dots\dots\dots 1$$

Kehilangan tenaga  $h_f$  menurut persamaan Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \dots\dots\dots 2$$

mengingat

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D^2/4} \dots\dots\dots 4$$

Maka tinggi tekanan efektif adalah:

$$H = H_s - \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \dots\dots\dots 5$$

Daya yang tersedia

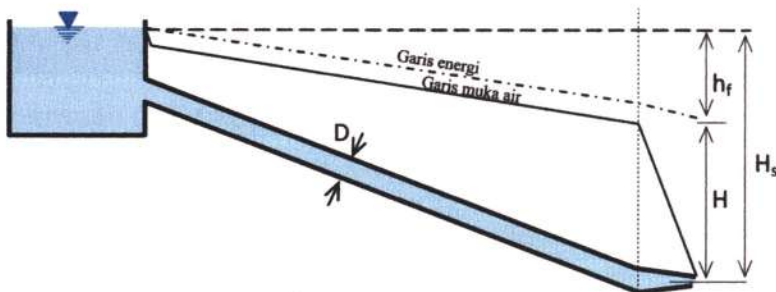
$$P = Q H \gamma \text{ [kgf m/d]} \dots\dots\dots 6$$

Dengan :

$Q$  = debit aliran [ $m^3/d$ ]

$H$  = tinggi tekanan efektif [m]

$\gamma$  = berat jenis air [ $kgf/m^3$ ]



Gambar 2. Skema transformasi energi aliran dalam pipa pesat

### 2.3 Tenaga Air

Tenaga yang terkandung dalam badan air terdiri dari energi potensial dan energi gerak (kinetik). Untuk penangkapan tenaga air, diperhitungkan sebagai daya air yang diekspresikan dalam beda tinggi potensial air dialirkan dan debit alirannya. Besarnya daya air dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$P = \rho g Q H \dots\dots\dots 7$$

Keterangan :

$P$  = daya hidraulik [W]

$\rho$  = rapat massa air =  $1000 \text{ kg/m}^3$

$g$  = percepatan gravitasi = 9,81 m/det<sup>2</sup>

$H$  = beda tinggi potensial aliran efektif [m]

$Q$  = debit aliran [m<sup>3</sup>/det].

Jika satuan tenaga dikonversi ke satuan daya kuda (PK), rumus di atas menjadi :

$$P^* = 0,00136 \rho g Q H \dots\dots\dots 8$$

dimana  $P^*$  = daya hidraulik [PK]

Transformasi daya hidraulik menjadi daya turbin untuk menggerakkan pompa akan menghasilkan daya pompa yang lebih kecil dari daya hidraulik karena adanya kehilangan daya di turbin dan pompa yang diperhitungkan dalam bentuk efisiensi turbin dan efisiensi pompa.

Daya pompa yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P_p = \eta P \dots\dots\dots 9$$

Keterangan :

$P_p$  = daya hasil pemompaan

$\eta$  = efisiensi gabungan turbin dan pompa

Jika hasil pemompaan dinyatakan dalam debit pemompaan ( $q_p$ ) dan tinggi pemompaan ( $h_p$ ), maka didapat korelasi :  $Q H = \eta q_p h_p$ , sehingga debit hasil pemompaan dapat diperkirakan besarnya dengan rumus :

$$q_p = \eta H Q / h_p \dots\dots\dots 10$$

## 2.4 Penentuan Debit Rencana

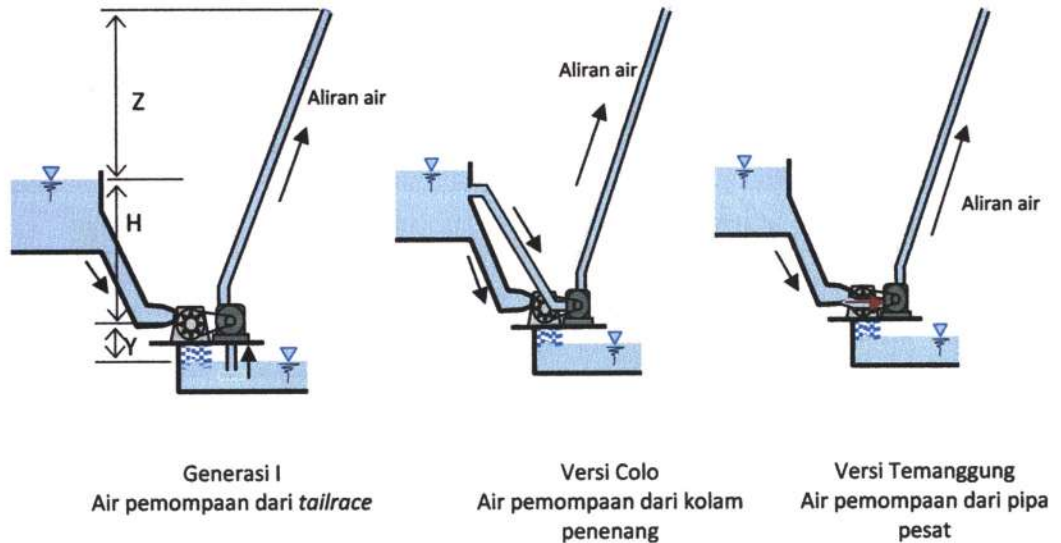
Dalam penentuan debit rancangan, jika memungkinkan, dipersiapkan *Flow Duration Curve* (FDC) yang mencerminkan aliran air selama setahun. Metoda standar yang berlaku dipergunakan dalam menentukan FDC ini. Jika FDC diproduksi pada tahun basah maka harus di ketahui nilai koreksi untuk tahun keringnya. Secara umum pengambilan sampel debit pada musim paling kering diperkenankan untuk penentuan debit rancangan. Paling tidak dilakukan dua set pengukuran pada musim paling kering dilokasi tersebut. Pedoman teknis bagi perencanaan hidrologi dan hiraulik untuk bangunan sungai dapat kepada Standar Nasional Indonesia SNI 03-1724-1989 dan SNI 03-3441-194 tentang Tata cara penetapan banjir desain dan kapasitas pelimpah. (Pedoman Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), 2008).

## 2.5 Inovasi Teknologi

Pada generasi pertama pompa air tenaga hidro, air yang dipompa diambil dari badan air setelah keluar dari turbin. Inovasi dilakukan dengan mengambil air yang dipompa dari kolam penenang, untuk mengurangi tinggi pemompaan, seperti yang diterapkan di Colo, Sukoharjo. Pengambilan air menggunakan pipa yang dipasang paralel dengan pipa pesat. Keuntungan PATH versi Colo ini bisa menghemat energi potensial untuk pemompaan tetapi biaya lebih mahal karena ada tambahan instalasi pipa dan instalasi menjadi lebih ruwet



PATH versi Colo ini cocok diterapkan jika menggunakan turbin crossflow, dimana terjadi kehilangan energi setinggi Y (periksa Gambar 3) yang tidak bisa diambil lagi.



Gambar 3. Inovasi Pengambilan Air Pemompaan pada PATH

Jika besarnya debit pemompaan  $q_p$ , maka pengurangan energi turbin adalah

$$\Delta P_t = \eta_t H q_p \dots\dots\dots 11$$

$$\Delta P_p = \eta_p ((Y+H+Z) - Z) q_p \dots\dots\dots 12$$

$$\Delta P_p = \eta_p (Y+H) q_p \dots\dots\dots 13$$

Jika diasumsikan  $\eta_t = \eta_p$  maka besarnya penghematan energi adalah

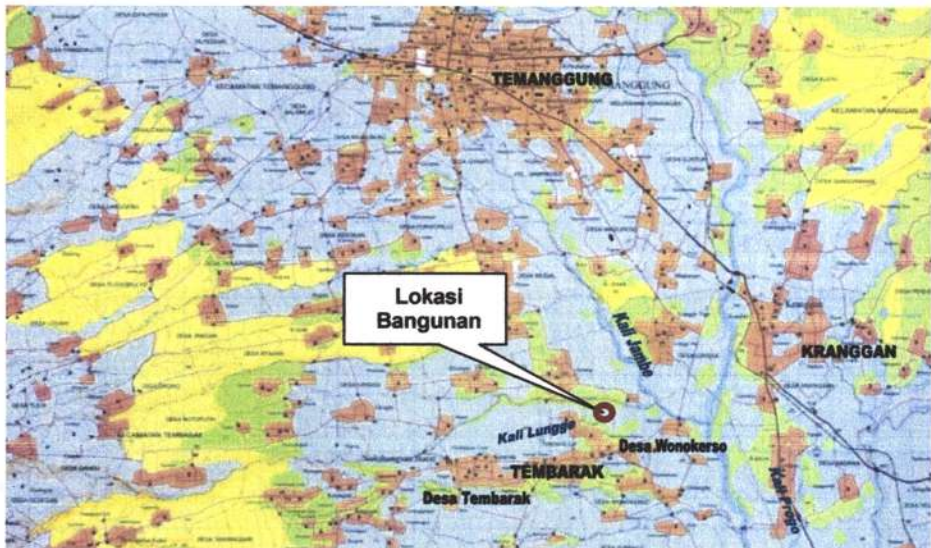
$$S = \Delta P_p - \Delta P_t = \eta_t Y q_p \dots\dots\dots 14$$

Pada prototipe di Temanggung ini dilakukan inovasi lagi dengan mengambil air pemompaan langsung dari pipa pesat pada posisi sebelum curat. Versi ini diharapkan dengan instalasi yang lebih ringkas tetapi masih tetap memaksimalkan energi potensial air dalam proses pemompaan.

## BAB III DESAIN PROTOTIPE

### 3.1. Lokasi

Lokasi yang diusulkan untuk dibangun bangunan pompa hidro berada dalam wilayah administrasi Desa Tembarak (berjarak sekitar 200 m sebelah hulu perbatasan dengan Desa Wonokerso), Kecamatan Tembarak, Kabupaten Temanggung. Lokasi ini berada pada penggal alur Kali Lungge, yang bermuara di alur Kali Jambe, anak Kali Progo (periksa Gambar 4).



Gambar 4. Lokasi Pembangunan PATH Wonokerso

### 3.2. Data Desain

#### 3.2.1. Kebutuhan dan Ketersediaan Air

Kebutuhan air baku untuk irigasi dihitung berdasarkan luas areal sawah dikalikan kebutuhan air spesifik dikalikan faktor kehilangan air (KP Irigasi) :

$$Q_r = q A / (1 - s) \dots\dots\dots 15$$

Keterangan :

- Q<sub>r</sub> : debit kebutuhan air [l/det]
- q : kebutuhan air irigasi spesifik [l/det/ha],  
untuk daerah Temanggung ini diambil q = 1,1 l/det/ha
- A : luas areal sawah [ha]
- s : koefisien kehilangan air, diambil 0,20

Posisi sawah yang bisa diairi dicek pada peta topografi dan peta google, sedangkan luasnya mengambil data yang ada di Desa Wonokerso.

### Analisis Ketersediaan Air

Ketersediaan air dinyatakan sebagai debit andalan Kali Lungge, yang didefinisikan sebagai debit 80% terpenuhi sepanjang waktu.

Jika tersedia data lengkap, debit andalan bisa diperoleh dari analisis kurva durasi, yaitu grafik hubungan antara besaran debit dengan frekwensi kejadiannya. Analisis tersebut sulit dilakukan berhubung tidak tersedia sama sekali data pengukuran aliran Kali Lungge. Analisis debit dengan transformasi hujan-debit juga tidak relevan mengingat debit aliran dasar Kali lungge berasal dari sebuah mata air yang tidak bisa ditentukan batasan DAS sumber air tersebut.

Berdasarkan kondisi di atas maka debit andalan diaproksimasi berdasarkan debit pengukuran sesaat pada musim kemarau. Pada pekerjaan ini dilakukan pengukuran dua kali, yaitu pada awal musim kemarau (agar segera diperoleh data) dan pada akhir musim kemarau (untuk mengoreksi data pertama).

### Analisis Kebutuhan Air Baku

Persawahan yang memerlukan air baku atau yang bisa diairi dari PATH dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Daerah Oncoran PATH Wonokerso

Persawahan yang mungkin diairi dari PATH Wonokerso dapat dibagi menjadi 2 bagian :

- a) Sawah dalam jaringan irigasi eksisting (Sicandi), dengan luas 36 ha.

Air yang dibutuhkan untuk mengairi sawah ini ( $Q_{rb}$ ):

$$Q_{rb} = 1,1 * 36 / 0,8 = 49,5 \text{ l/det dibulatkan menjadi } 50 \text{ l/det}$$

- b) Sawah di atas jaringan irigasi Sicandi, dengan luas 25 ha

Air yang dibutuhkan untuk mengairi sawah ini ( $Q_{ra}$ ):

$$Q_{ra} = 1,1 * 25 / 0,8 = 34,375 \text{ l/det dibulatkan menjadi } 35 \text{ l/det}$$

Berdasarkan analisis di atas maka diusulkan bahwa pompa hidro direncanakan untuk mensuplai air baku sebesar 50 l/det untuk sawah Daerah Irigasi Sicandi dan 35 l/det untuk pengembangan irigasi di atas Sicandi.

### Debit Andalan Kali Lungge

Pengukuran debit aliran dasar Kali Lungge yang dilakukan pada awal musim hujan, diperoleh hasil  $Q = 978 \text{ l/det}$ . Dari informasi penduduk bahwa di akhir musim kemarau debit Kali Lungge ini akan mengecil kira-kira setengahnya lebih dibandingkan debit saat pengukuran ini. Dengan pertimbangan informasi tersebut besarnya debit andalan diperkirakan sebesar 60% dari debit awal musim kemarau tersebut.

Jadi besarnya debit andalan ( $Q_a$ ) adalah :

$$Q_a = 0,6 * 978 = 587 \text{ l/det.}$$

Dengan catatan  $Q_a$  ini akan dikoreksi dengan pengukuran debit langsung pada akhir musim kemarau nanti.

Dengan demikian alokasi debit dapat dirancang sebagai berikut :

- Debit irigasi Sicandi : 50 l/det
- Debit irigasi sawah bagian atas : 35 l/det
- Debit turbin pompa Sicandi : 250 l/det
- Debit turbin pompa atas : 250 l/det

Jika realisasi nantinya ternyata ada kelebihan hasil pemompaan, kelebihan ini bisa dimanfaatkan untuk menunjang pengembangan pariwisata Desa Tembarak.

### 3.2.2. Analisis Hujan Rencana

Untuk analisis hujan rencana digunakan data hujan harian maksimum tahunan di stasiun hujan Parakan, dengan serial data hujan selama 11 tahun, dari tahun 1999 s/d 2009 sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Dihitung curah hujan harian rencana dengan metode Gumbel dengan rumus :

$$X_T = X_n + (Y_t - Y_n) * S_x / S_n \dots\dots\dots 16$$

Keterangan :

$X_T$  = besar curah hujan harian maksimum tahunan dengan periode ulang T tahun

$X_n$  = besar curah hujan harian maksimum tahunan rata-rata

$Y_t$  = *reduced variate*

$Y_n$  = *reduced mean*

$S_n$  = *reduced standard deviation*

$S_x$  = deviasi Standar

Tabel 1 Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan Stasiun Parakan

No.	Tahun	X (mm)	Data Urut (mm)
1	1999	115	224
2	2000	210	210
3	2001	175	186
4	2002	120	175
5	2003	158	158
6	2004	186	130
7	2005	123	123
8	2006	224	121
9	2007	121	120
10	2008	104	115
11	2009	130	104
Jml Data	N =	11	
Rerata	Xn =	151,45	mm
Deviasi std	S =	41,53	mm

Besarnya Yt dihitung dengan rumus :

$$Y_t = -\ln [-\ln ((T-1)/T)] \quad ; \text{ Untuk } T > 20, \text{ maka } Y_t = \ln T$$

dengan T adalah periode ulang (tahun) sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hubungan Periode Ulang (T) Dengan Reduksi Variat dari Variabel (Yt)

T	2	2,33	5	10	20	25	50	100
Yt	0,3665	0,5786	1,4999	2,2504	2,9702	3,1985	3,9019	4,6001

Besarnya Yn merupakan fungsi N seperti dinyatakan pada Tabel 3 berikut

Tabel 3 Hubungan *Reduced Variate* Rata-Rata (Yn) Dengan Jumlah Data (N)

N	Yn	N	Yn	N	Yn	N	Yn
10	0,4592	33	0,5388	56	0,5508	79	0,5567
11	0,4996	34	0,5396	57	0,5511	80	0,5569
12	0,5053	35	0,5402	58	0,5518	81	0,5570
13	0,5070	36	0,541	59	0,5519	82	0,5572
14	0,5100	37	0,5418	60	0,5521	83	0,5574
15	0,5128	38	0,5424	61	0,5524	84	0,5576
16	0,5157	39	0,543	62	0,5527	85	0,5578
17	0,5181	40	0,5436	63	0,5530	86	0,5580
18	0,5202	41	0,5442	64	0,5533	87	0,5581
19	0,5220	42	0,5448	65	0,5535	88	0,5583
20	0,5236	43	0,5453	66	0,5538	89	0,5585
21	0,5252	44	0,5458	67	0,5540	90	0,5586
22	0,5268	45	0,5463	68	0,5543	91	0,5587

N	Yn	N	Yn	N	Yn	N	Yn
23	0,5283	46	0,5468	69	0,5545	92	0,5589
24	0,5296	47	0,5473	70	0,5548	93	0,5591
25	0,5309	48	0,5477	71	0,5550	94	0,5592
26	0,5320	49	0,5481	72	0,5552	95	0,5593
27	0,5332	50	0,5485	73	0,5555	96	0,5595
28	0,5343	51	0,5489	74	0,5557	97	0,5596
29	0,5353	52	0,5493	75	0,5559	98	0,5598
30	0,5362	53	0,5497	76	0,5561	99	0,5599
31	0,5371	54	0,5501	77	0,5563	100	0,5600
32	0,5380	55	0,5504	78	0,5565		

Keterangan :

Yn = nilai rata-rata *reduced variate* yg nilainya tergantung dari jumlah data (N)

Dengan N = 11, maka Yn = 0,4996

Tabel 4 Perhitungan Distribusi Gumbel Secara Analitis

No.	Tahun	Curah Hujan X (mm)	X Urut (mm)	(Xn - X)	(Xn - X) <sup>2</sup>	(Xn - X) <sup>3</sup>	(Xn - X) <sup>4</sup>
1	1999	115	224	-72,55	5263	-381795	27697516
2	2000	210	210	-58,55	3428	-200669	11748238
3	2001	175	186	-34,55	1193	-41226	1424176
4	2002	120	175	-23,55	554	-13053	307347
5	2003	158	158	-6,55	43	-280	1836
6	2004	186	130	21,45	460	9875	211874
7	2005	123	123	28,45	810	23039	655551
8	2006	224	121	30,45	927	28246	860218
9	2007	121	120	31,45	989	31121	978889
10	2008	104	115	36,45	1329	48446	1766065
11	2009	130	104	47,45	2252	106864	5071206
	Total =		1666	0	17249	-389433	50722916

Xn = 151,455 mm      Yn = 0,4592

Sx = 41,5316 mm      Sn = 0,9676

CS = 0,66443      Sx/Sn = 42,92227

N = 11 tahun      CK = 1,859333

Dengan rumus distribusi Gumbel di atas diperoleh curah hujan harian rencana sebagai berikut.

