



JURNAL FORUM MEKANIKA

Volume 6 - Nomor 1

Mei 2017

ISSN : 2356-1491

SISTEM DRAINASE ALIRAN BAWAH TANAH UNTUK DAERAH RAWAN LONGSOR (STUDI KASUS SUB DAS SUNGAI CIKAPUNDUNG, BANDUNG)

ENDAH LESTARI

PERBANDINGAN BIAYA DAN DURASI PELAKSANAAN PEKERJAAN BEKISTING MULTIPLEKS DAN BATAKO PADA PEKERJAAN PILE CAP PROYEK DOUBLE – DOUBLE TRACK STASIUN MANGGARAI

HASTANTO SM; GILANG YULIANTO

ANALISIS KEAMANAN STRUKTUR BENDUNGAN DAN UNDERGROUND POWER HOUSE PLTA CIRATA JAWA BARAT

INDAH HANDAYASARI; IRMA SEPRIYANNA; NANDA YOGI SETIYANTO

STABILISASI TANAH RAWA MENGGUNAKAN LIMBAH GERGAJI KAYU DAN SERBUK LIMBAH BOTOL KACA TERHADAP PENINGKATAN NILAI CBR

IRMA WIRANTINA KUSTANTRIKA

EFISIENSI PENGGANTIAN PIPA PENSTOCK PLTA SIMAN DENGAN METODE WELDED LAP JOINT

RANTI HIDAYAWANTI

IDENTIFIKASI PENYEBAB RISIKO KETERLAMBATAN PROYEK KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG TINGGI HUNUIAN

(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN CONDOTEL DAN APARTEMEN BHUVANA RESORT CIAWI, BOGOR)

RETNA KRISTIANA; HERMAWAN PRASETYO

PERILAKU BANGUNAN STRUKTUR BETON BERKOLOM MIRING TERHADAP GAYA GEMPA LATERAL

MUHAMMAD SOFYAN; RR. MEKAR AGENG KINASTI; ABDUL ROKHMAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK – PLN (STT-PLN)

JURNAL FORUM MEKANIKA

VOL. 6 NO. 1

HAL. 1 - 60

JAKARTA, MEI 2017

ISSN : 2356-1491

EFISENSI PENGANTIAN PIPA PENSTOCK PLTA SIMAN DENGAN METODE WELDED LAP JOINT

RANTI HIDAYAWANTI

Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email: ranti3780@gmail.com

Abstrak

Penstock PLTA Siman telah mengalami beberapa perbaikan antara lain perbaikan kebocoran dengan dilakukan pengelasan, penggantian paku keling (rivet) dan coating. Oleh karenanya, perlu dilakukan pengkajian tentang penggantian penstock PLTA Siman. Pekerjaan penggantian PLTA Siman harus kajian yang komprehensif dan up to date mengenai operasi PLTA Siman, lingkungan, peralatan, dan resiko pekerja yang terlibat dalam pekerjaan penggantian penstock tersebut. PLTA Siman terletak di posisi paling akhir dari cascade 3 PLTA Selorejo – Mendalan – Siman dengan energy utama diambil dari bendungan Selorejo. Dari bendungan Selorejo, secara berturut turut air dimanfaatkan sebagai energy primer di PLTA Selorejo, kemudian PLTA Mendalan, dan yang terakhir PLTA Siman. Output dari PLTA Mendalan ditampung terlebih dahulu di kolam tando PLTA Siman. Dari kolam tando, air dialirkan melalui sebuah saluran tertutup hingga sampai ke rumah katub, yang mempunyai fungsi utama untuk isolating (melalui peralatan main valve) dan untuk membuang tekanan berlebih (melalui peralatan surge tank). Dari rumah katub ini, air dialirkan melalui sebuah pipa tertutup (penstock) sebelum dipecah masing masing untuk 3 unit turbine generator PLTA Siman. Perencanaan penggantian Penstock PLTA Siman dilakukan agar dalam pelaksanaan penggantian penstock PLTA Siman seluruh risiko sudah dipetakan sehingga dapat diminimalisir kesalahan-kesalahan teknis terkait penggantian penstock ini. Jenis sambungan sangat berpengaruh terhadap hasil pekerjaan penggantian penstock ini sehingga dari beberapa jenis sambungan penstock maka dipilih Welded Lap Joint dan Welded Butt Joint yang merupakan paling efektif dan efisien untuk pekerjaan pengelasan penggantian penstock ini. Sementara dari sisi topografi area kerja maupun pemilihan material yang tepat, sangat membantu untuk mengantisipasi penyelesaian pergeseran yang mungkin terjadi akibat kontraksi dari perubahan suhu

Kata kunci : pipa tertutup, Pengelasan, topografi

Abstract

Penstock of PLTA Siman had experienced several improvements such as leak repair with welding, rivet and coating replacement. Therefore, an assessment of PLTA Siman displacement is required. PLTA Siman displacement work must be reviewed comprehensively and up-to-date on operations, environmental, equipment, and risks of worker involved in replacing the penstock work. PLTA Siman is located in the last position of cascade 3 PLTA Selorejo - Mendalan - Siman with primary energy taken from Selorejo dam. From the Selorejo dam, in sequence water is used as primary energy in PLTA Selorejo, then PLTA Mendalan, and ended at PLTA Siman. The output of the PLTA Mendalan is accommodated first in the PLTA Siman pond. From the pond, water is flowed through a closed channel to the main valve, which has a primary function for isolating (via the main valve equipment) and for removing excess pressure (via surge tank equipment). From this main valve, water is flowed through a penstock before being split for 3 units of PLTA Siman generator turbine PLTA. The replacement planning of penstock PLTA Siman is done so that the implementation during the replacement work has covered all the risk that might arise so that mistakes of replacement work can be minimized. The type of joint is very influential on the result of this penstock replacement. From several type of penstock joint, Welded Lap Joint and Welded Butt Joint are the most effective and efficient for welding work of this penstock replacement. while from the topographical of the work area as well as proper material selection, it is helpful to anticipate the completion of possible friction due to contraction of temperature changes

Keywords : Penstock, welded lap joint, topography

I. Latar Belakang

Pusat Listrik Tenaga Air Siman (PLTA Siman) merupakan salah satu pembangkit di perbatasan kabupaten Kediri dan Malang yang dibangun sejak zaman penjajahan Belanda.