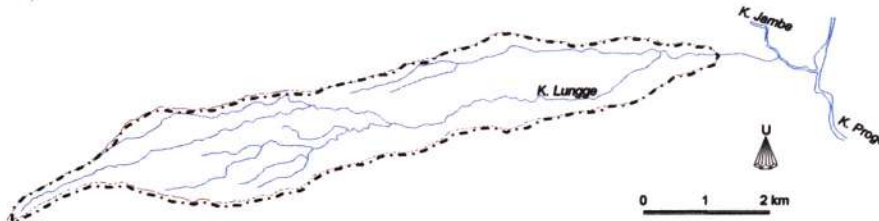
Tabel 5 Hasil analisis curah hujan

Periode Ulang (tahun)	Yt	Yn	Sx/Sn	Curah hujan harian rencana (mm)
2	0,3665	0,4592	42,9223	147
2,33	0,5786	0,4592	42,9223	157
5	1,4999	0,4592	42,9223	196
10	2,2504	0,4592	42,9223	228
20	2,9702	0,4592	42,9223	259
25	3,1985	0,4592	42,9223	269
50	3,9019	0,4592	42,9223	299
100	4,6001	0,4592	42,9223	329

### 3.2.3. Debit Banjir Rencana

#### Karakteristik DAS

Dari penelusuran peta rupa bumi dari Badan Koordinasi Survei Tanah dan Laut , untuk lembar peta Temanggung dan Parakan, diperoleh peta DAS Kali Lungge seperti disajikan dalam Gambar 6 berikut.



Gambar 6. DAS Kali Lungge

Karakteristik DAS Kali Lungge dapat dideskripsikan sebagai berikut :

- Kali Lungge bermula dari lereng Gunung Sumbing, di sisi Timur, dan bermuara di Kali Jambe, anak Kali Progo yang bermuara di Pantai Selatan Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Bentuk DAS Kali Lungge sempit memanjang dengan Luas DAS ( A ) hanya 12,37 km<sup>2</sup>, sementara panjang alur sungai (L) mencapai 12, 27 km
- Kemiringan alur sungai dominan = 0,030
- Jenis tanah berupa tanah geluh dengan tata guna lahan mayoritas sebagai lahan pertanian

**Analisis Debit**

Mengingat luas DAS kali Lungge hanya 12,37 km<sup>2</sup> maka analisis debit menggunakan metode rational, dengan rumus :

$$Q_T = 0,278 C I A \dots\dots\dots 17$$

Keterangan :

$Q_T$  = debit rencana dengan periode ulang T tahun [m<sup>3</sup>/det]

C = koefien limpasan, jenis tanah dan tata guna lahan

I = intensitas hujan rencana [mm/jam]

A = luas DAS [km<sup>2</sup>]

$$t_c = L/v \dots\dots\dots 18$$

$$v = 72 i^{0,6} \dots\dots\dots 19$$

$R_{24}$  = hujan harian rencana [mm]

$t_c$  = waktu konsentrasi [jam]

L = panjang aliran sungai

v = kecepatan rambatan banjir [km/jam]

C = 0,4 (DAS berupa pertanian dan tanah geluh)

Hasil hitungan ditampilkan dalam Tabet 6 berikut.

Tabel 6 Hasil analisis debit rencana

Periode Ulang [tahun]	Hujan Harian R24 [mm]	Kecepatan rambat v [km/jam]	Waktu konsentrasi tc [jam]	Intensitas hujan I [mm/jam]	Debit Rencana $Q_T$ [m <sup>3</sup> /det]
2	147	8,78	1,41	41	56
2,33	157	8,78	1,41	43	59
5	196	8,78	1,41	54	74
10	228	8,78	1,41	63	87
20	259	8,78	1,41	72	98
25	269	8,78	1,41	74	102
50	299	8,78	1,41	83	114
100	329	8,78	1,41	91	125

Untuk desain bangunan pendukung pompa hidro di Kali Lungge digunakan debit banjir  $Q_{50} = 114 \text{ m}^3/\text{det}$ .



### 3.3. Desain Turbin

#### 3.3.1 Umum

Kekurangan air irigasi di daerah irigasi Sicandi, Desa Wonokerso, sementara sumber air yang masih tersedia berada pada alur sungai yang posisinya sangat dalam dari elevasi sawah. Dengan adanya sumber energi yang berupa air terjun maka .

Pekerjaan desain turbin pompa hidro ini merupakan bagian utama dari pekerjaan studi awal penerapan pompa hidro tersebut. Dengan telah diselesaikannya desain bangunan sipil maka bisa diketahui tata letak instalasi hidromekanik dan tinggi energi yang tersedia untuk pembangkitan tenaga. Tata letak instalasi hidromekanik mengikuti tata letak bangunan sipil yang telah ditentukan sebelumnya. Namun demikian desain bangunan sipil juga harus mempertimbangkan kemungkinan optimasi tenaga air dan pemompaan.

Dari pertimbangan pemanfaatan air pemompaan di lapangan, maka direncanakan 2 pasang turbin-pompa, salah satu untuk melayani irigasi sawah eksisting seluas 36 ha dengan debit pemompaan 50 l/det., dan yang lainnya disediakan untuk pengembangan irigasi atau untuk pemanfaatan lainnya, dengan debit pemompaan 35 lt/det

Pekerjaan desain turbin ini bertujuan untuk mendapatkan desain instalasi hidromekanik pada penerapan pompa hidro di Desa Wonokerso, beserta perkiraan biaya konstruksi untuk mendukung proposal pembangunan pompa hidro di Desa Wonokerso tersebut.

#### 3.3.2 Kriteria Desain

- 1) Desain turbin mengacu pada buku *Small Scale Hydro-power Generation, Japanese Institute of Irrigation and Drainage, Volume 1 dan 2, March 1987.*
- 2) Penyaluran air dari bak penenang melalui pipa pesat tunggal dengan debit rencana 585 l/det, pada ujung hilir bercabang dua masing-masing mengarah ke turbin.
- 3) Pengambilan air pemompaan dari dalam pipa pesat, untuk memanfaatkan tinggi potensial energi air.
- 4) Turbin yang akan dipasang diadakan melalui pemesanan pada bengkel perakitan dalam negeri.

#### 3.3.3 Data Teknis

Data Teknis untuk mendesain turbin adalah sebagai berikut :

##### 1) Tinggi Energi dan Debit Rencana Mikro Hidro

Elevasi Inlet	= 100,43 m
Elevasi Turbin	= 89,00 m
Tinggi energi potensial (Ht)	= 100,43 -89,00 = 11,43 m
Debit andalan sungai	= 0,585 m <sup>3</sup> /s
Debit pipa pesat Qt	= 585 lt/det

Percabangan instalasi :

	Instalasi atas	Instalasi bawah
Q pipa cabang [m <sup>3</sup> /det]	0,285	0,300
Q turbin [m <sup>3</sup> /det]	0,250	0,250
Q pemompaan [m <sup>3</sup> /det]	0,035	0,050

	Instalasi atas	Instalasi bawah
H bruto turbin [m]	11,43	11,43
H bruto pompa [m]	32,00	19,00

*Penstock*

Panjang total	39 m
Large elbow	2 titik
Cabang	1 titik

### 3.3.4 Pemilihan turbin

Pemilihan jenis turbin menggunakan kriteria sebagai berikut :

a. Kecepatan spesifik *runner* maximum

Kecepatan spesifik *runner* maximum untuk berbagai jenis turbin dapat dihitung dengan rumus dari buku *Manual Small Scale Hydro-power Generation, Japanese Institute of irrigation and drainage*, Volume 1 dan 2, Maret 1987.

No.	Jenis turbin	Kriteria kesesuaian	Besaran kriteria
1	Pelton	$N_s \max \leq 85,49 H^{-0,243}$	47,32465
2	Cross-flow	$N_s \max \leq 650 H^{-0,5}$	192,5134
3	Francis	$N_{s\max} \leq 30 + [20000/(H+20)]$	666,9427
4	Propeller	$N_{s\max} \leq 50 + [20000/(H+20)]$	686,9427

b. Batas kecepatan spesifik *runner* ijin

Turbin Pelton:	$12 \leq N_s \leq 25$
Turbin Cross-Flow	$40 \leq N_s \leq 200$
Turbin Francis	$60 \leq N_s \leq 300$
Turbin Propeller	$250 \leq N_s \leq 1000$

c. Penilaian kesesuaian

Jenis turbin	Kecep. spesifik <i>runner</i> ijin	Ns Max	Keterangan
Pelton	[12 s/d 25]	$\leq 47,74$	Tidak sesuai
Cross-flow	[40 s/d 200]	$\leq 195,98$	sesuai
Francis	[60 s/d 300]	$\leq 675,16$	Tidak sesuai
Propeller	[250 s/d 1000]	$\leq 695,16$	sesuai

Dari Tabel di atas bisa terlihat bahwa turbin yang sesuai untuk diterapkan Pembangkit Tenaga Air di Wonokerso ini adalah turbin *cross flow* dan turbin *propeller*. Mengingat struktur hidraulik turbin *cross flow* lebih sederhana dan lebih masif, lebih cocok untuk diterapkan di masyarakat perdesaan meskipun tipe *propeller* efisiensinya lebih unggul.

Dengan pertimbangan prihal tersebut di atas maka dipilih turbin tipe *cross flow*

### 3.3.5 Dimensi Pipa Pesat/Penstok

Perkiraan tinggi efektif  $H_{max} = H_t \times 2/3 = 7,333 \text{ m}$

Kecepatan aliran optimum dalam pipa pesat dihitung dengan menggunakan rumus dari USBR sebagai berikut :

$$v = 0,125 (2 g H_{max})^{0,5} = 1,499 \text{ m/det}$$

Dengan menggunakan persamaan dari USBR, dapat dihitung diameter pipa pesat sebagai berikut :

$$D = 4 Q / (p v) \dots\dots\dots 20$$

Didapat  $D = 0,704998172 \text{ m}$

Dengan pertimbangan bahwa lebih sering dioperasikan 1 turbin maka dipakai  $D = 0,60 \text{ m}$  dengan kecepatan optimum :

$$v_{opt} = 1,521 \text{ m/det}$$

Tekanan hidrostatik maksimum  $H_{st} = 11,43 \text{ t/m}^2 = 1,143 \text{ kgf/cm}^2$

Perhitungan ketebalan minimum pipa pesat

Rumus yang dipakai

$$t_o = \frac{P D}{2 \sigma \eta} + \delta t \dots\dots\dots 21$$

Keterangan :

- $t_o$  = ketebalan minimum pipa baja (cm)
- $P$  =  $1,1 \times H_{st}$
- $D$  = diameter dalam baja (cm)
- $\sigma$  = tegangan ijin (kgf/cm<sup>2</sup>) = Baja SS 400 = 1300 kgf/cm<sup>2</sup>
- $\eta$  = efisiensi pengelasan (0,85 ~ 0,9)
- $\delta t$  = margin bawah, umumnya 0,15 cm

diperoleh  $t_o = 0,188 \text{ cm}$

Untuk menghindari kerusakan pipa akibat pengangkatan, peletakan dan tumbukan diambil  $t_o = 5 \text{ mm}$

### 3.3.6 Dimensi Turbin

Analisa tinggi energi hidraulik efektif penggerak turbin ini dilakukan dengan menggunakan data sebagai berikut :

Debit desain	: 0,585 m <sup>3</sup> /det
Kecepatan optimum	: 1,521 m/det
Tinggi energi total	: 11,43 m
Diameter Pipa Pesat	: 0,60 m
Panjang Pipa Pesat	: 42 m

Kehilangan energi sepanjang pipa pesat,  $h_{sp-p}$  dihitung sebagai berikut :

- 1) Kehilangan energi pada inlet pipa pesat,  $h_{in}$  :

$$h_{in} = D_{in} \cdot v^2 / 2g = 0,7 \cdot v_o^2 / (2 \cdot 9,8) = 0,083 \text{ m}$$

- 2) Kehilangan energi pada 2 belokan 45° sepanjang pipa pesat,  $h_b$  :

$$\text{Belokan, } f_b = 0,08$$

$$h_b = n \cdot f_b \cdot v^2 / 2g = 2 \cdot 0,08 \cdot \{v_o^2 / (2 \cdot 9,8)\} = 0,019 \text{ m}$$

- 3) Kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa pesat,  $h_{gs}$  :

$$\text{Pipa Plat Baja : } k_s = 0,045 \text{ mm ; } k_s/D = 0,000643$$

$$R_e = D v / \nu = 0,8 \cdot 0,995 / (1,003 \cdot 10^{-6}) = 793619$$

$$\text{Dari Grafik Moody diperoleh } f_{gs} = 0,014$$

$$h_{gs} = f_{gs} \cdot L \cdot v^2 / (2gD) = 0,014 \cdot 20,33 \cdot v_o^2 / (2 \cdot 9,8 \cdot D_{in}) = 0,032 \text{ m}$$

- 4) Kehilangan energi pada Nozel pipa pesat,  $h_n$  :

$$h_n = \{ (1/C_v^2) - 1 \} \cdot v_n^2 / 2g ; \text{ dengan } C_v = 0,95$$

$$\text{maka } h_n = 0,005506281 v_n^2$$

$$v_n^2 = 2g \cdot (H_t - h_{in} - h_b - h_{gs} - h_n)$$

$$h_{in} + h_b + h_{gs} = 0,133$$

$$H_t - h_{in} - h_b - h_{gs} = 11,43 - 0,133 - 0,019 - 0,032 = 11,297 \text{ m}$$

$$v_n^2 = 19,6 \cdot (11,31139 - 0,0055063 v_n^2)$$

$$v_n^2 = 221,676 - 0,107923 v_n^2$$

$$v_n = 14,145 \text{ m/s}$$

$$h_n = 1,102 \text{ m}$$

Kehilangan energi sepanjang pipa pesat :  $h_{sp-p} = h_{in} + h_b + h_{gs} + h_n = 1,235 \text{ m}$

Tinggi Energi Efektif,  $H = H_t - h_{sp-p} = 9,765 \text{ m}$

Daya (P) =  $\eta H Q = 0,8 \cdot 9,765 \cdot 0,5 = 3,906 \text{ tm/det} = 38,319 \text{ kW}$

Lebar saluran pelepas (*tailrace*) sama dengan lebar *runner*, dihitung dengan cara berikut :

Lebar *runner* (lebar saluran pelepas) yang diperlukan

$$B_o = \frac{Q_d}{0,8 D \sqrt{H_e}} \dots\dots\dots 22$$

Diperoleh  $B_o = 0,6136 \text{ m}$

diambil lebar *runner* = 0,60 m

Tinggi runer  $Q = 1/n A R^{2/3} (I)^{1/2}$

$$n = 0,0165$$

$$A = 0,6 h$$

$$R = 0,6h / (0,6 + 2h)$$

$$I = 0,002$$

sehingga  $0,250 = 1/0,0165 (0,6 h) (0,6 h/(0,6+2h))^{2/3} (0,0003)^{0,5}$

Diperoleh  $h = 0,5$  m

Cek kecepatan aliran  $= Qd/(h Bo) = 0,833$  m/det aman untuk pasangan batu dimensi tailrace/pelepas  $= 2 \times (0,6 \times 0,5)$  m

### 3.3.7 Daya Aliran Air dan Daya Turbin

**Daya aliran air :**

Dengan debit desain masing-masing  $Q_d = 0,25$  m<sup>3</sup>/det dan tinggi energi efektif,  $H = 9,765$  m, besarnya daya dari aliran air dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = 2 \times (\rho g Q H) = 2 * 1000 * 9,8 * 0,25 * 9,765 = 47849,72237 \text{ watt} = 47,85 \text{ kW}$$

**Daya Turbin**

Dengan efisiensi turbin  $\eta_t = 0,75$ , maka daya yang dihasilkan turbin adalah :

$$P_t = \eta_t \rho g Q H = 35,89 \text{ kW}$$

### 3.3.8 Dimensi Pipa Napas/Pipa Pelepas Tekan

Diameter dalam pipa napas/pelepas tekan dengan persamaan :

$$D = 0,0068 \left( \frac{P^2 L}{H^2} \right)^{0,273} \dots\dots\dots 23$$

(Sumber, Sarkaria, G.S. "Quick Design of Air Vents for Power Intakes", Proc. A.S. C.E vol 85, No PO.6, Des 1959)

- Dimana  $P =$  Output daya turbin (Kw)
- $L =$  Panjang Pipa Napas (m)
- $H =$  tinggi energi (m)
- $D =$  Diameter dalam pipa napas

Pada perencanaan ini  $L = 2$  m;  $P = 35,89$  Kw dan  $H = 9,765$  m.

$$D = 0,016723247 \text{ m}$$

Diambil pipa diameter 1"

### 3.4. Desain Pompa

Dalam perencanaan ini untuk menghindari kehilangan energi yang besar akibat gesekan, maka diameter pipa hisap dan pipa tekan dari pompa ke bak penampungan air (+ 100,21) ditentukan sebagai berikut :

**Instalasi atas :**

$$D_{\text{pipa hisap}} = 8 \text{ inch}$$

$$D_{\text{pipa tekan}} = 6 \text{ inch}$$

**Instalasi bawah :**

$$D_{\text{pipa hisap}} = 8 \text{ inch}$$

$$D_{\text{pipa tekan}} = 8 \text{ inch}$$

Disamping itu untuk menghindari kehilangan energi yang besar baik pada pipa hisap ke pompa maupun pipa tekan dari pompa ke bak penampungan, dilakukan penataan jalur pipa-pipa tersebut sedemikian rupa sehingga jumlah belokan diusahakan sesedikit mungkin.

Analisa daya pompa yang diperlukan:

### 1) Pompa atas

$$\text{Debit pompa ditetapkan : } 35 \text{ lt/det} = 0,035 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Tinggi energi static (h}_{st}) = 31 \text{ m}$$

$$\text{Beda Elevasi muka air Bak Penenang – As Pompa} = H_e = 9,765 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pipa suplai ke pompa} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pipa tekan dari pompa ke tampungan} = 66 \text{ m}$$

Kehilangan energi sepanjang pipa hisap, dihitung sebagai berikut :

$$D_{ph} = 8 \text{ inch} = 0,2032 \text{ m}$$

$$A_{ph} = 0,032 \text{ m}^2$$

$$v_{ph} = 1,080 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kehilangan energi pada inlet pipa hisap:  $f_i=0,8$ .  $h_i = f_i v^2/2g$

$$\text{didapat } h_i = 0,048 \text{ m}$$

Kehilangan energi pada belokan  $h_b = f_b \cdot V^2/2 \cdot g$

$$\text{Belokan } 45^\circ, 2 \text{ buah ; } f_{b1} = 0,09$$

$$\text{didapat } h_{b1} = 0,005 \text{ m}$$

$$\text{Belokan } 90^\circ, 2 \text{ buah ; } f_{b1} = 0,14$$

$$\text{didapat } h_{b1} = 0,008 \text{ m}$$

Kehilangan energi akibat gesekan  $h_{gs} = f_{gs} L/D v^2/2g$  :

$$\text{Pipa Besi Ductile, } k_s = 0,03 \text{ mm ; } k_s/D_{ph} = 0,000148$$

$$R_e = v_{ph} D_{ph}/\nu = 219419$$

$$\text{Dari Grafik Moody didapat } f_{gs} = 0,013$$

$$\text{maka } h_{gs} = 0,015 \text{ m}$$

Kehilangan energi akibat 1 buah katup searah :  $F_p=0,2$

$$\text{maka } h_v = 0,012 \text{ m}$$

Kehilangan energi total pipa hisap :  $h_{pht} = 0,088 \text{ m}$

Kehilangan energi sepanjang pipa tekan, dihitung sebagai berikut :

$$\text{Debit pompa ditentukan : } 35 \text{ lt/det} = 0,035 \text{ m}^3/\text{det}$$

Volume bak penampungan =  $1 \text{ m}^3$

Tinggi energi statik ( $h_{st}$ ) = 42 m

Kehilangan energi sepanjang pipa tekan, dihitung sebagai berikut :

$$D_{ph} = 6 \text{ inch} = 0,1524 \text{ m}$$

$$A_{ph} = 0,0182 \text{ m}^2$$

$$v_{ph} = 1,920 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kehilangan energi pada belokan

Kehilangan energi pada belokan  $h_b = f_b \cdot v^2/2 \cdot g$

Belokan  $60^\circ$ , 2 buah ;  $f_{b1} = 0,12$

didapat  $h_{b1} = 0,007 \text{ m}$

Belokan  $90^\circ$ , 4 buah ;  $f_{b1} = 0,14$

didapat  $h_{b2} = 0,008 \text{ m}$

Kehilangan energi akibat gesekan  $h_{gs} = f_{gs} L/D v^2/2g$

Pipa Besi Ductile,  $k_s = 0,03 \text{ mm}$  ;  $k_s/D_{ph} = 0,000197$

$$R_e = v_{ph} D_{ph}/\nu = 292559$$

Dari Grafik Moody didapat  $f_{gs} = 0,014$

Didapat  $h_{gs} = 1,139 \text{ m}$

Kehilangan energi akibat 1 buah katup searah :  $F_p = 0.2$

maka  $h_v = 0,038 \text{ m}$

Kehilangan energi total pipa tekan :  $h_{ptt} = 1,192 \text{ m}$

Total Tinggi Energi Pompa yang diperlukan :  $H_{pompa} = h_{st} + h_{ph} + h_{ptt} = 33,515 \text{ m}$

Daya Pompa Yang Diperlukan :

$$P_{pompa} = \rho g Q_{pompa} H_{pompa} = 12290 \text{ watt} = 12,29 \text{ kW}$$

Dengan menganggap efisiensi transmisi dari turbin ke pompa dengan menggunakan V-Belt dengan  $\eta_{vbelt} = 0,98$ , dan efisiensi pompa  $\eta_{pompa} = 0,8$ , maka daya turbin yang diperlukan untuk menggerakkan pompa :

$$P_t = P_{pompa} / (\eta_{pompa} * \eta_{vbelt}) \dots\dots\dots 24$$

Diperoleh  $P_t = 15,68 \text{ kW}$

Jadi  $15,68 = 1 * 9,8 * Q * 9,765$

Di dapat  $Q = 0,164 \text{ m}^3/\text{det} \rightarrow$  tersedia  $0,250 \text{ m}^3/\text{det}$  (cukup)

## 2) Pompa bawah

Debit pompa ditetapkan : 50 lt/det = 0,05 m<sup>3</sup>/det

Tinggi energi static ( $h_{st}$ ) = 18 m

Beda Elevasi muka air Bak Penenang – As Pompa =  $H_e$  = 9,765 m

Panjang pipa suplai ke pompa = 4 m

Panjang pipa tekan dari pompa ke tampungan = 44 m

Kehilangan energi sepanjang pipa hisap, dihitung sebagai berikut :

$$D_{ph} = 8 \text{ inch} = 0,2032 \text{ m}$$

$$A_{ph} = 0,032 \text{ m}^2$$

$$v_{ph} = 1,543 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kehilangan energi pada inlet pipa hisap:  $f_i=0,8$ .  $h_i = f_i v^2/2g$

didapat  $h_i = 0,048 \text{ m}$

Kehilangan energi pada belokan  $h_b = f_b \cdot v^2/2 \cdot g$

Belokan 45°, 2 buah ;  $f_{b1} = 0,09$

didapat  $h_{b1} = 0,005 \text{ m}$

Belokan 90°, 2 buah ;  $f_{b1} = 0,14$

didapat  $h_{b1} = 0,008 \text{ m}$

Kehilangan energi akibat gesekan  $h_{gs} = f_{gs} L/D v^2/2g$  :

Pipa Besi Ductile,  $k_s = 0,03 \text{ mm}$  ;  $k_s/D_{ph} = 0,000148$

$$R_e = v_{ph} D_{ph}/\nu = 313456$$

Dari Grafik Moody didapat  $f_{gs} = 0,013$

maka  $h_{gs} = 0,031 \text{ m}$

Kehilangan energi akibat 1 buah katup searah :  $F_p = 0,2$

maka  $h_v = 0,024 \text{ m}$

Kehilangan energi total pipa hisap :  $h_{pht} = 0,117 \text{ m}$

Kehilangan energi sepanjang pipa tekan, dihitung sebagai berikut :

Debit pompa ditentukan : 50 lt/det = 0,05 m<sup>3</sup>/det

Tinggi energi static ( $h_{st}$ ) = 42 m

Kehilangan energi sepanjang pipa tekan, dihitung sebagai berikut :

$$D_{ph} = 8 \text{ inch} = 0,2032 \text{ m}$$

$$A_{ph} = 0,0182 \text{ m}^2$$

$$v_{ph} = 1,5430 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kehilangan energi pada belokan



Kehilangan energi pada belokan  $h_b = f_b \cdot v^2/2g$

Belokan  $60^\circ$ , 2 buah ;  $f_{b1} = 0,12$

didapat  $h_{b1} = 0,007m$

Belokan  $90^\circ$ , 4 buah ;  $f_{b1} = 0,14$

didapat  $h_{b2} = 0,008 m$

Kehilangan energi akibat gesekan  $h_{gs} = f_{gs} L/D v^2/2g$

Pipa Besi Ductile,  $k_s = 0,03 mm$  ;  $k_s/D_{ph} = 0,000148$

$Re = v_{ph} D_{ph}/\nu = 313456$

Dari Grafik Moody didapat  $f_{gs} = 0,014$

Didapat  $h_{gs} = 0,368 m$

Kehilangan energi akibat 1 buah katup searah :  $F_p = 0.2$

maka  $h_v = 0,024 m$

Kehilangan energi total pipa tekan :  $h_{ptt} = 0,407 m$

Total Tinggi Energi Pompa yang diperlukan :  $H_{pompa} = h_{st} + h_{pht} + h_{ptt} = 19,759 m$

Daya Pompa yang diperlukan :

$$P_{pompa} = \rho g Q_{pompa} H_{pompa} = 6784 \text{ watt} = 6,78 \text{ kW}$$

Dengan menganggap efisiensi transmisi dari turbin ke pompa dengan menggunakan V-Belt dengan  $\eta_{vbelt} = 0,98$ , dan efisiensi pompa  $\eta_{pompa} = 0,8$ , maka daya turbin yang diperlukan untuk enggerakkan pompa :

$$P_t = P_{pompa} / (\eta_{pompa} * \eta_{vbelt})$$

Diperoleh  $P_t = 8,653 \text{ kW}$

Jadi  $8,653 = 1 * 9,8 * Q * 9,765$

Di dapat  $Q = 0,090 \text{ m}^3/\text{det} \rightarrow$  tersedia  $0,250 \text{ m}^3/\text{det}$  (cukup)

### 3.5. Kapasitas Turbin dan Pompa

Untuk keperluan pemesanan pompa di pabrikan, termasuk perkiraan harga, disajikan data spesifik kapasitasnya, sedangkan desain dimensi turbin dan pemilihan pompa diserahkan pada pihak pabrikan.

Spesifikasi turbin dan pompa :

- 1) Untuk instalasi atas :
  - Debit turbin : 250 l/det
  - Tinggi energi efektif : 9,77 m
  - Debit pemompaan : 35 l/det
  - Tinggi energi pemompaan : 33, 52 m
- 2) Untuk instalasi bawah :
  - Debit turbin : 250 l/det

- Tinggi energi efektif : 9,77 m
- Debit pemompaan : 50 l/det
- Tinggi energi pemompaan : 19,76 m

### **3.6. Desain Bangunan Sipil**

#### **3.6.1 Umum**

Bangunan pembangkit tenaga air selalu membutuhkan bangunan sipil selain instalasi hidromekaniknya. Bangunan sipil ini fungsinya untuk mengatur aliran air agar bisa ditangkap energinya dan untuk meletakkan instalasi hidromekanik. Pada berbagai kasus bangunan sipil pada bangunan pembangkit tenaga air lebih besar volumenya dibandingkan instalasi hidromekanik. Dengan demikian seolah-olah bangunan sipil menjadi lebih utama dibandingkan instalasi hidromekanik, meskipun komponen utama pembangkit tenaga air adalah turbin.

Pada bangunan pompa hidro di Temanggung, bangunan sipil yang harus dibangun terdiri dari bendung penangkap air, pintu sadap, saluran pembawa, kolam penenang, dan rumah turbin. Fungsi bangunan-bangunan tersebut adalah :

- Fungsi bendung untuk mengarahkan air agar pada aliran kecil air bisa masuk ke pintu sadap
- Fungsi pintu sadap untuk menyadap dan mengontrol aliran air yang akan dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga.
- Fungsi saluran pembawa adalah untuk menyalurkan air pembangkit dari pintu sadap ke kolam penenang.
- Fungsi kolam penenang adalah untuk mengendapkan sedimen yang terangkut dalam aliran air pembangkit sebelum dimasukkan kedalam pipa pesat.
- Fungsi rumah turbin adalah untuk meletakkan instalasi turbin dan pompa air pada posisi yang sesuai, dengan kondisi stabil dan aman terhadap arus banjir dan gangguan tindakan kriminal.

Mengingat dominannya biaya konstruksi bangunan sipil pada bangunan pompa hidro ini, maka dalam mendesain harus mendasarkan pada unsur ekonomis disamping persyaratan teknis yang harus dipenuhi.

Desain bangunan sipil ini bertujuan untuk mendapatkan desain bangunan sipil pendukung bangunan pompa hidro, yang bersama dengan desain instalasi hidromekaniknya akan digunakan untuk mendukung proposal penerapan bangunan pompa hidro di Desa Wonokerso, Kecamatan Tembarak, Kabupaten Temanggung.

Sebagai pendukung proposal maka desain ini harus dilanjutkan sampai dengan perhitungan rencana anggaran dan biaya.

#### **3.6.2 Kriteria Desain**

Secara umum desain harus mengacu pada Standar Nasional yang ada termasuk Kriteria Perencanaan Irigasi Volume 2, tentang Bendung Penangkap Air.

Secara khusus desain harus mempertimbangkan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Menghindari keharusan membebaskan tanah untuk pembangunan.
- 2) Posisi bangunan harus aman dari terjangan banjir
- 3) Tidak menimbulkan perusakan lingkungan sungai.

### 3.6.3 Desain Bendung Penangkap Air

Dari evaluasi peta situasi alur sungai di sekitar air terjun, dan berbagai pertimbangan hidraulik serta pelaksanaan konstruksi nantinya, diambil ketentuan sebagai berikut.

- 1) As bendung diletakkan pada jarak 30 m di hulu terjunan, dengan pertimbangan bahwa pada lokasi ini dasar sungai kurang terjal, dan cukup lebar untuk meletakkan pintu sadap dan untuk mengurangi tinggi peluapan di atas bendung.
- 2) Bendung hanya difungsikan untuk mengontrol aliran air sungai ke pintu sadap, bukan untuk menaikkan muka air sampai ketinggian tertentu, dengan pertimbangan bahwa makin tinggi bendung makin besar risiko kerusakan struktur dan makin tinggi biaya konstruksinya.
- 3) Bangunan saluran pembawa dan pipa pesat diletakkan menempel di sisi tebing agar tidak memerlukan pembebasan tanah dan posisi bangunan masih terhindar dari arus utama banjir.

Dari ketentuan di atas dan dari data pendukung yang sudah ditetapkan sebelumnya, bisa disajikan data desain bendung sebagai berikut.

- Debit banjir rencana ( $Q_d$ ) = $Q_{50}$	: 114,00	$m^3/det$
- Elevasi dasar sungai rata-rata ( $Z_0$ )	: 100,00	m
- Elevasi mercu (muka air normal) ( $Z_n$ )	: 100,70	m
- Bentang bendung ( $B_b$ )	: 14,00	m
- Tinggi ambang bendung ( $P$ ) = $Z_n - Z_0$	: 0,70	

Tinggi peluapan dihitung dengan rumus

$$Q_d = m B_b g^{0.5} h_c^{1.5} \dots\dots\dots 25$$

Keterangan :

$m$	= koefisien peluapan	: 1,25
$g$	= gravitasi	: 9,81
$h_c$	= tinggi air di atas mercu	

$$104 = 1,2 \times 14 \times 9,81^{0.5} \times h_c^{1.5}$$

$$\text{didapat } h_c = 1,63 \text{ m}$$

Tinggi energi pembendungan (H)

$$H = 1,5 h_c = 2,44 \text{ m}$$

Tinggi pembendungan [Y]

$$Y = H - v^2/(2g) \dots\dots\dots 26$$

dengan v adalah kecepatan aliran banjir :

$$v = Q_d / (B_b (Y+P)) \dots\dots\dots 27$$

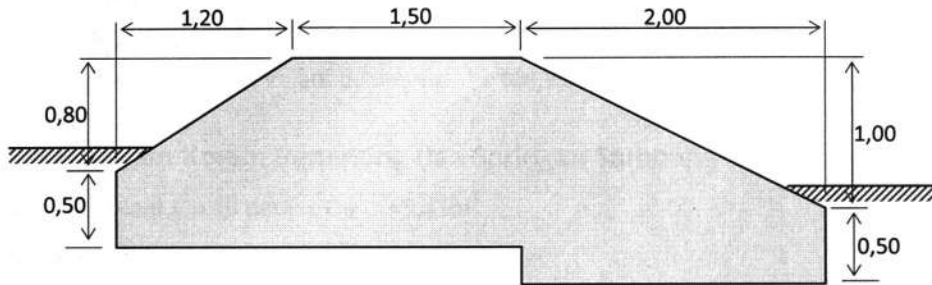
$$Y = 2,44 - (114/14(Y+0,7))^2/18,62$$

Sehingga diperoleh  $Y = 1,97 \text{ m}$

dengan *freeboard* diambil 0,33 m

Maka elevasi puncak dinding 103.00 m

Bentuk tubuh bendung didesain aman terhadap benturan batu yang hanyut dalam banjir. Untuk ini kemiringan lereng dibuat landai dan tanpa lantai bawah. Dengan bentuk landai ini maka tubuh bendung akan sangat stabil terhadap tekanan hidrostatik maupun hidrodinamik. Potongan tubuh bendung didesain sebagaimana disajikan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Penampang Tubuh Bendung

Tinjauan stabilitas terhadap piping :

panjang lintasan air (dengan teori Lane) =  $0,6 + 2,7/3 + 0,2 + 2/3 = 2,4$  m

kemiringan garis rembesan =  $0,7/2,4 = 1 : 3,4$  (kurang dari  $1 : 2,8$ ) --> aman.

### 3.6.4 Desain Bangunan Sadap

Desain lebar ambang sadap :

Kapasitas mulut sadap  $Q_s = 1,2 \times$  debit pengambilan =  $1,2 \times 0,585 = 0,702 \text{ m}^3/\text{det}$

Tinggi kecepatan di atas ambang intake = 0,050 m

Elevasi ambang intake = 100,20 m

Tinggi aliran di atas ambang intake = 0,450 m

Kecepatan aliran =  $(2 \times 9,81 \times 0,05)^{0,5} = 0,990 \text{ m/det}$

Lebar ambang intake [Bi] = 1,575 m

Diambil  $B_i = 1,60$  m

### 3.6.5 Desain Saluran Pembawa

Saluran pembawa dari pasangan batu diplester dengan bentuk persegi empat

Lebar saluran = lebar pintu [b] = 0,75 m

Tinggi aliran (h) = 0,50 m

Headloss pada pintu diambil = 0,02 m

Elevasi muka air di hilir pintu = 100,63 m

Elevasi dasar pintu = 100,13 m

Kecepatan aliran [vs] = 1,56 m

Panjang saluran pembawa [L] = 16 m  
 Koefisien manning dinding saluran = 0,02  
 Kemiringan saluran [I] dihitung dengan rumus:

$$Q_a = b h n^{-1} (b h / (b+2h))^{2/3} I^{0,5} \dots\dots\dots 28$$

Diperoleh I = 0,0076  
 Beda tinggi saluran pembawa = 0,12 m  
 Elevasi muka air kolam penenang = 100,51 m

### 3.6.6 Desain Kolam Penenang dan Saringan Sampah

Volume kolam V = 10 detik x Qa = 5,85m<sup>3</sup>

Diambil :

Lebar kolam [Bk] = 2 m  
 Panjang kolam [Lk] l = 3 m  
 Kedalaman air kolam (Yk) = 1.00 m

### 3.6.7 Desain Saringan Sampah

Kisi-kisi vertikal dengan tebal [ds] = 0,003 m  
 Jarak kisi-kisi saringan [as] = 0,02 m  
 Tinggi saringan [Ys] = 0,80 m  
 Lebar saringan [bs] = 1,00 m

Kehilangan energi yang terjadi :

$$S = \beta \sin \alpha (d_s/a_s)^{4/3} v^2 / (2g) \dots\dots\dots 29$$

Keterangan :

$\beta$  = koefisien bentuk kisi = 1,79 untuk bentuk segiempat  
 v = kecepatan aliran di depan kisi = 0,731 m/det  
 $\alpha$  = sudut batang kisi-kisi terhadap horizontal 90<sup>0</sup>

$$S = 1,79 \times \sin 90^0 (0,01/0,02)^{4/3} \times 0,731^2 / 19,62 = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi muka air pada mulut pipa pesat} = 100,49 \text{ m}$$

Kehilangan energi pada intake pipa pesat yaitu:

$$D_H = 0,150 \text{ m} + 0,035 \text{ m} = 0,186 \text{ m}$$

### 3.6.8 Desain Rumah Turbin

Sehubungan dengan letak rumah pompa berada di dasar terjunan sehingga sangat rawan terhadap hantaman banjir dan benturan batu, maka struktur rumah pompa dibuat dari beton bertulang, baik dinding maupun atapnya.