PLTA Siman berdiri sekitar tahun 1930 yang merupakan rangkaian terakhir unit

pembangkit tenaga listrik yang menggunakan aliran kali Konto sebagai sumber energi air untuk membangkitkan tenaga listrik. Pada tahun 1933

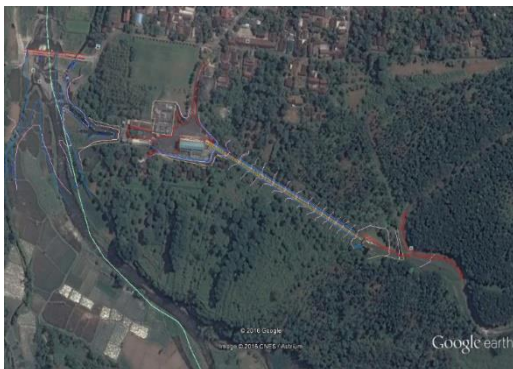
PLTA Siman mulai beroperasi dengan menggunakan 3 unit turbin generator.

PLTA Siman memiliki tiga unit pembangkit listrik dengan kapasitas daya masing-masing 3,6 MW dan merupakan type PLTA yang menggunakan Turbin type Francis vertikal dengan tinggi jatuh (head) 100 meter yang bekerja pada putaran nominal 500 rpm. PLTA Siman memasok listrik untuk keperluan daerah sekitar (Siman, Kepung, Puncu) dan GI Sekar Putih.

Data Teknis Penstock PLTA Siman adalah Penstock welded steel dengan panjang 258,5 meter; diameter 1,85 meter; tebal 18 mm. Pipa penstock terbuat dari pelat baja bertumpu pada concrete saddle dilengkapi dengan expansion joint dan dismantling joint sehingga dapat bergeser pada saat terjadi kontraksi akibat perubahan suhu. Pipa penstock dilengkapi dengan manhole yang dapat digunakan untuk keperluan pemeliharaan. Pada posisi tumpuan pipa dilapisi dengan pelat tahan karat.

Berdasarkan historis peralatan, diketahui penstock PLTA Siman telah mengalami perbaikan antara lain perbaikan kebocoran dengan dilakukan pengelasan, penggantian paku keling (rivet) dan coating. Oleh karenanya, penggantian penstock PLTA Siman harus dapat menjadi acuan yang komprehensif dan *up to date* bagi pekerjaan penggantian penstock PLTA Siman baik dari segi operasi PLTA Siman, finansial perusahaan PT PJB UP Brantas serta resiko pekerja, lingkungan dan peralatan di PLTA Siman.

Penggantian Penstock menjadi tantangan dikarenakan topografi dari PLTA Siman. Lokasi pengukuran di PLTA Siman relatif kecil, curam dan memanjang dengan kondisi lapangan terbuka.



Gambar 1: Pemetaan Topografi PLTA Siman

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui metode pelaksanaan yang efisien dan aman sehingga durasi waktu pelaksanaan penstock yang diharapkan maksimal 90 hari atau kurang bisa dicapai.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan alternatif pemecahan dalam mengatasi permasalahan penggantian penstock PLTA Siman, dengan harapan para pembaca nantinya dapat mengerti bagaimana kondisi topografi PLTA Siman dan rencana penggantian penstock PLTA Siman yang selanjutnya dapat dijadikan rujukan dalam melakukan penggantian penstock.

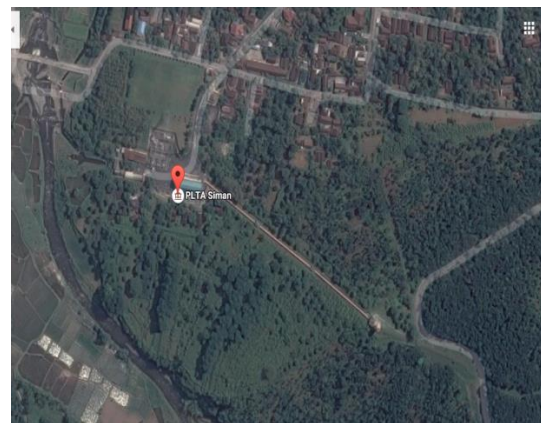
Batasan Penelitian

Lingkup dan batasan dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya pada PLTA Siman
2. Focus penelitian ini ada pada strategi rencana penggantian penstock PLTA Siman.

II. Metode Penelitian

Lokasi PLTA Siman adalah di desa Pondok Agung, kecamatan Kasembon, kabupaten Malang, Propinsi Jawa Timur.