Luas lantai ditentukan oleh komponen alat yang diletakkan di dalamnya, yang mencakup :

- 2 (dua) buah turbin lengkap dengan interface dan polley, dengan ukuran sekitar 1,00 x 0,8 m
- 2 (dua) buah pompa dengan ukuran sekitar 0,40 x 0,60 m
- 2 (dua) pasang Pipa air ke pompa

Untuk menampung peralatan di atas diperlukan rumah pompa dengan ukuran :

- Dimensi lantai 3,5 x 4,40 m.
- Tinggi rumah diambil 2,4 m.
- Elevasi lantai diletakkan 0,40 m di atas muka air hilir,

## **BAB IV KONSTRUKSI**

### **4.1 Umum**

Konstruksi bangunan PATH Wonokerso dilaksanakan secara swakelola oleh Balai Sungai bersama Pemerintah Desa Wonokerso, dengan peran masing-masing sebagai berikut :

- 1) Dana pembangunan yang berupa pengadaan peralatan, pengadaan bahan bangunan, dan upah tenaga dialokasikan di DIPA Satuan Kerja Balai Sungai Tahun Anggaran 2014.
- 2) Pembebasan lahan untuk jalur pipa suplai, tangga akses dan jalur pipa pesat dilaksanakan oleh Pemerintah Desa Wonokerso
- 3) Pelaksana lapangan ditangani oleh perangkat Desa Wonokerso dibantu petugas Balai Sungai
- 4) Supervisi dilaksanakan oleh Petugas Balai Sungai.
- 5) Tukang dan pembantu tukang merekrut dari warga masyarakat Desa Wonokerso
- 6) Beberapa pekerjaan yang membutuhkan banyak tenaga kerja dilaksanakan secara bergotong royong oleh warga masyarakat Desa Wonokerso, khususnya warga Dusun Candi, masyarakat yang paling banyak menerima manfaat.

Dalam pelaksanaan konstruksi, desain PATH Wonokerso ini banyak mengalami perubahan karena kondisi medan yang rumit dan berbatu serta adanya rencana pengembangan pariwisata Curug Ketitang dan Pompa Hidro. Perubahan yang signifikan terjadi akibat adanya penggeseran posisi intake beserta saluran pembawa, kolam penenang dan pipa pesat ke arah masuk tebing yang mengakibatkan :

- 1) Tubuh bendung menjadi lebih panjang
- 2) Pipa pesat diletakkan dalam tebing
- 3) Kolam Penenang menjadi kecil karena terbentur batuan monolit yang sulit dibongkar.

### **4.2 Lingkup Pekerjaan**

Pekerjaan konstruksi PATH Wonokerso meliputi :

#### **1) Sosialisasi**

Sosialisasi pembangunan PATH di Wonokerso perlu dilakukan untuk memberikan informasi akan adanya pembangunan pompa hidro dan penjelasan tentang pompa hidro serta untuk mengetahui respon masyarakat terhadap pembangunan PATH. Sosialisasi diselenggarakan di Balai Desa Wonokerso, dihadiri oleh segenap perangkat dan warga masyarakat Desa Wonokerso, perangkat Kecamatan Tembarak dan Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Temanggung.

Untuk mendukung pengembangan pariwisata Curug Ketitang, diminta pada saat-saat tertentu turbin tidak dioperasikan dan air terjun dihidupkan.

#### **2) Pengadaan barang**

Pengadaan barang pada konstruksi PATH Wonokerso dilakukan secara kontraktual oleh pihak kedua, yang mencakup :

- a) Pengadaan turbin

- b) Pengadaan pompa air
- c) Pengadaan pipa pesat

### 3) Persiapan dan pembersihan

Pekerjaan persiapan dan pembersihan mencakup :

- a) Pembebasan lahan oleh pemerintah Desa Wonokerso
- b) Peminjaman rumah penduduk terdekat untuk difungsikan sebagai direksi kit dan gudang penyimpanan bahan, dengan kompensasi biaya oleh Balai Sungai.
- c) Pembersihan lapangan dan jalan akses yang dilakukan secara bergotong-royong oleh warga Desa Wonokerso.
- d) Pengurusan ijin pelaksanaan oleh Pemerintah Desa Tembarak dilakukan bersama-sama oleh Pemerintah Desa Wonokerso dan Balai Sungai

### 4) Perbaikan jalan akses dan fasilitas dropping bahan

Perbaikan jalan akses berupa pembuatan gorong-gorong lebar 0,70 m tinggi 0,60 m dan panjang 2,50 m, terbuat dari dinding pasangan batu dan tutup plat beton bertulang.

Fasilitas dropping material berupa peluncur talang seng yang dipasang menuruni tebing dengan didasari perancah bambu secukupnya. Peluncur talang ini dibuat beberapa buah sesuai dengan kebutuhan pengangkutan bahan sampai ke posisi pembangunan.

### 5) Pembuatan bangunan sipil

Pembuatan bangunan sipil dibagi menjadi dua tahap yaitu :

- Tahap I , yang dikerjakan sebelum pemasangan pipa pesat, turbin, pompa dan pipa suplai, yang terdiri dari pembuatan bangunan sadap, bendung, sayap kiri, saluran pembawa, kolam penenang dan fondasi rumah turbin; termasuk penggalian batu untuk peletakan pipa pesat.
- Tahap II, yang dikerjakan setelah pemasangan pipa pesat, turbin, pompa dan pipa suplai, yang terdiri dari pembuatan rumah turbin, tangga akses, bak *outlet* bawah dan bak *outlet* atas.

### 6) Pemasangan instalasi hidromekanik

Pekerjaan ini meliputi pemasangan pipa pesat, turbin, pompa dan pipa suplai

### 7) Penanganan purnabangun

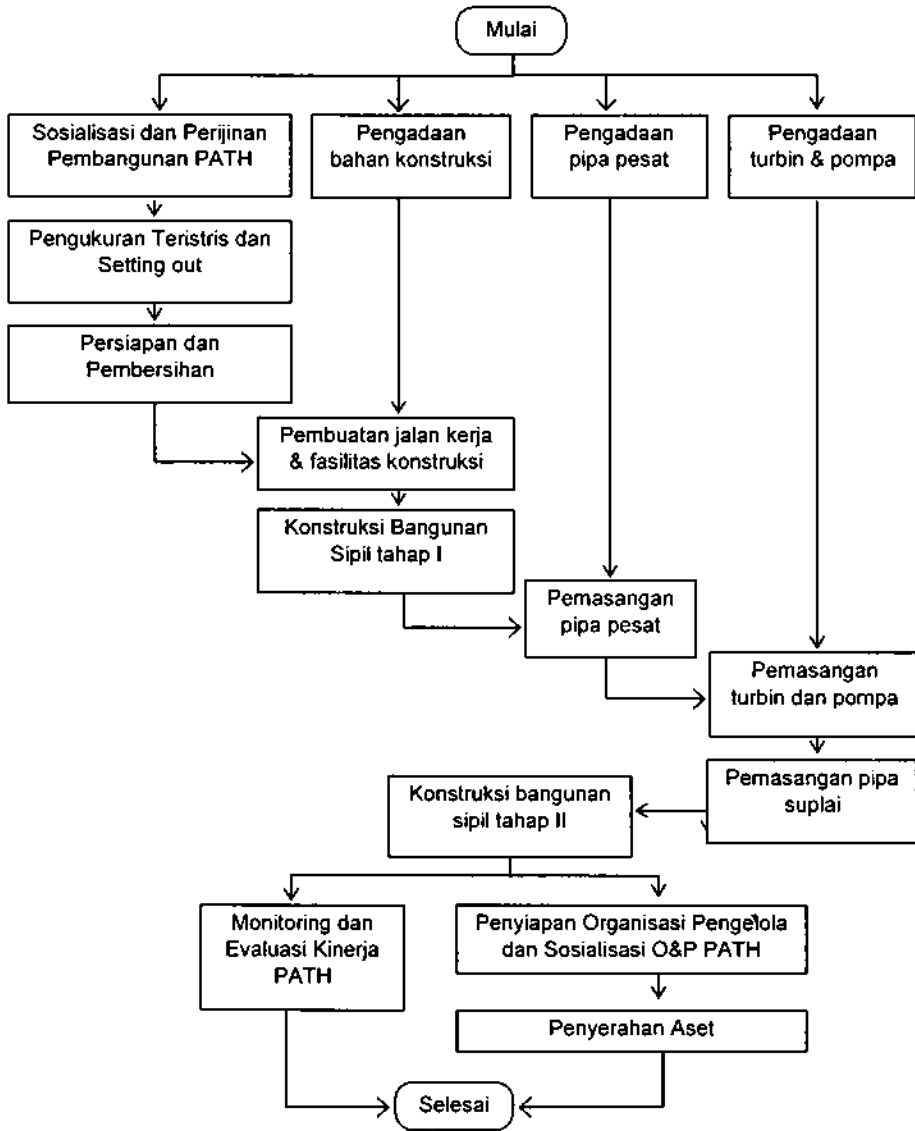
Penanganan bangunan PATH yang sudah selesai dikerjakan mencakup :

- a) Penyiapan dokumen O&P
- b) Pembentukan organisasi pengelola PATH
- c) Pelatihan pelaksanaan O&P bangunan
- d) Serah-terima aset
- e) Monitoring kinerja PATH, oleh Balai Sungai.



### 4.3 Tahapan Pelaksanaan

Pelaksanaan konstruksi PATH Wonokerso dilakukan dengan tahapan dengan bagan alir seperti ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Bagan alir konstruksi PATH

#### **4.4 Metode Pelaksanaan**

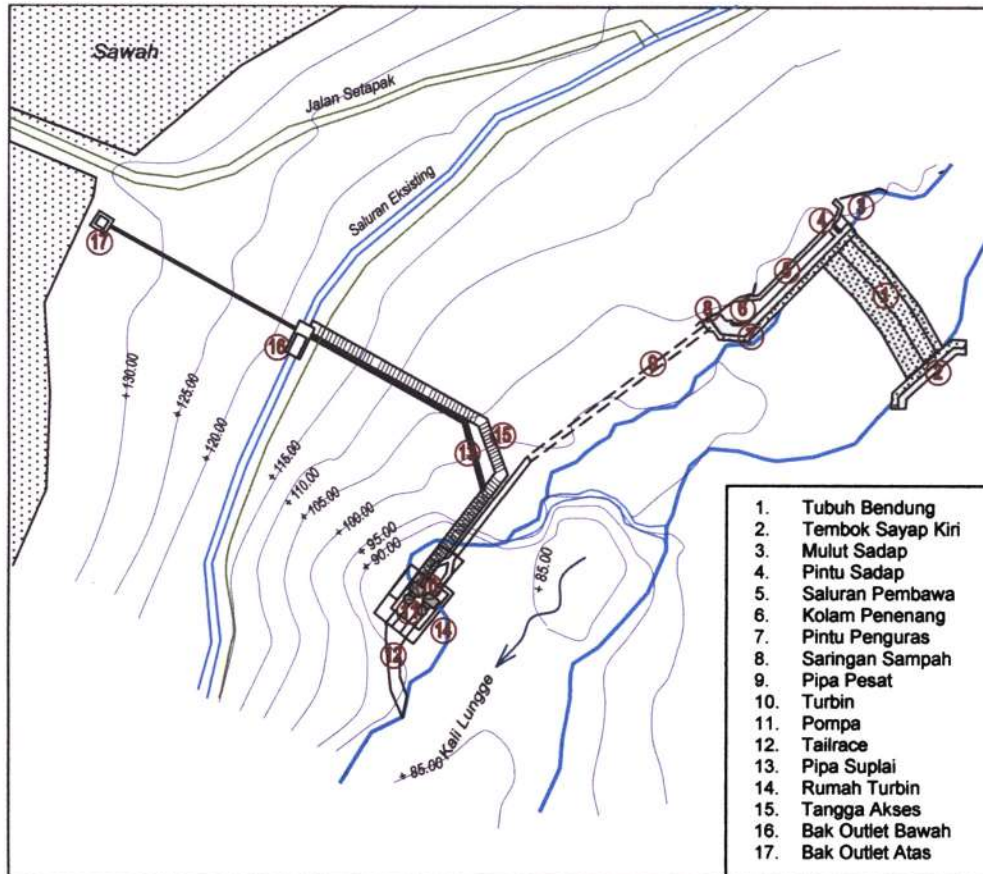
Secara umum pelaksanaan konstruksi PATH Wonokerso dilakukan secara manual, oleh tenaga trampil setempat dan tanpa mesin khusus, kecuali pembuatan turbin yang dilakukan oleh industri khusus. Metode pelaksanaan secara rinci diuraikan sebagai berikut.

- 1) *Setting out* desain bangunan disesuaikan dengan kondisi lapangan yang terjal dan berbatu, dan dilakukan revisi desain langsung di lapangan
- 2) Penggalian tanah berbatu dilakukan secara tradisional oleh pekerja pembantu tukang dengan peralatan linggis, cangkul, sekop dan ember. *Dewatering* pada galian fondasi tubuh bendung dan fondasi rumah turbin dibantu dengan pompa air.
- 3) Penggalian/pemotongan batu monolit dilakukan secara manual oleh tenaga terampil khusus, dengan peralatan baji khusus, palu 5 kg, linggis, dll.
- 4) Pasangan batu dan beton dilakukan secara konvensional oleh tukang batu dengan peralatan beton molen.
- 5) Pekerjaan pembuatan dan pemasangan pipa pesat dilakukan oleh teknisi bengkel las dengan peralatan las listrik/karbit, kerek, tali tambang dll. Pipa pesat dibuat dari plat baja yang dilengkungkan kemudian di las.
- 6) Pembuatan turbin dilakukan di Bengkel Industri Kecil, dengan membentuk dan merakit bagian-bagian turbin.
- 7) Pipa suplai dari PVC dipasang oleh tenaga setempat dengan instruksi dari tim Balai Sungai.

## BAB V DESKRIPSI BANGUNAN PROTOTIPE

### 5.1 Komponen Bangunan dan Spesifikasi

Bangunan prototipe PATH Wonokerso terdiri dari komponen seperti ditunjukkan pada Gambar 9 berikut



Gambar 9. Komponen Bangunan PATH Wonokerso

Spesifikasi komponen bangunan PATH Wonokerso dapat diuraikan sebagai berikut.

#### 1) Tubuh Bendung

Terbuat dari pasangan batu spesi 1:3, berbentuk pelimpah ambang lebar (lebar 1,50 m), dengan lereng hilir 1 : 2. Tinggi bendung 80 cm dari dasar sungai, panjang 14 m.

Bendung difungsikan untuk menahan air sungai agar mengalir ke mulut sadap.

**2) Tembok Sayap Kiri**

Terbuat dari pasangan batu spesi 1:5, tinggi 2.2 m di atas mercu bendung, panjang 7 m dan tebal rata-rata 70 cm.

Tembok sayap berfungsi untuk pembatas ujung kiri bendung dan melindungi tebing kiri dari gerusan air banjir.

**3) Mulut Sadap**

Lebar 1,6 m yang berangsur-angsur menyempit menjadi 0,75 m, dengan ambang berada 0,62 m di bawah mercu bendung. Mulut sadap berfungsi sebagai lubang pengaliran air yang akan dialirkan ke saluran pembawa.

**4) Pintu Sadap**

Berupa pintu sorong dari baja, lebar 0,75 m, tinggi daun pintu 0,65 m, tinggi rangka 3,40 m. Berfungsi untuk mengontrol aliran dari mulut sadap ke saluran pembawa.

**5) Saluran Pembawa**

Dinding dan dasar terbuat dari pasangan batu spesi 1:5, dengan lebar 0,75 m dan tinggi tembok 2,20 m, sedangkan tinggi aliran 0,50 m. Bangunan dengan panjang 15,5 m ini berfungsi untuk menyalurkan air dari mulut sadap ke Kolam Penenang.

**6) Kolam Penenang**

Dinding dan dasar terbuat dari pasangan batu spesi 1:5 (sebagian dinding berupa dinding batu alam yang monolit), bentuk tidak teratur dengan luas sekitar 5 m<sup>2</sup>, Berfungsi untuk mengendapkan pasir yang terangkut dari mulut sadap dan menenangkan aliran sebelum masuk ke pipa pesat.

**7) Pintu Penguras**

Beupa pintu sorong dari baja, dengan lebar 0,75 m, tinggi daun pintu 1,80 m dan tinggi rangka 2,40 m. Berfungsi untuk menguras sedimen yang mengendap di kolam penenang

**8) Saringan Sampah**

Terbuat dari baja berukuran lebar 1,00 m dan tinggi 1,20 m, dengan kisi-kisi plai baja 3/30 mm dan dengan lubang kisi-kisi 2 cm. Berfungsi untuk menyaring sampah agar tidak hanyut masuk ke pipa pesat.

**9) Pipa Pesat**

Berupa pipa baja rakitan dengan diameter dalam 0,60 m, tebal 5 mm, panjang 42 m dengan belokan mengikuti topografi. Bagian ujung hilir bercabang dua dengan diameter masing-masing 0,45 m, tiap cabang ditambah satu cabang diameter 0,20 m. Berfungsi untuk menyalurkan air dari kolam penenang ke turbin dan ke pompa.

#### 10) Turbin

Terdiri dari 2 (dua) buah turbin jenis crossflow, dengan diameter runner 45 cm, lubang inlet tinggi 26 cm, lebar 45 cm, masing-masing dengan kapasitas aliran 250 l/det. Berfungsi untuk menangkap energi air (hasilnya berupa putaran as turbin) yang disalurkan untuk memutar as pompa secara langsung..

#### 11) Pompa Air

Terdiri dari 2 (dua) buah pompa masing-masing dengan lubang inlet 12 cm, lubang outlet 10 cm, kapasitas 35 l/det untuk tinggi pemompaan 32 m, dan dengan lubang inlet 15 cm, lubang outlet 12 cm, kapasitas 50 l/det untuk tinggi pemompaan 18 m.

#### 12) Tailrace

Dua buah saluran untuk 2 turbin dengan ukuran lebar 0,60 m dan tinggi 70 cm, berfungsi untuk membuang air yang keluar dari turbin.

#### 13) Pipa Suplai

Berupa pipa PVC tipe AW, 2 (dua) jalur masing-masing dengan pipa diameter 6" dengan panjang 67 m untuk menyalurkan air dari pompa ke bak outlet atas dengan debit 35 l/det dan pipa diameter 8" dengan panjang 46 m untuk menyalurkan air dari turbin lainnya ke saluran irigasi eksisting melalui bak outlet bawah.

#### 14) Rumah Turbin

Beukuran lebar 3,5 m, panjang 4,5 m dan tinggi 2,5 m dengan dinding dan atap beton. Berfungsi untuk meletakkan, melindungi dan mengamankan turbin dan pompa.

#### 15) Tangga Akses

Tertbuat dari beton bertulang, lebar 1,00 m panjang horisontal 42 m. Berfungsi sebagai fasilitas akses ke posisi turbin dan pompa.

#### 16) Bak Outlet Bawah

Terbuat dari pasangan batu berukuran lebar 1,00 m panjang 3 m dalam 1,0 m, berfungsi untuk meredam air yang keluar dari pipa sebelum dialirkan ke saluran irigasi eksisting

#### 17) Bak Outlet Atas

Berupa bak beton ukuran 1,00 x 1,00 x 1,30 m berfungsi untuk melepaskan air dari pipa ke sawah atau ke saluran selanjutnya.

### 5.2 Detail Komponen Turbin

Turbin memiliki komponen-komponen sebagai berikut (lihat Gambar 10)

#### 1) Corong adaptor

Berfungsi untuk menghubungkan ujung pipa pesat yang berbentuk lingkaran dengan diameter 40 cm dengan inlet turbin yang berbentuk persegi lebar 45 cm dan tinggi 26 cm. Struktur corong adaptor memiliki segmen yang bisa bergeser dengan kondisi

- tetap rapat untuk menyesuaikan panjang corong dengan jarak antara ujung pipa pesat dengan mulut turbin, sehingga penyambungan menjadi baik dan mudah.
- 2) Lubang *inlet*  
Berupa lubang segi empat tinggi 26 cm, lebar 5 cm, menghadap ke arah ujung pipa pesat. Lubang inlet memiliki katup *inlet* yang dioperasikan dengan kemudi putar.
  - 3) Katup *inlet*  
Berada pada bagian dalam lubang inlet, yang bisa mengatur bukaan lubang untuk mengatur debit masuk
  - 4) Kemudi katup *inlet*  
Berada pada bagian luar turbin, bisa diputar ke kanan untuk menutup lubang inlet dan ke kiri untuk membuka lubang inlet. Posisi bukaan lubang inlet ditandai pada sebuah skala yang dipasang disamping batang kemudi
  - 5) Skala bukaan  
Dipasang di samping as kemudi berfungsi untuk mengetahui posisi bukaan lubang inlet
  - 6) Lubang pemeliharaan  
Berupa lubang pada dinding atas turbin dengan tutup yang rapat dan kuat. Tutup lubang bisa dibuka dengan melepas skrupnya, untuk keperluan pembersihan sampah atau benda asing yang masuk dan tertahan di katup inlet,
  - 7) Runner  
Merupakan komponen utama turbin yang dipasang di pusat rongga turbin pada as turbin, yang berfungsi sebagai penangkap energi air yang masuk turbin
  - 8) Lubang Outlet  
Berupa lubang yang berada pada bagian bawah turbin, untuk melepaskan air yang telah ditangkap energinya,
  - 9) As turbin  
Berupa batang baja bulat dipasang horizontal untuk menyalurkan energi yang berasal dari putaran runner
  - 10) Pulley  
Berupa roda yang putarannya merupakan transfer energi turbin. Massa pulley dibuat sedemikian besar sehingga berfungsi juga sebagai peredam fluktuasi energi.

### 5.3 Prinsip Kerja

Cara kerja instalasi PATH Wonokerso secara umum adalah sebagai berikut :

- 1) Air dengan debit tertentu diambil dari alur Kali Lungge (di sebelah atas terjunan) melalui pintu sadap yang dilengkapi bendung penahan air. Debit air dikontrol dengan pintu sadap.
- 2) Sedimen yang terangkut aliran diendapkan di kolam penenang kemudian dikeluarkan melalui pintu penguras pada saat-saat tertentu .

- 3) Air dialirkan ke dalam pipa pesat setelah dilewatkan saringan untuk menahan sampah yang ikut dalam aliran.
- 4) Terjunan air dalam pipa pesat dialirkan ke turbin yang menghasilkan tenaga putar pada as turbin, air dibuang melalui tailrace.
- 5) Tenaga putar pada as turbin disalurkan ke as pompa melalui sabuk. Dipasang polley pada as turbin dengan diameter yang lebih besar dari pada polley pada as pompa untuk menyelaraskan kecepatan putaran as pompa dengan putaran as turbin.
- 6) Debit air yang masuk ke turbin bisa diatur dengan kran pengatur bukaan, sehingga debit aliran bisa disesuaikan dengan yang diinginkan, bahkan bisa ditutup total.
- 7) Pemutaran as pompa menghasilkan tenaga angkat air yang disalurkan melalui pipa suplai ke bak outlet.

Sedangkan cara kerja turbin dapat diuraikan sebagai berikut .

Aliran air bertekanan tinggi sebagai sumber energi masuk kedalam turbin melalui lubang inlet. Debit aliran bisa diatur dengan memutar kran pengatur bukaan inlet.

Tekanan air mendorong dan memutar sudu turbin sehingga terjadilah putaran as turbin

Posisi kran pengatur dibuat sedemikian rupa agar kombinasi antara debit dan tinggi tekanan memberikan energi yang maksimal.

#### **5.4 Gambar Purnabangun**

Hasil pembangunan yang berupa prototipe bangunan PATH didokumentasikan dalam gambar purnabangun terlampir.

## **BAB VI OPERASI DAN PEMELIHARAAN**

### **6.1 Operasi**

#### **6.1.1 Pengambilan Air**

Pengambilan air dilakukan melalui pintu sadap. Debit pengambilan dikontrol dengan pintu sadap. Sedimen yang ikut aliran diendapkan di kola penenang dan kemudian dikuras dengan pintu penguras. Sampah yang ikut aliran ditahan dengan saringan sampah yang kemudian secara berperiodik dilakukan pembersihan sampah yang menyangkut. Pencegahan sedimen dan sampah masuk ke pipa pesat sangat penting untuk menghindari gangguan kerja turbin oleh sampah maupun sedimen

#### **6.1.2 Pengurasan Sedimen**

Pengurasan sedimen yang mengendap di kolam penenang dilakukan agar kolam penenang tidak penuh sedimen sehingga sedimen yang ikut aliran bisa mengendap.

Pengurasan dilakukan secara periodik setelah endapan yang terjadi di kolam penenang sudah mencapai ambang inlet ipa pesat.

Operasi pengurasan dibagi menjadi 3 macam :

- 1) Pada debit sungai  $>750$  l/det.  
Pengurasan dilakukan dengan membuka pintu kuras tanpa pengaturan debit turbin. Bukaan dibatasi agar debit ke pipa pesat tidak kurang dari 585 l/det
- 2) Pada debit sungai 400 - 585 l/det.  
Pengurasan dilakukan dengan pembukaan pintu penguras disertai penutupan satu turbin. Pembukaan pintu dibatasi agar debit ke pipa pesat tidak kurang dari 300 l/det,
- 3) Pada debit sungai  $< 400$  l/det.  
Pengurasan dilakukan dengan membuka pintu penguras disertai dengan penutupan kedua turbin.

#### **6.1.3 Pembangkitan Energi dan Pemompaan**

Operasi pembangkitan energi dan pemompaan dilakukan melalui proses :

- 1) Pengaliran debit pembangkit,  
Dioperasikan dengan cara membuka pintu sadap dan menutup pintu penguras, yang dimulai pada kondisi turbin tertutup rapat. Lebar bukaan pintu dilihat pada skala bukaan.
- 2) Pengaturan bukaan turbin,  
Ketika kolam penenang sudah penuh air, yang ditandai dengan terjadinya limpasan di atas pintu penguras, turbin dibuka, yang sebelumnya dipastikan dahulu kesiapan pompa dan sabuk siap dioperasikan.



## **6.2 Pemeliharaan**

### **6.2.1 Pemeriksaan**

Pemeriksaan Umum :

Pemeriksaan bangunan secara umum perlu dilakukan untuk menilai kelestarian fungsi dan keamanan bangunan. Hal-hal yang diperiksa meliputi :

- 1) Keamanan bendung terhadap rembesan, gerusan dan kerusakan struktur.
- 2) Keamanan saluran pembawa terhadap gerusan
- 3) Endapan di depan intake
- 4) Fungsi pintu sadap dan pintu penguras.
- 5) Fungsi saringan sampah
- 6) Kebocoran pada pipa pesat
- 7) Kebocoran pada turbin dan pompa
- 8) Keamanan fondasi rumah turbin
- 9) Kelancaran aliran pada tailrace
- 10) Kebocoran pada pipa suplai

Pemeriksaan detail turbin dan pompa, unsur yang diperiksa meliputi :

- 1) Pemeriksaan tekanan air dan corong adaptor
- 2) Pemeriksaan kebocoran
- 3) Pemeriksaan adanya kelainan operasi pompa
- 4) Pemeriksaan debit tailrace
- 5) Pemeriksaan debit pemompaan

### **6.2.2 Perawatan**

Pekerjaan perawatan meliputi :

#### 1) Perawatan Pintu Air

Perawatan pintu air berupa :

- a. Pembersihan sampah/ranting yang menyangkut di pintu
- b. Pelumasan pada komponen ulir
- c. Pengecatan

#### 2) Perawatan Turbin

Perawatan turbin meliputi :

- a. Pelumasan, dilakukan setiap minggu dengan memompakan pelumas pada lubang pelumasan yang menuju ke as turbin.
- b. Pembersihan sampah, dilakukan jika terjadi kelainan pada kerja turbin, dengan membuka lubang pemeliharaan

#### 3) Perawatan Pompa

Perawatan pompa berupa pelumasan pada as pompa

### **6.2.3 Pembersihan Sedimen**

Sepanjang aliran harus dibersihkan dari sedimen yang mengganggu baik aliran sendiri maupun kerja peralatan. Pembersihan sedimen dilakukan secara hidraulik (pengurasan maupun secara manual. Tempat-tempat yang mungkin memerlukan pembersihan antara lain :

- 1) Mulut bangunan sadap
- 2) Kolam penenang
- 3) *Tailrace*

### **6.2.4 Pembersihan Sampah**

Pembersihan sampah dilakukan pada :

- 1) Daun pintu sadap
- 2) Daun pintu penguras
- 3) Saringan sampah
- 4) Mulut inlet turbin
- 5) *Tailrace*

## BAB VII PEMANTAUAN DAN EVALUASI KINERJA

### 7.1 Pemantauan PATH

#### 7.1.1 Pemantauan Morfologi dan Hidrologi Sungai

Pemantauan morfologi sungai dilakukan dengan mengamati dan mencatat :

- 1) Perubahan alur atau pengendapan di hulu bendung terutama sekitar mulut sadap; pemantauan dilakukan setiap minggu
- 2) Perubahan konfigurasi dasar sungai antara bendung dan terjunan. Pemantauan dilakukan setiap bulan pada musim hujan
- 3) Perubahan alur sungai di dasar terjunan dan hilirnya, termasuk di tailrace. Pemantauan dilakukan setiap bulan pada musim hujan

#### 7.1.2 Pemantauan Operasi Turbin dan Pompa

Pemantauan dilakukan dengan pengamatan dan pencatatan :

- 1) Jumlah putaran turbin permenit
- 2) transmisi putaran as turbin ke as pompa
- 3) kondisi aliran di tailrace

#### 7.1.3 Pemantauan Produksi Pemompaan

Produksi PATH yang berupa debit hasil pemompaan dilakukan dipantau dengan mengukur :

- 1) Muka air di mulut pipa pesat
- 2) Debit aliran pada turbin yang diukur pada tailrace
- 3) Debit pada bak outlet
- 4) RPM turbin dan pompa

### 7.2 Evaluasi Kinerja PATH

#### 7.2.1 Evaluasi Fungsi dan Keamanan

Evaluasi fungsi mencakup aspek :

- 1) Keberhasilan PATH menyediakan air yang keluar dari outlet
- 2) Kemudahan operasi pergantian dari pelayanan penyediaan air ke penunjang pariwisata

Evaluasi keamanan bangunan PATH ditinjau berdasarkan:

- 1) Keamanan bangunan (terutama bangunan sipil) terhadap banjir dan perubahan morfologi sungai
- 2) Keamanan bangunan terhadap gangguan manusia .

#### 7.2.2 Evaluasi Efisiensi Turbin dan Pompa

Efisiensi dihitung dengan formulasi :

$$\eta = \frac{H_p Q_p}{H_e Q_t} \dots\dots\dots$$

**Keterangan**

Hp : tinggi bruto pemompaan

Qp : debit pemompaan

He : tinggi energi air efektif

Qt : debit turbin

## **BAB VIII PENUTUP**

Selain untuk penyediaan air irigasi dan penunjang pengembangan daerah, pembangunan PATH Wonokerso juga untuk percontohan penerapan teknologi tepat guna di Kabupaten Temanggung, dengan tujuan bahwa teknologi ini bisa diminati masyarakat setempat untuk ditiru diterapkan di tempat lain.

Tingkat kemanfaatan suatu bangunan infrastruktur (termasuk PATH) selain dipengaruhi oleh kinerja bangunan tersebut juga ditentukan oleh kualitas pengelolaannya. Pengelolaan yang baik memerlukan lembaga yang mapan, personil yang kompeten, metode pengelolaan yang tepat dan dana yang memadai. Penyusunan buku ini diharapkan bisa mendukung menciptakan metode pengelolaan PATH yang baik dan benar, sehingga PATH Wonokerso bisa beroperasi dengan baik.

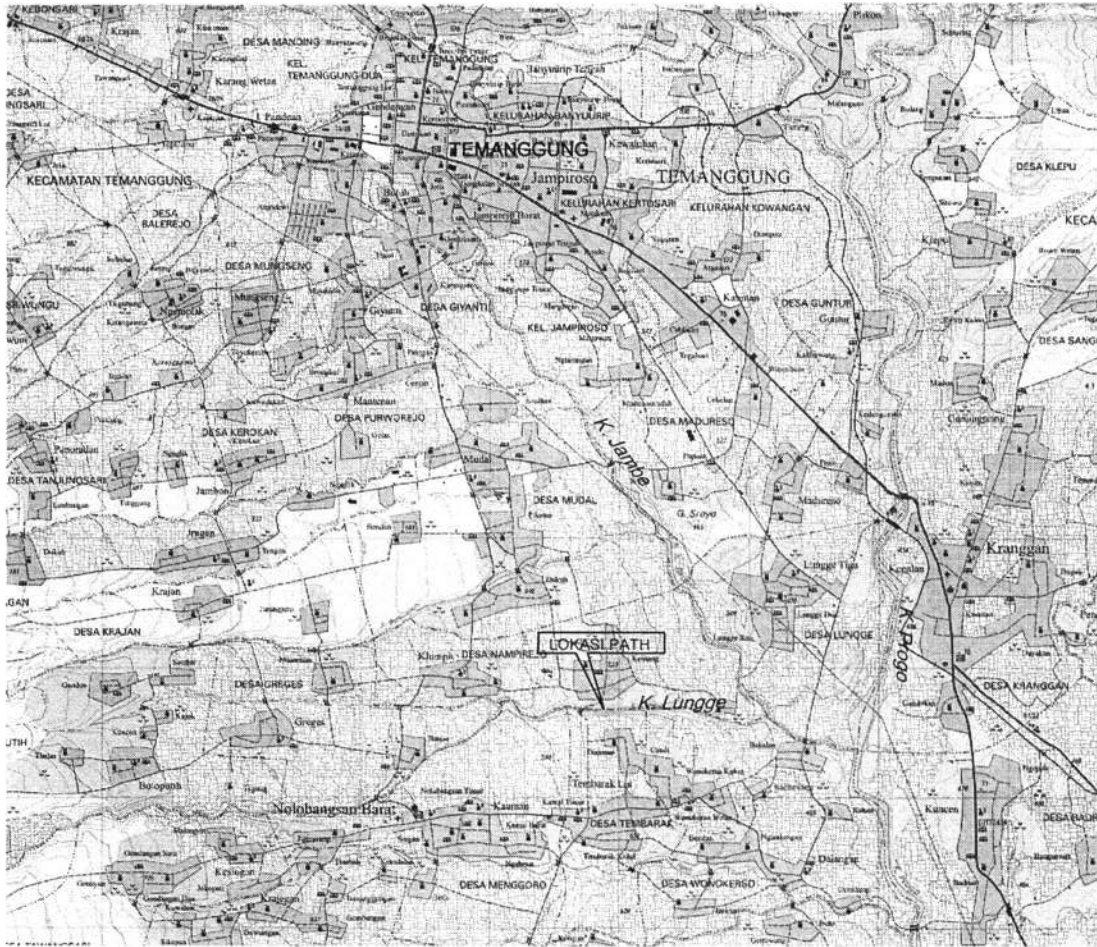
Akhirnya dengan diterbitkannya buku ini PATH Wonokerso bisa beroperasi dengan baik dan terjaga keberlanjutannya dengan memberikan manfaat besar kepada warga masyarakat Desa Wonokerso dan sekitarnya. Lebih lanjut, teknologi ini bisa dikembangkan di daerah sekitarnya, paling tidak bisa memberikan inspirasi warga masyarakat untuk mengembangkan potensi alam yang ada di Kabupaten Temanggung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 1987. SNI 03-1724-1989. *Pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 1994. SNI 03-3432-1994. *Tata Cara Penetapan Banjir Desain dan Kapasitas Pelimpah Untuk Bendung*. Jakarta
- Bambang Tiatmojo, 2003. *Hidrolika II*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2008. *Pedoman Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*, Jakarta.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. 2009. *Kajian dan Detail Desain Mikrohidro untuk Pembangkit Energi Guna Pemompaan Air di Daerah Irigasi Batang Sinamar*, Nota Desain, Laporan Akhir.