Gambar 2. Lokasi PLTA Siman

PLTA Siman berada di area seluas ± 4 hektar yang meliputi daerah surge tank, area pembangkit sampai dengan out let dibagian sungai. Adapun metode pengambilan data ukur lapangan antara lain :

1. Pembuatan titik referensi koordinat

Pembuatan titik referensi koordinat yang dimaksudkan adalah pengukuran koordinat dengan GPS Navigasi Trimble Juno di 2 titik kontrol (sepasang) untuk mendapatkan koordinat temporer pengukuran. Koordinat temporer hasil pengukuran GPS Navigasi ini hanya digunakan sebagai pendekan koordinat dan pendekatan arah pengukuran dimana koordinat hasil pengukuran GPS Navigasi ini tidak digunakan pada peta karena koordinat final yang digunakan adalah koordinat yang telah melalui koreksi jarak antar titik hasil GPS dan Jarak Langsung dari Total Station serta telah melalui proses pergeseran dan rotasi untuk penyesuaian koordinat google imaginary.

2. Pembuatan titik referensi elevasi

Pembuatan titik referensi elevasi yang dimaksudkan adalah penentuan nilai tinggi dimasing masing titik terukur yang mengacu pada 1 titik acuan yang digunakan sebagai nilai awal pembuatan notasi elevasi pada peta hasil pengukuran.

Notasi elevasi ini di buat dari hasil proses data pengukuran dengan menentukan 1 titik sebagai elevasi terendah, sehingga penentuan nilai elevasi ini dilakukan post processing atau pada saat pemrosesan data ukur. Pembuatan Notasi elevasi pada hasil peta kali ini mengacu dari elevasi terendah dasar sungai terukur yang kemudian ditularkan ke 2 titik referensi koordinat

3. Pembuatan titik STA

Pembuatan pembuatan titik STA yang dimaksud adalah pembuatan titik rencana stasiun berdirinya alat untuk melakukan pengukuran potongan melintang dan pengukuran detail situasi.

4. Pengukuran Potongan memanjang dan melintang Penstock

Pengukuran potongan memanjang Penstock dilakukan menggunakan total station pada interval 10 meter dari surge tank sampai dengan power house untuk mendapatkan gambaran potongan memanjang bagian atas penstock. Pengukuran memanjang juga dilakukan di tanah existing kanan dan kiri penstock untuk mendapat gambaran potongan memanjang tanah existing di bawah penstock. Pengukuran potongan melintang dilakukan pada STA yang telah terpasang pada interval 10 meter dengan koridor 15 meter atau hingga diluar pagar batas area penstock.

5. Pengukuran Dimensi bangunan

Pengukuran Pengukuran Dimensi bangunan dilakukan dengan menggunakan Roll Meter dan Distometer dengan menghubungkan titik terukur dari total station ke dimensi bangunan/konstruksi sehingga didapatkan jarak dan ukuran langsung dimensi bangunan yang akan ditampilkan pada peta hasil pengukuran.

6. Pengukuran detail situasi

Pengukuran Detail situasi dimaksudkan untuk mendapatkan koordinat dan sampel ketinggian yang merata di lahan terukur guna pembuatan peta kontur. Pengukuran detail situasi dilakukan pada seluruh bagian area ukur yaitu dari jalan di surge tank hingga sungai di outlet.

7. Processing data

Pemrosesan data ukur yang dimaksud adalah dilakukannya pemrosesan Data Ukur dari Total station dan pengukuran dimensi bangunan untuk dijadikan 1 kesatuan menjadi data koordinat dan elevasi sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk

vektor untuk menghasilkan peta topografi area ukur yang memiliki sistem koordinat.

8. Penggambaran

Proses penggambaran atau biasa disebut proses drafting merupakan proses penterjemahan data posisi, elevasi dan kode-kode hasil pengukuran yang kemudian dilakukan penamaan, penandaan, penyimbolan, penarikan garis kontur, penyekalaan dan lain sebagainya sehingga dihasilkan peta yang sesuai dengan dengan kondisi lapangan.

9. Hasil pengukuran

Hasil pengukuran berupa laporan, peta topografi, dan gambar potongan memanjang dan melintang.

III. Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan kondisi umum dari area geografis PLTA Siman terdapat beberapa permasalahan yang dapat menimbulkan dampak pada pemasangan Penstock yang baru. Pipa penstock terbuat dari pelat baja bertumpu pada concrete saddle dilengkapi dengan expansion joint dan dismantling joint sehingga dapat bergeser pada saat terjadi kontraksi akibat perubahan suhu.

Pipa penstock dilengkapi dengan manhole yang dapat digunakan untuk keperluan pemeliharaan. Pada posisi tumpuan pipa dilapisi dengan pelat tahan karat.

Data Desain Pipa Penstock :

- Jumlah = 1 jalur
- HWL = 100,0 m
- EL. Turbin = 0,0 m
- Head = 100,0 m
- Water hammer = 10,1 m
- Head disain = 110,1 m
- Debit = 14,5 m³/det
- Diameter pipa induk = 1,80m
- Luas penampang, A = 2,54m²
- Vmaks. = 5,7 m/det
- Panjang pipa = 263,00 m
- Bahan, JIS G3106, SM 50, Sa = 1650 kg/cm²

Expansion Joint

Expansion joint dengan disain standard yang dapat bergeser secara mulus tanpa terjadi kebocoran dari permukaan penstock yang bergeser. Expansion joint harus dapat bergeser minimal sepanjang kurang lebih 100 mm. Permukaan geser terbuat dari baja tahan karat dilengkapi rubber seal dan gland packing segi empat dan diberi pelumas dan dipres dengan baut penekanan.

Dismantling Joint

Dismantling joint digunakan sebagai kelengkapan expansion joint dengan tujuan agar expansion joint dapat dilepas dari pipa penstock bila diperlukan.