## **LAMPIRAN**

### **GAMBAR PURNABANGUN PATH**

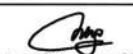


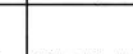


BALAI SUNGAI  
PUSLITBANG SDA

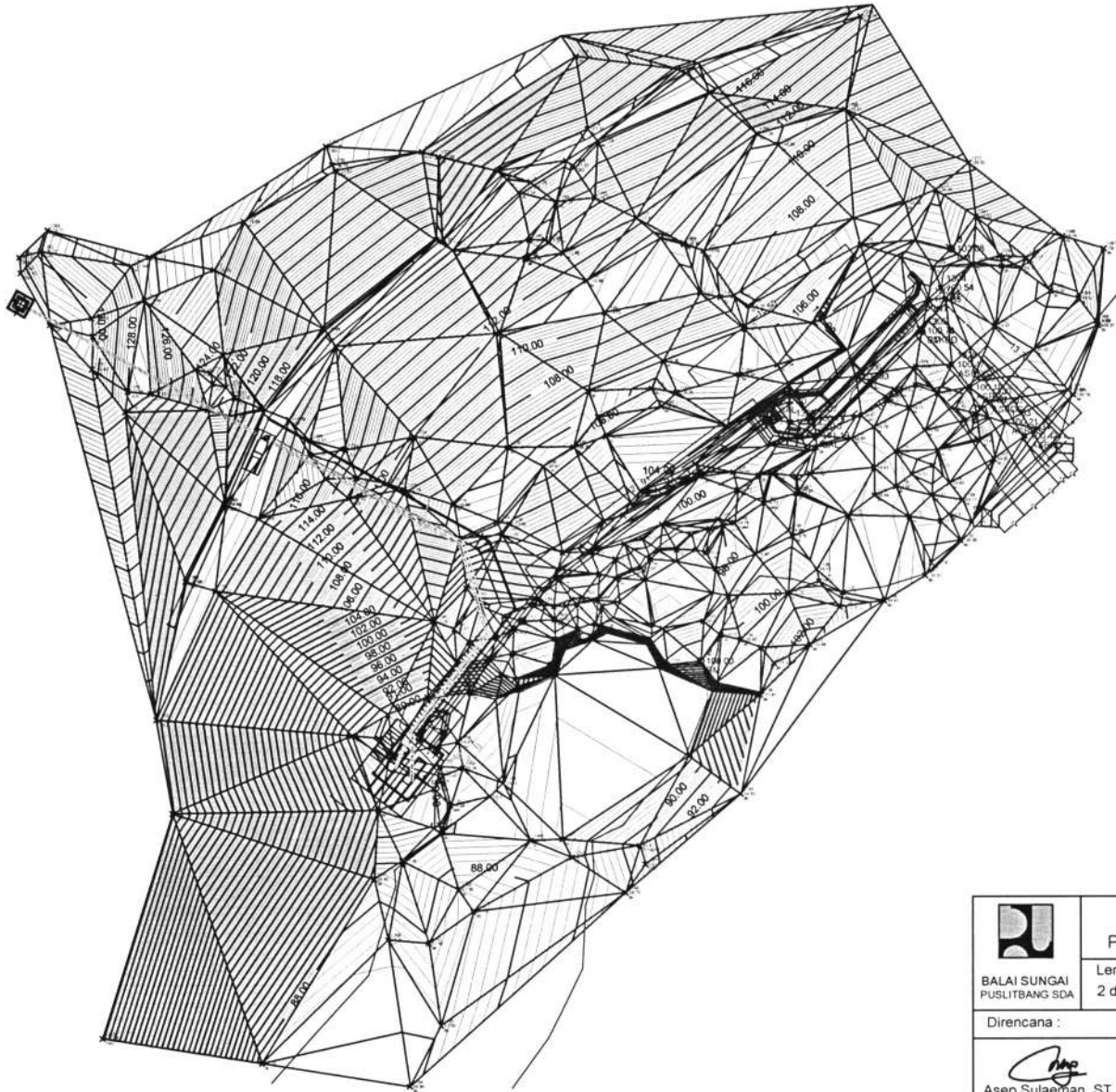
GAMBAR PURNA BANGUN  
POMPA AIR TENAGA HIDRO ( PATH) WONOKERSO






Lembar  
1 dari 18

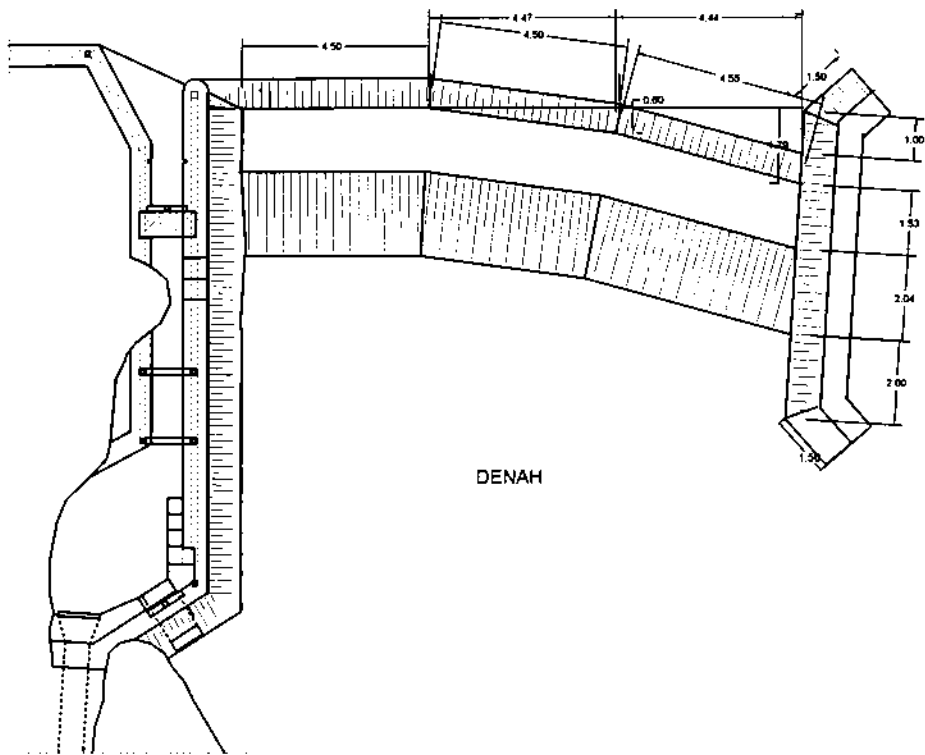
PETA LOKASI

Direncana :	Digambar :	Diperiksa :	Disetujui :
 Asep Sulaeman, ST.	 Suprpto, ST.	 Ir. Sudarta, CES.	 Rahmat S. Lubis, ST.MT.

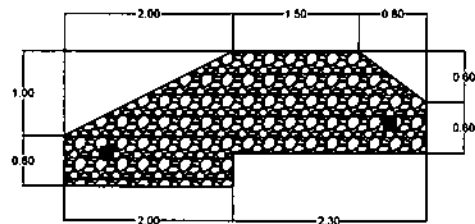




 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	GAMBAR PURNA BANGUN POMPA AIR TENAGA HIDRO ( PATH) WONOKERSO		
	Lembar 2 dari 18	TATA LETAK BANGUNAN	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT



DENAH



POTONGAN A - A



BALAI SUNGAI  
PUSLITBANG SDA

Lembar  
3 dari 18

GAMBAR PURNA BANGUN  
POMPA AIR TENAGA HIDRO ( PATH) WONOKERSO

BENDUNG, INTAKE DAN SALURAN PEMBAWA

Direncana :

Digambar :

Diperiksa :

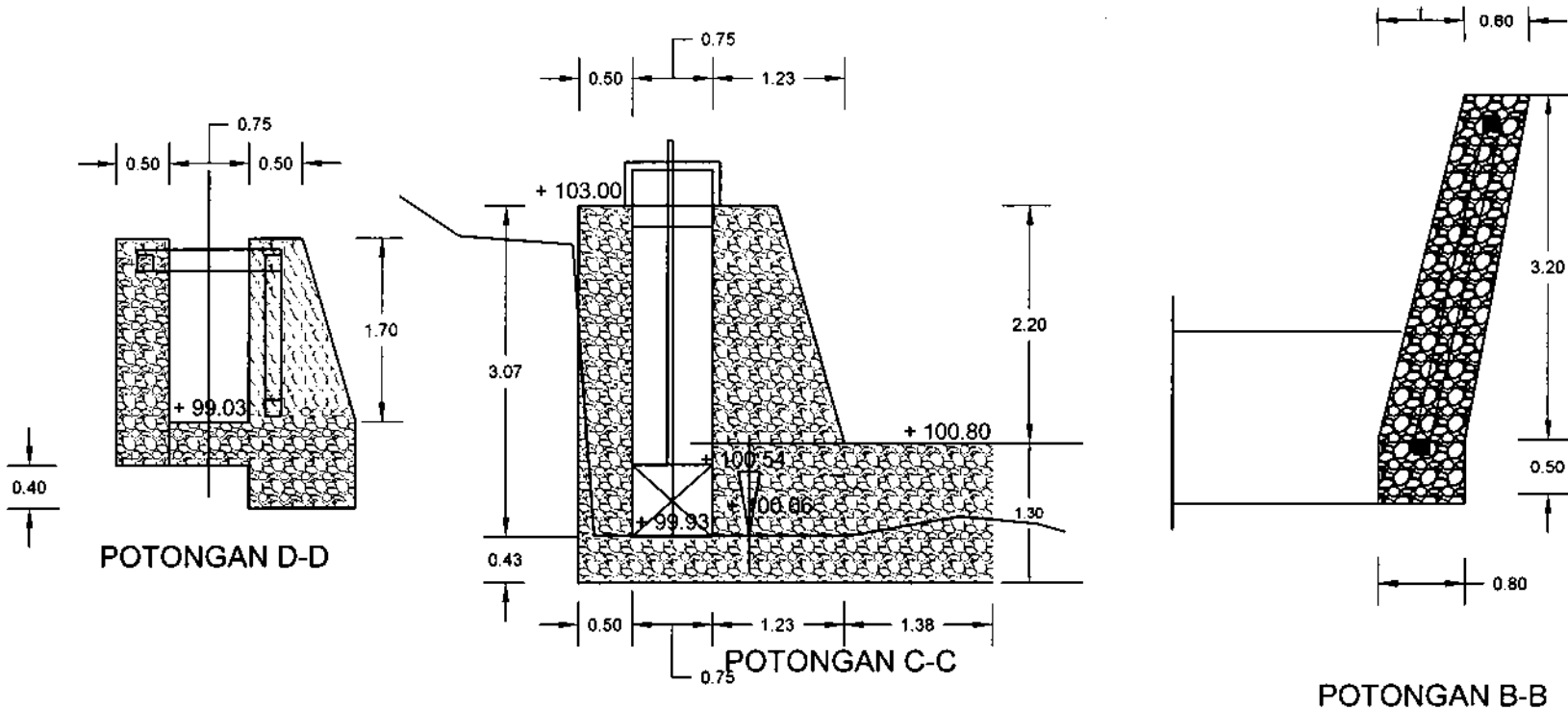
Disetujui :





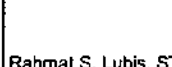
*Asep Sulaiman*  
Asep Sulaiman, ST.

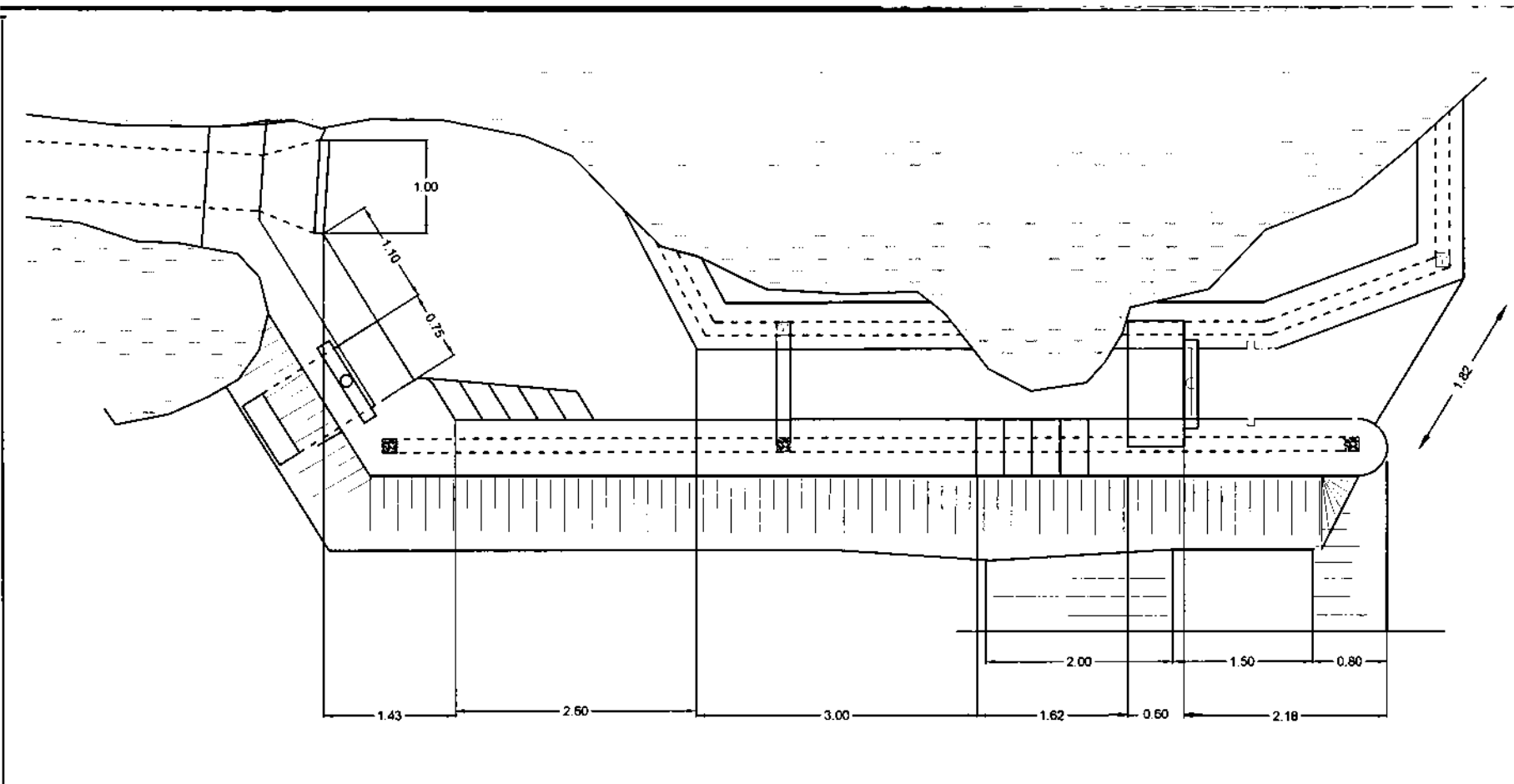
*Suprpto*  
Suprpto, ST.



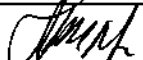

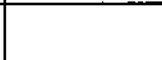
*Ir. Sudarta*  
Ir. Sudarta, CES.

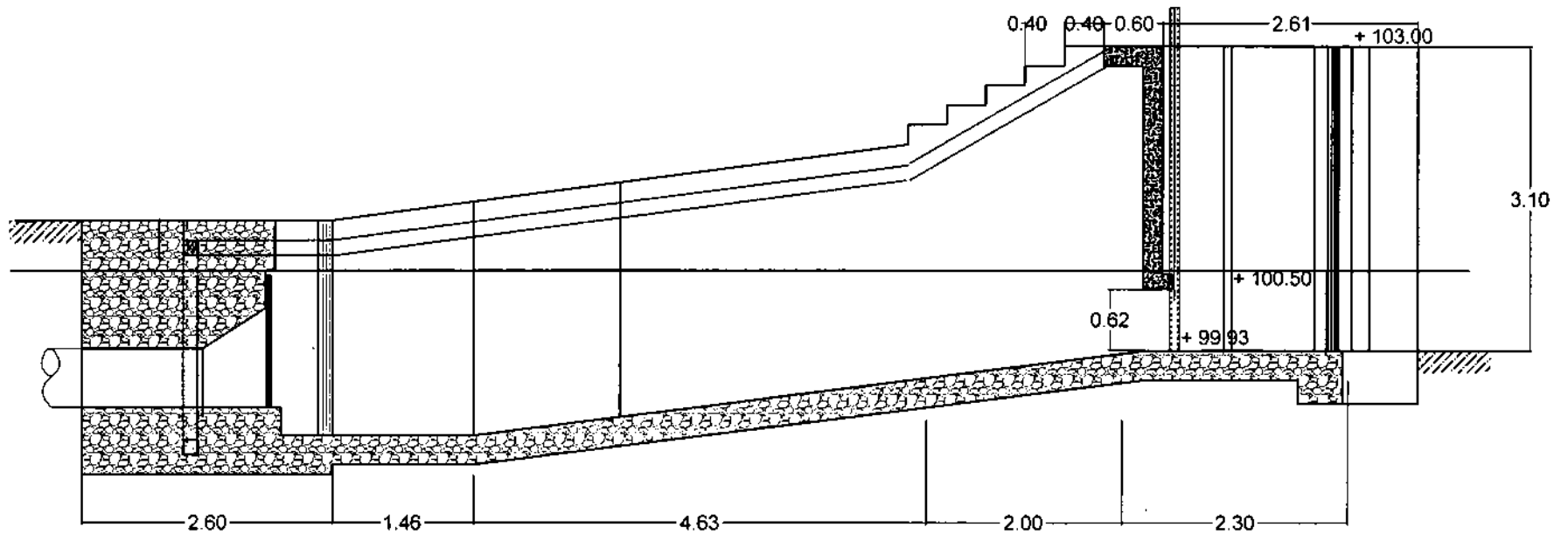
*Rahmat S. Lubis*  
Rahmat S. Lubis, ST.MT.





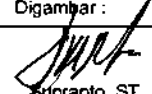


 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	GAMBAR PURNA BANGUN POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO		
	Lembar 4 dari 18	POTONGAN BENDUNG DAN SALURAN	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT.

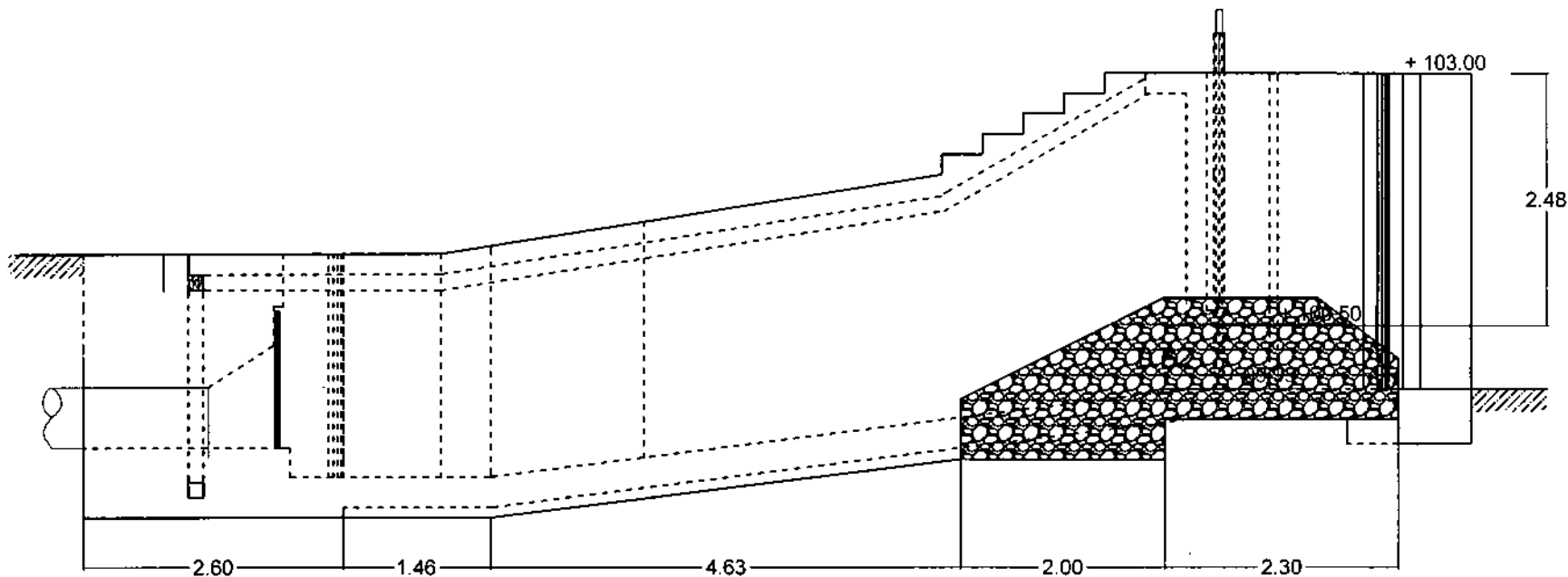


 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	<b>GAMBAR PURNA BANGUN          POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO</b>		
	Lembar 5 dari 18	<b>DENAH SAL PEMBAWA &amp; KOLAM PENENANG</b>	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT.








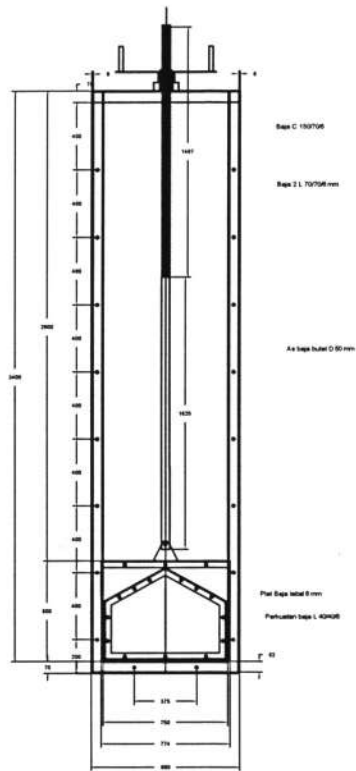
POTONGAN E - E

 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	<b>GAMBAR PURNA BANGUN          POMPA AIR TENAGA HIDRO ( PATH) WONOKERSO</b>		
	Lembar 6 dari 18	<b>PENAMPANG MEMANJANG SALURAN</b>	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Sudprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT.

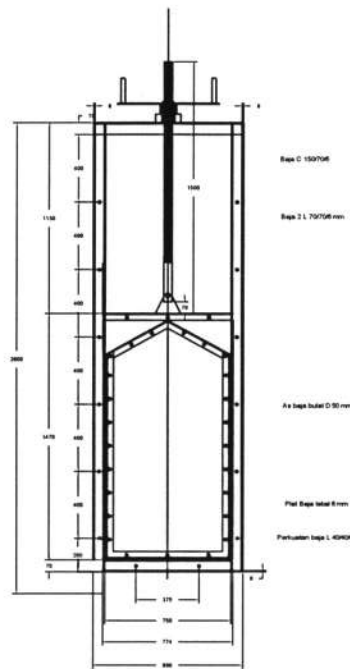


POTONGAN F - F

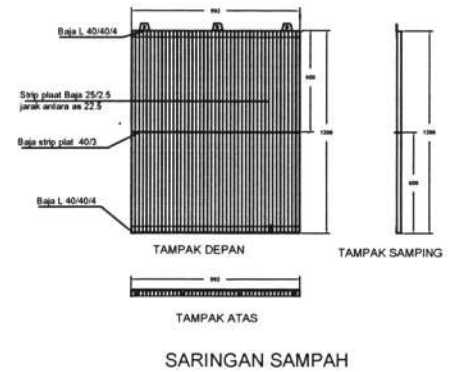
 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	<b>GAMBAR PURNA BANGUN          POMPA AIR TENAGA HIDRO ( PATH) WONOKERSO</b>		
	Lembar 7 dari 18	<b>PENAMPANG MEMANJANG SALURAN</b>	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT.



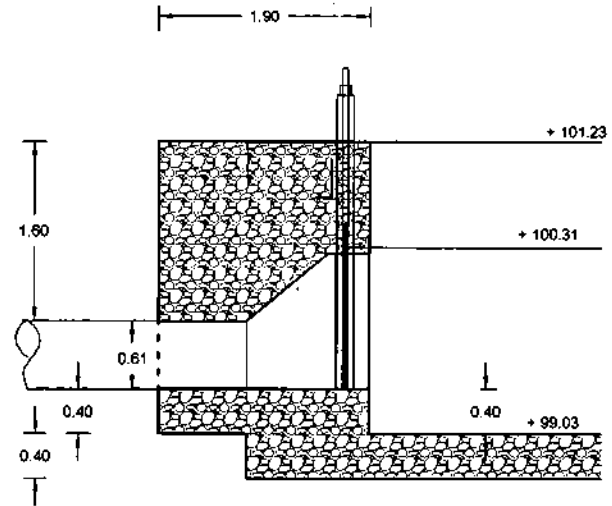
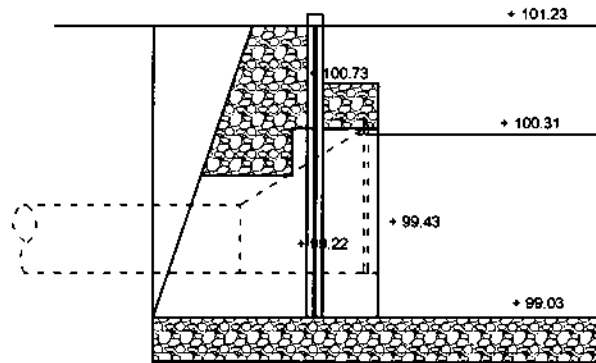
PINTU SADAP



PINTU KURAS



 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	PENERAPAN TEKNOLOGI POMPA AIR TENAGA HIDRO DESA WONOKERSO KEC. TEMBARAK KAB. TEMANGGUNG		
	Lembar 8 dari 18	PINTU AIR DAN SARINGAN	
Direncana : Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa : Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :



BALAI SUNGAI  
PUSLITBANG SDA

GAMBAR PURNA BANGUN  
POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO

Lembar  
9 dari 18

DETAIL KOLAM PENENANG

Direncana :

Digambar :


Diperiksa :

Disetujui :

  
Asep Sulaeman, ST.

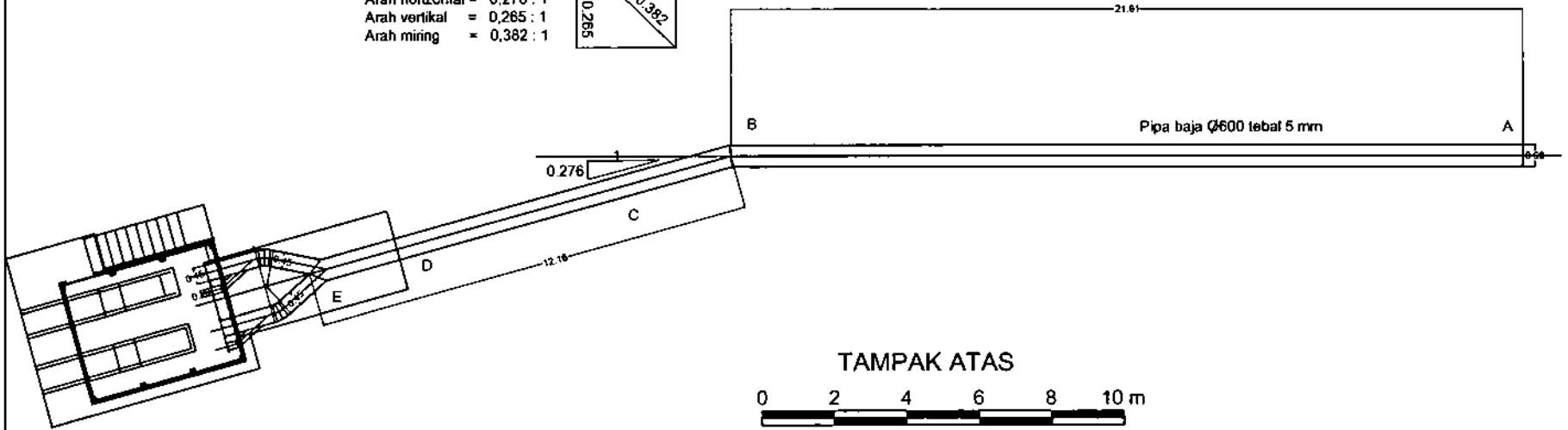
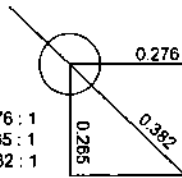
  
Suprpto, ST.






  
Ir. Sudarta, CES.

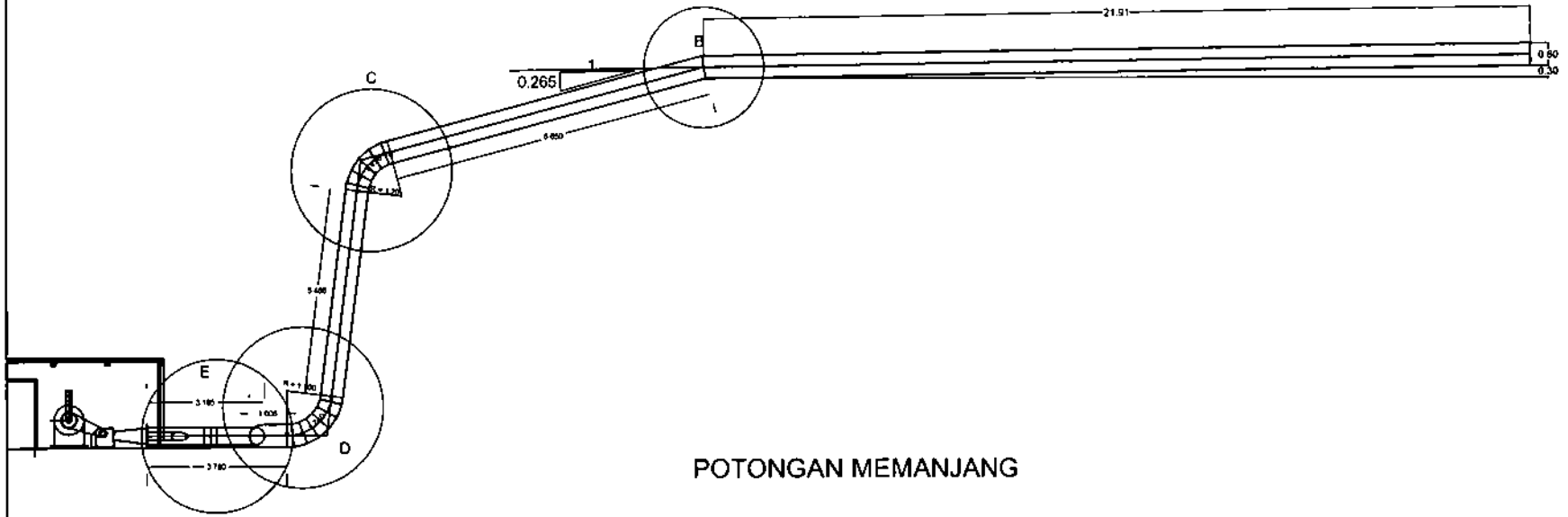
  
Rahmat S. Lubis, ST.MT.








Belokan B :  
 Arah horizontal = 0,276 : 1  
 Arah vertikal = 0,265 : 1  
 Arah miring = 0,382 : 1

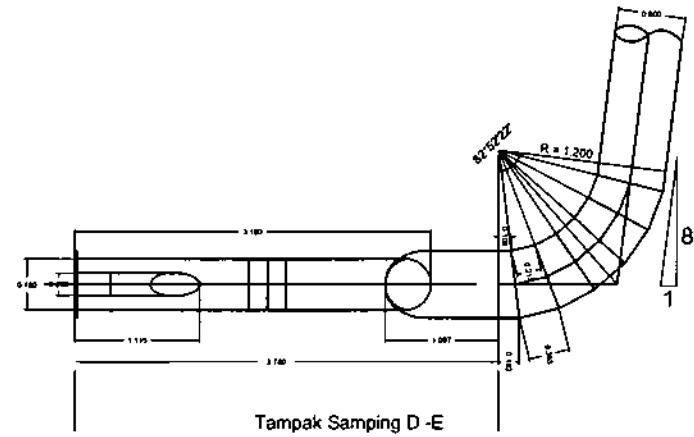
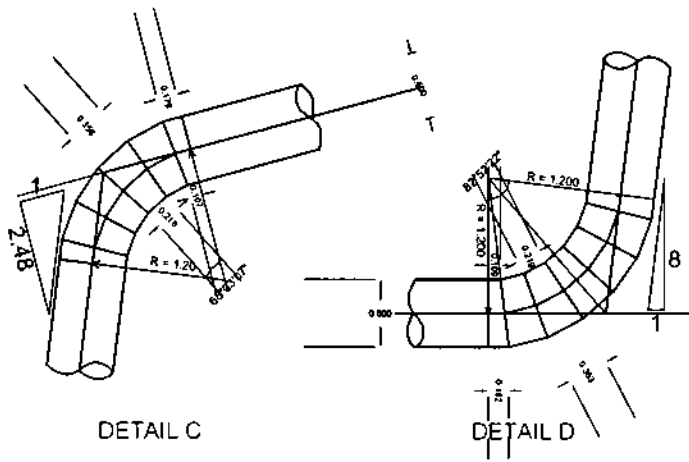
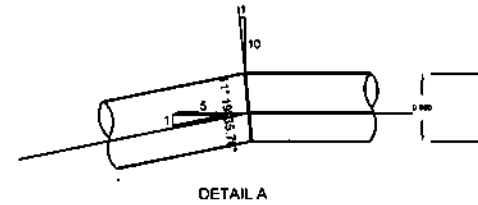
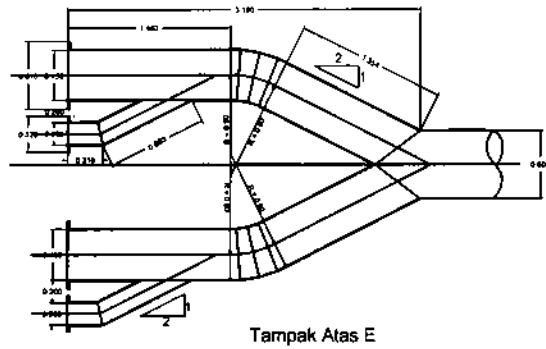




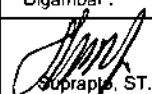
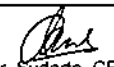
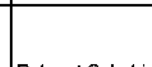
 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	GAMBAR PURNA BANGUN POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO		
	Lembar 10 dari 15	PIPA PESAT	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Supripto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Dsetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT

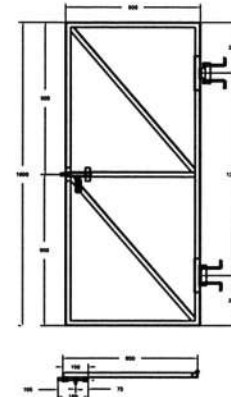
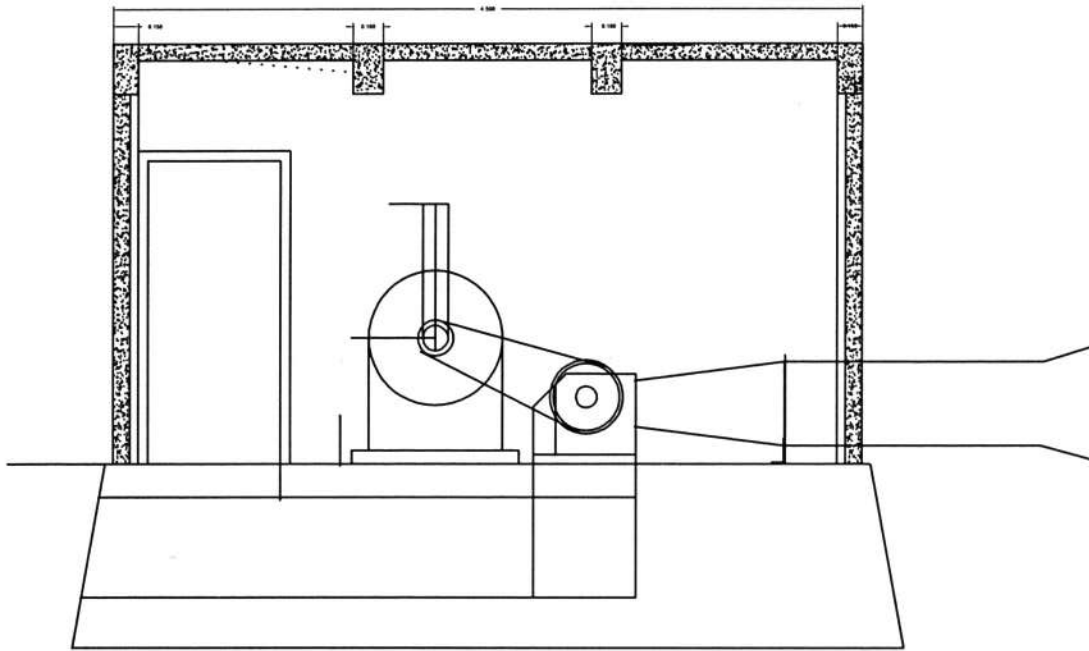


POTONGAN MEMANJANG

 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SOA	GAMBAR PURNA BANGUN POMPA AIR TENAGA HIDRO ( PATH) WONOKERSO		
	Lembar 11 dan 15	PIPA PESAT	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST,MT



 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	<b>GAMBAR PURNA BANGUN          POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO</b>		
	Lembar 12 dari 18	<b>DETAIL PIPA PESAT</b>	
Direncana :  Asep Sulaiman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT.



Daun pintu plat baja tebal 1,5 mm dengan rangka baja L 30/30/3 mm.  
 Batang gembok baja bulat D 18 mm, panjang 180 mm, dipilin dengan strip plat tebal 3 mm.  
 Engsel pintu dari pipa baja dengan diameter as 10 mm, satu stel dilas pada daun pintu dengan diberi pakuatan baja L 30/30/3 panjang 200 mm, stel lain ditempel pada plat 40/4 yang diberi 2 angkur D 10 mm panjang 150 mm dibetulkan.