Manhole

Manhole adalah kelengkapan dari pipa irigasi berupa lubang oval dengan ukuran 600 mm x 500 mm dipasang agar orang dapat masuk kedalam pipa irigasi pada saat inspeksi maupun pemeliharaan. Lokasi pemasangannya pada posisi bawah pipa menyamping 45 derajat. Lobang oval tersebut dilengkapi dengan pintu penutup ber-engsel di bagian bawah sehingga dapat dibuka dan ditutup dengan mudah. Agar pintu manhole tertutup dengan rapat maka pintu dilengkapi dengan rubber seal dan dieratkan dengan baut pengikat ke flans di sekeliling tepi manhole.

Pelat Bantalan

Sesuai hasil peninjauan lapangan permukaan bantalan lama yang terbuat dari baja konstruksi sudah dalam kondisi korosi. Dalam pekerjaan ini permukaan tumpuan harus dilepas dan diganti dengan pelat baru terbuat dari baja tahan karat yang disambung pada bantalan lama dengan las busur listrik.

Tinjauan Desain Pipa Penstock

Data Desain :

- Jumlah = 1 jalur
- HWL = 100,0 m
- EL. Turbin = 0,0 m
- Head = 100,0 m
- Water hammer = 10,1 m
- Head desain = 110,1 m
- Debit = 14,5 m³/det
- Diameter pipa induk = 1,80m
- Luas penampang, A = 2,54m²
- Vmaks. = 5,7 m/det
- Panjang pipa = 263,00 m
- Bahan, JIS G3106, SM 50, Sa = 1650 kg/cm²

Perubahan Head akibat Water Hammer

$$\text{Kecepatan Tekanan : } a = \frac{10.000}{n^{0,5}}$$

$$\text{Dimana, } n = 50 + \frac{0,5 \times D}{t}$$

$$\text{Diameter pipa, } D = 102,54 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal pipa, } t = 0,80 \text{ cm}$$

$$n = 50 + \frac{0,5 \times 102,54}{0,8} = 114,09 \text{ speed}$$

$$a = \frac{10.000}{114,09^{0,5}} = 936,22 \text{ m/det}$$

Water Hammer

$$\text{Allievi formula : Konstanta, } r = \frac{a \times T}{2 \times L}$$

Dimana :

$$\text{Pressure wave speed, } a = 936,22 \text{ m/det}$$

$$\text{Panjang pipa, } L = 263 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran, } V = 5,68 \text{ m/det}$$

$$\text{Gravitasi, } g = 9,81 \text{ m/det}$$

$$\text{Gate closing speed, } T = 6 \text{ det}$$

$$r = \frac{936,22 \times 6}{2 \times 263} = 10,68 > 1$$

Untuk $r > 1$

$$\text{Kenaikan head, } h = H \times (n + ((n^2 + 4)^{0,5})) \times \frac{n}{2}$$

$$\text{Hydrostatic head, } H = 100 \text{ m}$$

$$n = \frac{L \times V}{g \times H \times T} = \frac{263 \times 5,68}{9,81 \times 100 \times 6} = 0,10$$

$$h = 100 \times (0,1 + ((0,1^2 + 4)^{0,5})) \times \frac{0,1}{2} = 10,13 \text{ m}$$

Tegangan Yang Timbul

a. Tegangan tarik yang timbul akibat tekanan hidrostatik

$$S_x = \frac{P \times D}{2 \times t} = \frac{1982,330}{3,22} = 615 \text{ kg/cm}^2$$

dimana,

$$\text{Tekanan hidrostatik yang bekerja, } P = 11,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Diameter dalam pipa, } D = 180,0 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal pipa dikurangi korosi, } t = 1,6 \text{ cm}$$

b. Tegangan tarik yang timbul akibat momen bending

$$M = \frac{(W + W_o) \times I^2}{12} = \frac{(25,43 + 3,79) \times 600^2}{12} = 87633,3 \text{ kgcm}$$

dimana,

$$\text{Berat air per satuan panjang, } W = 25,4 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Berat pipa per satuan panjang, } W_o = 3,8 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Jarak antara saddle, } I = 600 \text{ cm}$$

$$\text{Modulus section pipa, } Z = 43306,8 \text{ cm}^3$$

$$\text{Koefisien gempa} = 1,12$$

$$S_{y1} = \frac{M \times 1,12}{Z} = 22,7 \text{ kg/cm}^2$$

c. Tegangan tarik yang timbul akibat pemasangan ring

$$S_{y2} = \frac{\pm 1,82 \times (tr \times hr)}{A_r}$$

dimana,

$$tr = \text{tebal ring}$$

$$hr = \text{tinggi ring}$$

$$A_r = \text{luas efektif ring}$$

d. Tegangan tarik akibat perubahan suhu

$$S_{y3} = \frac{f \times s \times (W \times W_o) \times L}{A_s} = \frac{0,15 \times (25,43 \times 3,79) \times 600}{482,43} = 5,5 \text{ kg/cm}^2$$

dimana,

$$\text{Koefisien gesek, } f = 0,2$$

$$\text{Berat air per satuan panjang, } W = 25,4 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Berat pipa per satuan panjang, } W_o = 3,8 \text{ kg/cm}$$

Jarak antara saddle, $l = 600\text{cm}$
 Luas permukaan tumpuan, $A_s = 482,4\text{ cm}^2$

$$e. \text{ Tegangan geser pada support}$$

$$T = \frac{2x(W + W_o)xI}{A_s} = \frac{2x(25,43 + 3,8)x600}{482,43}$$

$$= 72,7\text{kg/cm}^2$$

f. Tegangan yang timbul akibat berat sendiri pada posisi miring

$$S_{y_4} = \frac{3,14xtx(D + t)x7,85x10^{-3}x\sin a}{A}$$

$$= \frac{3,14x1,61x(180 + 1,61)x8766,67x7,85x0,407}{909,972x1000}$$

$$= \frac{25698793}{909972} = 28,2\text{ kg/cm}^2$$

dimana,

Tebal pipa, $t = 1,61\text{cm}$
 Diameter dalam pipa, $D = 180,00\text{ cm}$
 Panjang pipa antar blok, $L = 8766,67\text{cm}$
 Berat jenis baja, $= 0,79\text{ kg/cm}^3$
 Sudut pipa, $\sin a = 24,00 = 0,407$
 Luas penampang pipa, $A = 909,97\text{ cm}^2$

$$S_y = S_{y_1} + S_{y_2} + S_{y_3} + S_{y_4} = 78,3\text{ kg/cm}^2$$

Tegangan kombinasi,

$$S_g = (S_x^2 + S_y^2 - S_x S_y + 3xT^2)^{0,5}$$

$$= 603,8\text{kg/cm}^2 < S_a$$

1. Perubahan Panjang Penstock akibat Perbedaan Suhu, dL

$$dL = 0,0000116xL\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$L = 87,67\text{m}$$

Dari exp. joint sampai tikung $= 87667\text{ mm}$

Suhu udara maksimum $= 32\text{ }^{\circ}\text{C}$

Suhu udara minimum $= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$

Suhu udara rata-rata, $t_1 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Suhu air $t_2 = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$

$dt = -4\text{ }^{\circ}\text{C}$

$= 0,00\text{ meter}$

$= -4,07\text{ mm}$

$$S = E*dL/L \dots (+/-) = -97,44\text{ kg/cm}^2$$

bila memakai exp. joint $= 0,00\text{ kg/cm}^2$

Modulus elastisitas, $E = 2100000\text{ kg/cm}^2$

Pemilihan Jenis Sambungan Pipa

Jenis sambungan yang digunakan akan berpengaruh pada waktu yang diperlukan untuk setting dan waktu yang diperlukan untuk proses menyambung. Makin mudah disetting dan makin sedikit waktu yang diperlukan untuk proses penyambungan maka durasi instalasi makin pendek.

Beberapa jenis sambungan pipa penstock yaitu : Welded Lap Joints, Welded Butt Joint, Flexible solid-sleeve couplings. Mengingat harga flexible sleeve coupling cukup mahal maka dalam hal ini jenis sambungan tersebut tidak dijadikan pilihan. Sehingga alternatif penggunaan jenis sambungan pipa adalah jenis sambungan las Welded Lap Joints dan Welded Butt Joint. Berikut kajian perkiraan waktu untuk masing-masing jenis sambungan serta jumlah shift kerja.

Tabel 1: Alternatif sambungan Las

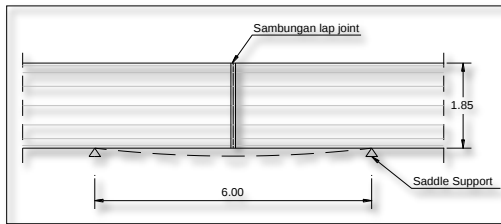
No.	Alternatif	Jumlah Shift	Jenis Sambungan	Durasi Kerja		
				Metal Work	Civil Work	Total Work
1	1a	3	Lap Joint	20	50	70
2	1b		Butt Joint	27	50	77
3	2a	2	Lap Joint	30	50	80
4	2b		Butt Joint	41	50	91
5	3a	1	Lap Joint	58	50	108
6	3b		Butt Joint	81	50	131

Dari masing-masing alternatif pilihan jenis sambungan diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Alternatif 1a : metode sambungan dengan Lap Joint, total hari kerja 70 hari, rencana kerja 3 shift, sulit cari tenaga kerja dan kerja malam hari terlalu beresiko buat tenaga kerja
- Alternatif 1b : metode sambungan dengan But Joint, total hari kerja 77 hari, rencana kerja 3 shift, sulit cari tenaga kerja dan kerja malam hari terlalu beresiko buat tenaga kerja
- Alternatif 2a : metode sambungan dengan Lap Joint, total hari kerja 80 hari, rencana kerja 2 shift (masih memungkinkan)
- Alternatif 2b : metode sambungan dengan But Joint, total hari kerja 91 hari, rencana kerja 2 shift (masih memungkinkan)
- Alternatif 3a : metode sambungan dengan Lap Joint, total hari kerja 108 hari, rencana kerja 1 shift, waktu pelaksanaan (durasi) terlalu lama
- Alternatif 3b : metode sambungan dengan But Joint, total hari kerja 131 hari, rencana kerja 1 shift, waktu pelaksanaan (durasi) terlalu lama

Perencanaan Sambungan Las

Sambungan las yang akan digunakan adalah jenis Welded lap joint. Welded lap joints dapat digunakan pada semua ukuran diameter dengan tekanan sampai 400 psi (2,757.9 kPa) atau lebih. Welded lap joints memungkinkan adanya sudut pada saat konstruksi sehingga pelaksanaan di lapangan dapat dilakukan dengan cepat karena pengelasannya dapat dilakukan disisi luar pipa saja namun bentuknya perlu modifikasi dengan penambahan plat butt-strap seperti sambungan jenis Butt-strap welding joints.



Gambar 3 : Sambungan Lap Joint pada Pipa Penstock

Sambungan lap joint direncanakan mampu menahan beban yang terjadi akibat berat sendiri penstock, berat air serta komponen-komponen lain yang dapat menyebabkan perubahan pada konstruksinya.