DAUN PINTU RUMAH TURBIN



BALAI SUNGAI  
PUSLITSANG SDA

GAMBAR PURNA BANGUN  
POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO

Lembar  
13 dari 18


RUMAH TURBIN/POMPA

Direncana :

Digambar :


Diperiksa :

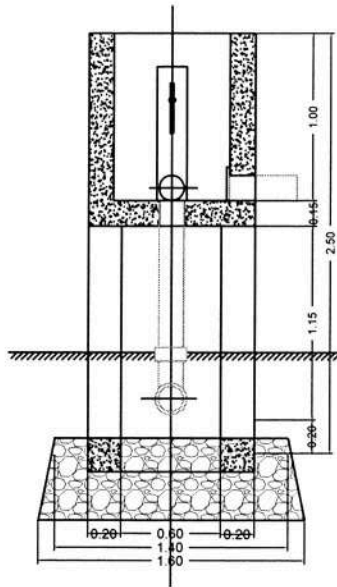
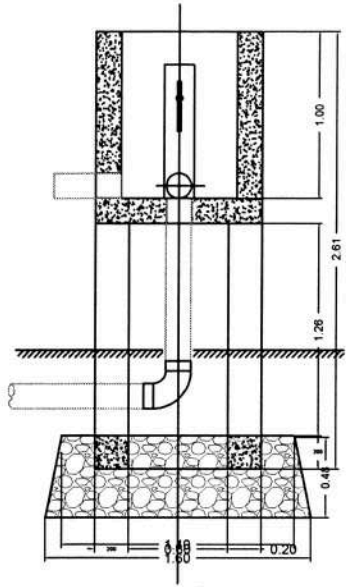
Disetujui :

  
Asep Sulaeman, ST.

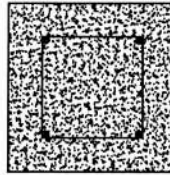
  
Suprpto, ST.

  
Ir. Sudarta, CES.

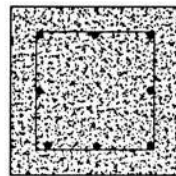
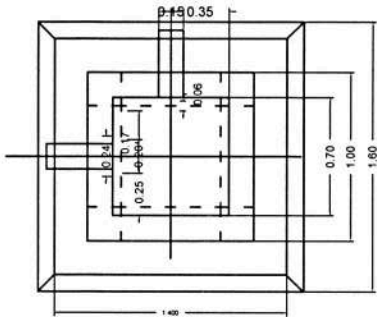
  
Rahmat S. Lubis, ST.MT



Tulangan Utama  
8 D 12 mm  
Begel 12x12 cm,  
D 6mm - 12 cm

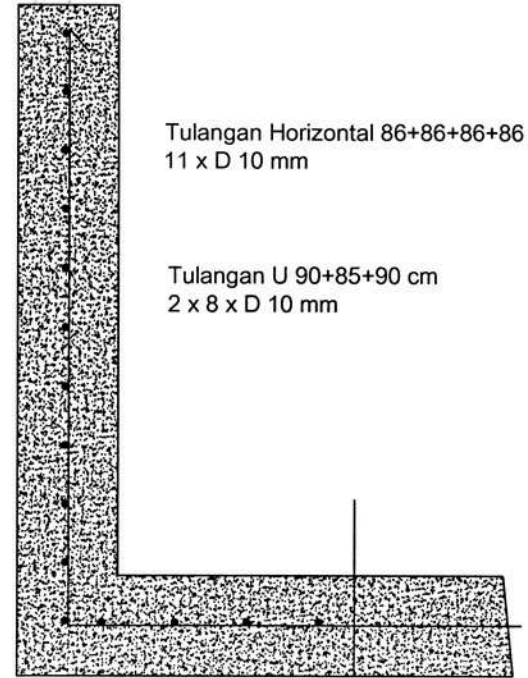


PENULANGAN  
SLOOF



Tulangan Utama  
8 D 12 mm  
Begel 13x13 cm,  
D 6mm - 12 cm

PENULANGAN  
KOLOM



Tulangan Horizontal 86+86+86+86 cm  
11 x D 10 mm

Tulangan U 90+85+90 cm  
2 x 8 x D 10 mm

PENULANGAN BAK



GAMBAR PURNA BANGUN  
POMPA AIR TENAGA HIDRO (PAH) WONOKERSO

Bahan: Beton  
Tulangan: Baja

Lembar:  
14 dari 18

BAK OUTLET ATAS

Direncana:

Digambar:


Diperiksa:

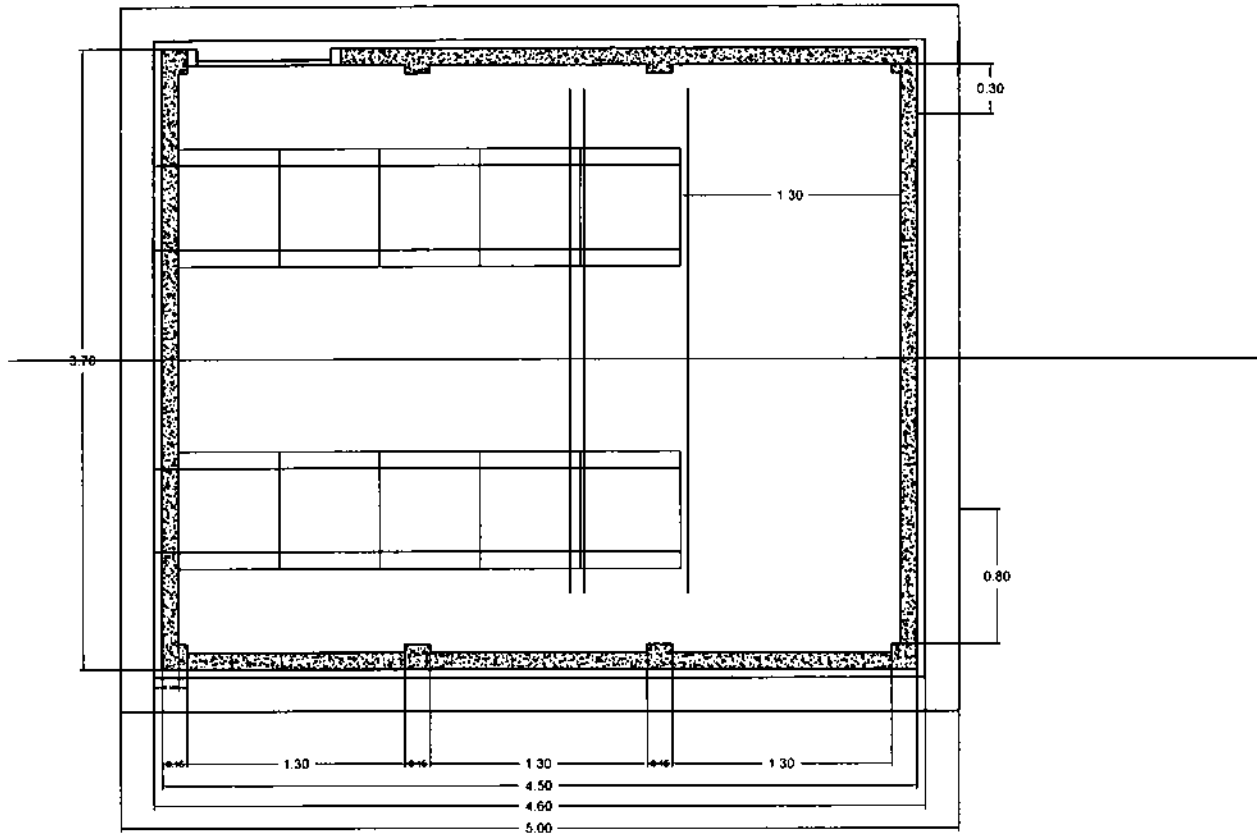
Ditetapkan:

  
Asep Sulaeman, ST.

  
Suprpto, ST.

  
Ir. Sudarta, CES.

  
Rahmat S. Lubis, ST.MT



BALAI SUNGAI  
PUSLITBANG SDA

GAMBAR PURNA BANGUN  
POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO

Lembar  
15 dari 18

RUMAH TURBIN/POMPA

Direncana :

  
Asep Sulaeman, ST.


Digambar :

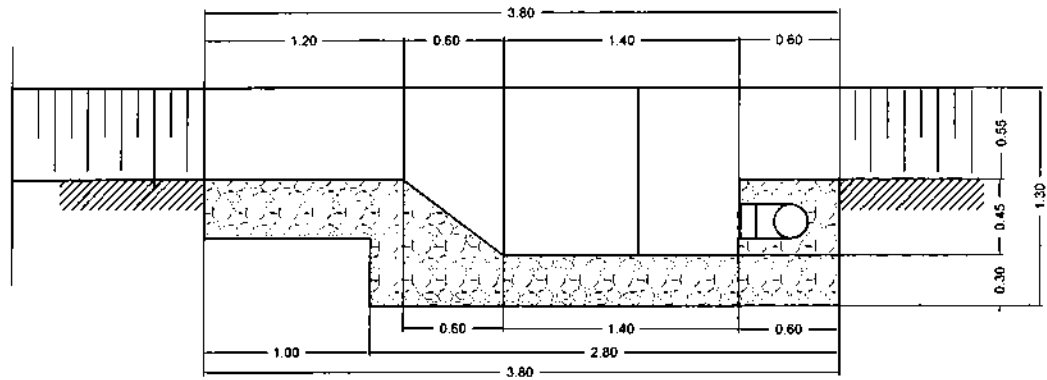
  
Suprpto, ST.

Diperiksa :

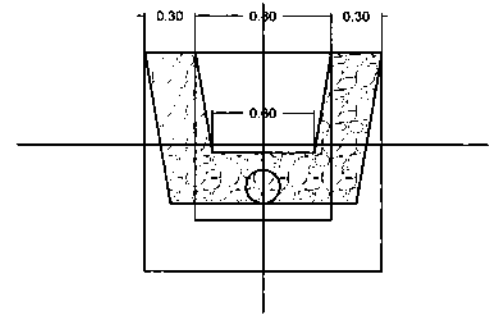
  
Ir. Sudarta, CES.

Disetujui :

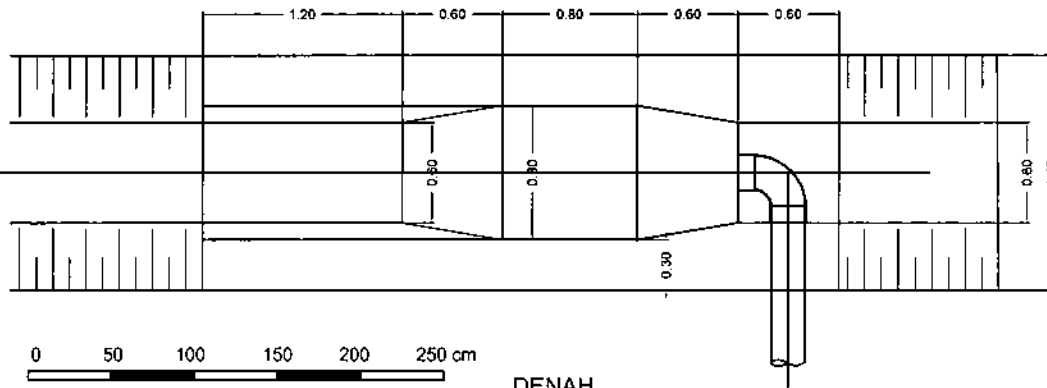
  
Rahmat S. Lubis, ST.M



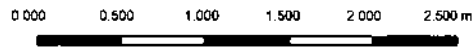
POTONGAN MEMANJANG



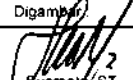

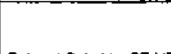


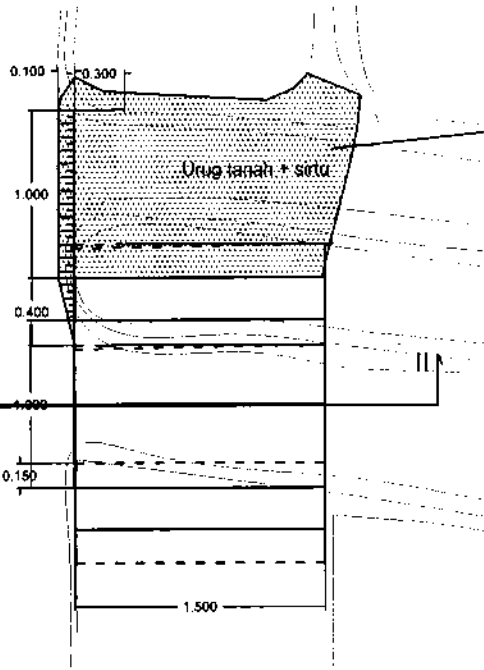
POTONGAN A - A



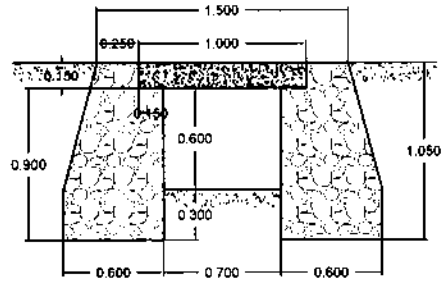
DENAH



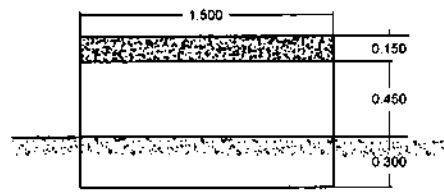
 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	<b>GAMBAR PURNA BANGUN          POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO</b>		
	Lembar 15 dari 18	<b>BAK OUTLET BAWAH</b>	
Direncana :  Asep Sulaiman, ST.	Digambar :  Supriat, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT



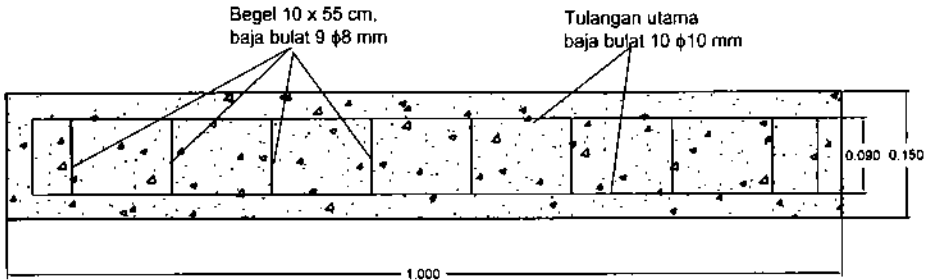
DENAH





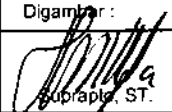

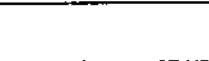
POTONGAN I - I



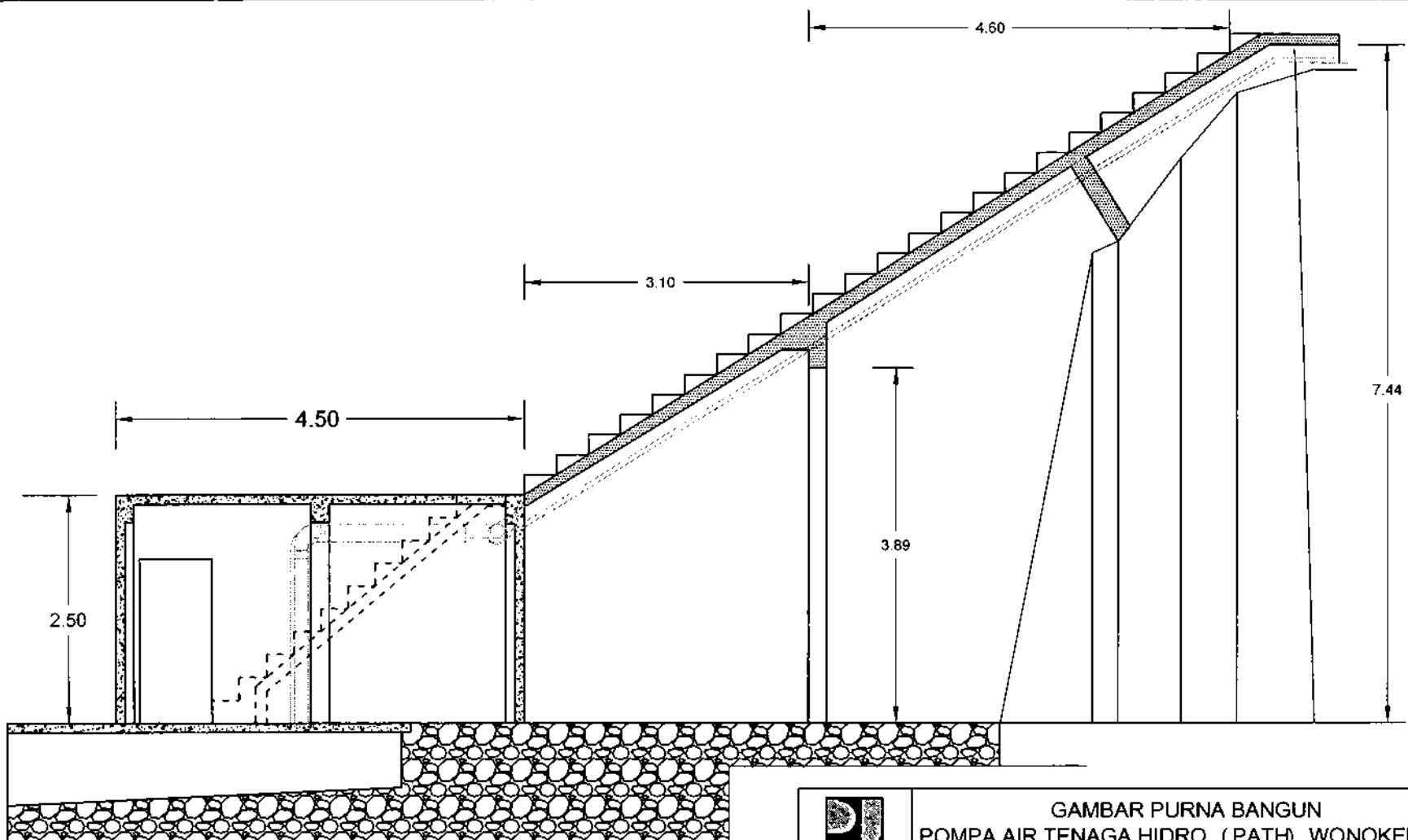
POTONGAN II - II



PENULANGAN PLAT BETON

 BALAI SUNGAI PUSLITBANG SDA	<b>GAMBAR PURNA BANGUN          POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO</b>		
	Lembar 17 dari 18	<b>GORONG-GORONG JALAN AKSES</b>	
Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Supripta, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT




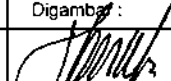
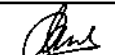
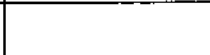


BALAI SUNGAI  
PUSLITBANG SDA

GAMBAR PURNA BANGUN  
POMPA AIR TENAGA HIDRO (PATH) WONOKERSO

Lembar  
18 dari 18

TANGGA AKSES

Direncana :  Asep Sulaeman, ST.	Digambar :  Suprpto, ST.	Diperiksa :  Ir. Sudarta, CES.	Disetujui :  Rahmat S. Lubis, ST.MT.
--	---	---	---



*Pertajam Strategi Ciptakan Inovasi*