1. Gaya yang terjadi pada sambungan

Beban yang terjadi :

Beban pipa penstock ϕ 1.85 m = 815.6 kg/m

Berat air = 2.688 kg/m

Gaya geser (Tarik) yang terjadi = $0,5 \times WL$

= $0,5 \times (815,6 + 2688) \times 6 = 10511 \text{ kg}$

2. Perencanaan pelat sambungan

Gaya Tarik bekerja = 10511 kg

Digunakan plat tebal 18 mm

$T_n = A_g \times f_y = 5810 \times 165 = 17255700 \text{ N}$

= $1725570 < 10511 \text{ kg (OK)}$

3. Perencanaan Las

Persyaratan ukuran las :

Maksimum = tebal plat - 1.6 = $18 - 1.6 = 16.4 \text{ mm}$

Minimum = 6 mm

Digunakan las ukuran 10 mm

$t_e = 0.707 \times a$

= $0.707 \times 10 = 7.07 \text{ mm}$

Kuat rencana las sudut ukuran 10 mm per mm panjang

$$\phi R_{nw} = \phi \times t_e \times (0.6 \times f_{uw})$$

$$= 0.75 \times ((7.07) \times (0.6 \times 275))$$

$$= 874.913 \text{ N/mm}$$

Kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser pelat :

$$\text{Max } \phi R_{nw} = \phi t_e (0.6 \times f_u)$$

$$= 0.75 (18) (0.6 \times 165) = 1336.5 \text{ N/mm}$$

Beban tarik terfaktor, T_u :

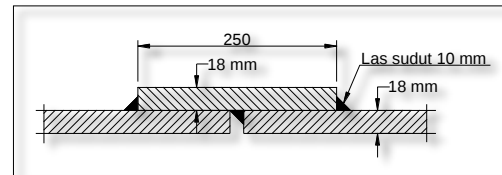
$$T_u = 1.4D = 1.4(10511) = 14715.4 \text{ kg} = 147154 \text{ N}$$

Panjang total las dibutuhkan, L_w :

$$L_w = 110.104 \sim 111 \text{ mm}$$

Panjang las digunakan (keliling pipa = 581 mm) dengan tebal 10mm

$$\text{Panjang plat minimum} = 2 L_w = 2 (111) = 222 \sim 250 \text{ mm}$$

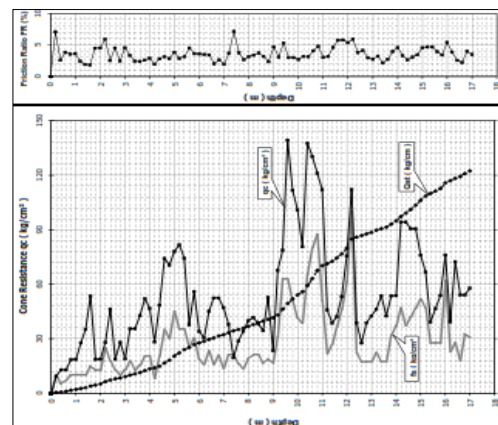


Gambar 4 Detail Sambungan Pipa Jenis Lap Joints

Perencanaan Pekerjaan Struktur

Berdasarkan site visit, penyelidikan lapangan dan studi laporan terdahulu dapat disampaikan hal-hal sebagai berikut :

- Struktur anchor block tetap digunakan dengan dibongkar bagian atas dan selanjutnya akan diberi tambahan concrete jacketing setelah pipa penstock dipasang.
- Struktur saddle existing tanpa modifikasi
- Berdasarkan sondir diketahui qc pada kedalaman sekitar 9 m adalah sebesar 140 kg/cm², tetapi pada kedalaman berikutnya qc menurun.

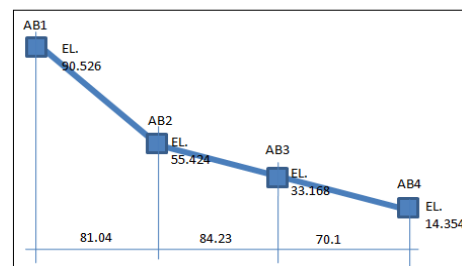


Gambar 5 : site visit lapangan

Perencanaan Struktur Anchor Block dan Saddle Support

Anchor block yang ditinjau adalah anchor block yang mempunyai beban kritis.

- Mutu bahan
 - Concrete jacketing K -225
 - Besi tulangan U-24
- Plan dan profile anchor block



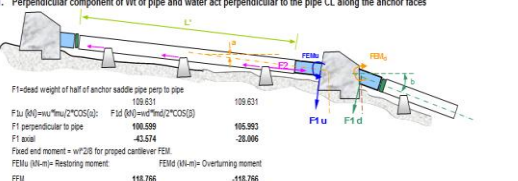
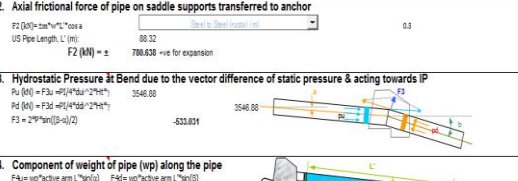
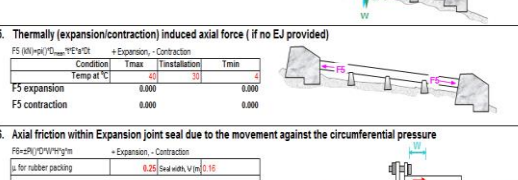
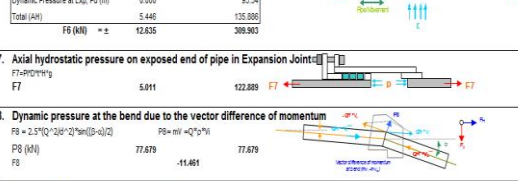
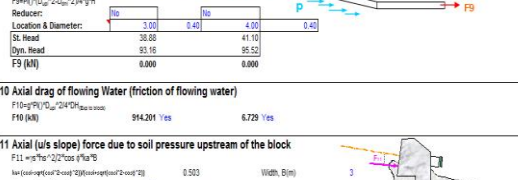
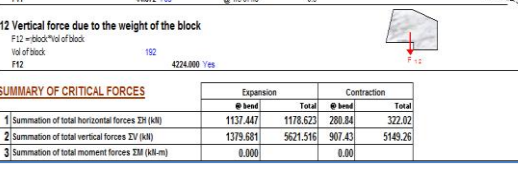
Gambar 6 : Perencanaan Struktur Anchor

c. Data perencanaan

Tabel 2: Tabel Perencanaan

Input			
Particulars	Upstream	Central	Downstream
Pipe dimensions			
Diameter (D)	1.85		1.85
Thickness	0.016		0.016
Shackle Spacing & number	6.50		6.50
Elevations			
	90.528	55.424	33.168
Horizontal Distance (m)			
	81.040		84.230
Vertical angles, a & b (deg)			
	23		15
Location of Expansion Joint			
	1		1
D/S Expansion Joint :			
	Yes		Yes
Output			
Weight of pipe, Wp (kN/m)	7.363		7.363
Weight of water, Ww (kN/m)	26.370		26.370
Total weight, W (kN/m)	33.732		33.732
Velocity, v (m/s)	5.376		5.376
Vertical angles, a & b (rad)	0.408749		0.258325

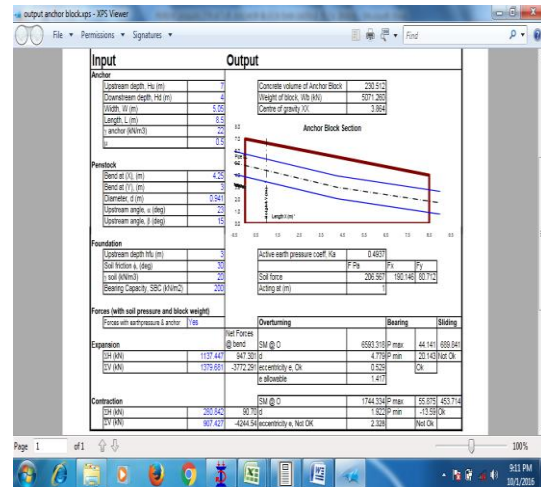
d. Pemodelan beban

1. Perpendicular component of W_h of pipe and water act perpendicular to the pipe CL along the anchor faces  $F1 = \text{dead weight of half of anchor saddle pipe perp to pipe}$ $F2 = W_p \sin(\theta) \cos(\alpha) \cos(\beta)$ $F3 = W_p \sin(\theta) \sin(\alpha) \cos(\beta)$ $F4 = W_p \cos(\theta) \cos(\alpha) \cos(\beta)$ $F5 = W_p \cos(\theta) \sin(\alpha) \cos(\beta)$ $F6 = W_p \sin(\theta) \cos(\alpha) \sin(\beta)$ $F7 = W_p \sin(\theta) \sin(\alpha) \sin(\beta)$ $F8 = W_p \cos(\theta) \cos(\alpha) \sin(\beta)$ $F9 = W_p \cos(\theta) \sin(\alpha) \sin(\beta)$ $F10 = W_p \sin(\theta) \cos(\alpha) \cos(\beta)$ $F11 = W_p \sin(\theta) \sin(\alpha) \cos(\beta)$ $F12 = W_p \cos(\theta) \cos(\alpha) \cos(\beta)$			
2. Axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor  $F1 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F2 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F3 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F4 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F5 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F6 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F7 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F8 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F9 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F10 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F11 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$ $F12 = \text{axial frictional force of pipe on saddle supports transferred to anchor}$			
3. Hydrostatic Pressure at Bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP  $F1 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F2 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F3 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F4 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F5 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F6 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F7 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F8 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F9 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F10 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F11 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$ $F12 = \text{hydrostatic pressure at bend due to the vector difference of static pressure & acting towards IP}$			
4. Component of weight of pipe (wp) along the pipe  $F1 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F2 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F3 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F4 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F5 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F6 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F7 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F8 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F9 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F10 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F11 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$ $F12 = \text{component of weight of pipe (wp) along the pipe}$			
5. Thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)  $F1 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F2 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F3 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F4 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F5 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F6 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F7 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F8 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F9 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F10 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F11 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$ $F12 = \text{thermally (expansion/contraction) induced axial force (if no EJ provided)}$			
6. Axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure  $F1 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F2 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F3 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F4 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F5 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F6 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F7 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F8 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F9 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F10 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F11 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$ $F12 = \text{axial friction within Expansion joint seal due to the movement against the circumferential pressure}$			
7. Axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint  $F1 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F2 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F3 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F4 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F5 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F6 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F7 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F8 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F9 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F10 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F11 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$ $F12 = \text{axial hydrostatic pressure on exposed end of pipe in Expansion Joint}$			
8. Dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum $F1 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F2 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F3 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F4 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F5 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F6 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F7 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F8 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F9 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F10 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F11 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$ $F12 = \text{dynamic pressure at the bend due to the vector difference of momentum}$			
9. Axial (small diameter) force on Reducer $F1 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F2 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F3 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F4 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F5 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F6 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F7 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F8 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F9 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F10 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F11 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$ $F12 = \text{axial (small diameter) force on Reducer}$			
10. Axial drag of flowing water (friction of flowing water) $F1 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F2 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F3 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F4 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F5 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F6 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F7 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F8 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F9 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F10 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F11 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$ $F12 = \text{axial drag of flowing water (friction of flowing water)}$			
11. Axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block $F1 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F2 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F3 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F4 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F5 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F6 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F7 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F8 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F9 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F10 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F11 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$ $F12 = \text{axial (u/s) force due to soil pressure upstream of the block}$			
12. Vertical force due to the weight of the block $F1 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F2 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F3 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F4 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F5 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F6 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F7 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F8 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F9 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F10 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F11 = \text{vertical force due to the weight of the block}$ $F12 = \text{vertical force due to the weight of the block}$			
SUMMARY OF CRITICAL FORCES			
	Expansion	Total	Contraction
1. Summation of total horizontal forces ZH (kN)	1137.447	1176.623	280.84
2. Summation of total vertical forces ZV (kN)	1379.681	5621.516	907.43
3. Summation of total moment forces ZM (kN-m)	0.000		0.00

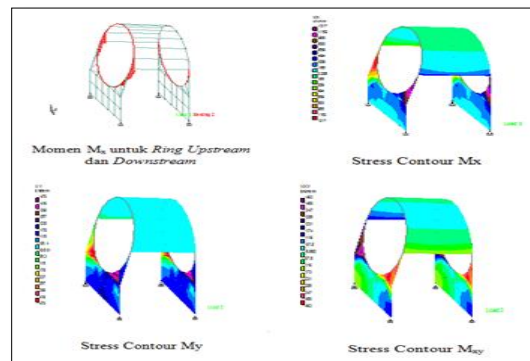
Gambar 7 : Permodelan Beban

e. Evaluasi stabilitas anchor block

Tabel 3 : Evaluasi Anchor Block

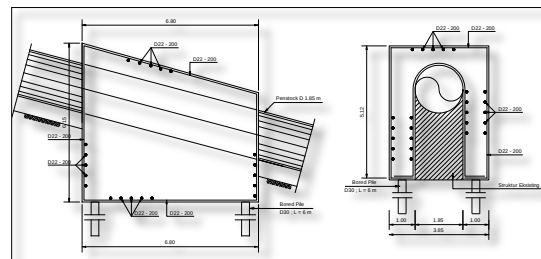


Berdasarkan output perencanaan diketahui bahwa anchor block tidak aman terhadap sliding pada kondisi expansion dan terjadi tegangan tarik - 1.6 ton pada kondisi contraction, sehingga perlu ditambah bored pile untuk mengatasi sliding dan tegangan tarik. Digunakan 2 bored pile untuk bagian upstream dan 2 bored pile untuk bagian downstream, dengan allowable pull out 2 bored pile adalah 3.1 ton (2 @1.03 ton).



Gambar 8 : output gaya-gaya dalam

Penulangan concrete jacketing adalah tulangan dua lapis D22 - 200, dengan sketsa penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 9 : Output Perencanaan

IV. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan, tegangan kombinasi yang terjadi pada material pipa jenis SM 50 (JIS G3106) dengan diameter pipa 1.8 meter dan ketebalan pipa 1.6 cm adalah $603,8 \text{ kg/cm}^2 < (\text{lebih kecil})$ dari tegangan ijin material SM 50 = 1650 kg/cm^2 . Oleh karenanya pipa dengan ketebalan 1.8 cm aman untuk digunakan.
2. Berdasarkan pertimbangan waktu pelaksanaan yang mempengaruhi waktu shutdown sistem pembangkit dan faktor kemudahan pelaksanaan maka alternatif 2a dipilih sebagai metode penggantian pipa penstock PLTA Siman yaitu menggunakan sambungan Lap joint dengan total durasi shutdown 80 hari. Total durasi shutdown 80 hari adalah hanya untuk pelaksanaan pekerjaan pembongkaran pipa penstock lama, pemasangan pipa penstock baru ditambah dengan pelaksanaan pekerjaan sipil. Waktu shutdown 80 hari tidak termasuk waktu untuk pekerjaan persiapan, pengadaan dan transportasi bahan/material.
3. Perlu penambahan ditambah bored pile untuk mengatasi sliding dan tegangan tarik dikarenakan anchor block tidak aman terhadap sliding pada kondisi expansion dan terjadi tegangan tarik -1.6 ton pada kondisi contraction.

Saran

Akses jalan eksisting menuju PLTA Siman merupakan Jalan Kabupaten dan melewati pemukiman warga Kecamatan Kasembon. Dimana selama masa konstruksi perlu adanya perbaikan ringan untuk akses peralatan maupun material untuk pekerjaan penggantian penstock PLTA Siman.

Daftar Pustaka

- Bambang Triatmojo, 1993, *Hidraulika II*, Yogyakarta, Beta Offset.
- Bruce R. Munson, 1991, *Hidraulika*, Jakarta, Erlangga
- Dokumen Manajemen Risiko (DMR) PT PJB UP Brantas. 2016. Penggantian penstock PLTA Siman
- Harto Br, S. 1993. *Analisis Hydrologi*. Jakarta: PT GramediaPustakaUtama
- Mosonyi, E. 2009. *Water Power Development, Vol. 1 Low head Power Plants*. Budapest: Water Power Development
- Victor L. Streeter, 1986, *Mekanika Fluida*, Jakarta, Erlangga
- Varshney, R.S. 1977. *Hydro-Power Structure*. India : N.C Jain at the Roorkee Press
- Ramos, Helena. 2000. *Guidelines For Design Small Hydro power Plants*. Irelandia : WREAN (Western Regional Energy Agency & Network) and DED (Department of Economic development)