

TINJAUAN KEMBALI DISAIN SIPHON BARU CIBEET DI BTB 23/ PENGGANTIAN BARREL SIPHON BETON KE PIPA HDPE

(Revised Design for New Cibeet Siphon at BTb.23/Replacement of The Reinforced Concrete Siphon Barrel Structure to HDPE Pipe)

Indra Budi, Welli Juli Putra Gea¹, Silviati²

Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Borobudur

ABSTRAKI

Pengerjaan konstruksi beton bertulang barrel siphon yang memotong sungai sudah jelas dikerjakan di bawah elevasi dasar sungai. Sementara ketentuan pelaksanaan tidak diperkenankan menghambat aliran sungai, karena sungai tersebut adalah saluran transmisi untuk memasok air baku di berbagai kebutuhan. Dan pada lokasi tersebut sangat rapat dengan pemukiman. Dasar pemikiran untuk menggagas metode kerja dalam melaksanakan pekerjaan ini selalu dimulai dari bawah elevasi dasar sungai. Hal ini dilakukan berulang-ulang untuk menemukan metode kerja yang ideal. Ternyata menemukan kebuntuan. Untuk mengatasi kebuntuan tersebut maka hal pertama yang harus berubah adalah dasar pemikirannya. Sehingga tidak lagi memulai pekerjaan ini dari bawah elevasi dasar sungai. Tetapi dari permukaan air ke elevasi dasar sungai dengan memadukan hukum alam yang dirumuskan Archimedes. Perubahan ini juga merubah material serta penampang konstruksi barrel siphon. Tetapi konsekwensinya perubahan penampang tersebut harus dapat mengalirkan debit rencana $Q_{rencana}=13,50 \text{ m}^3/\text{det}$ serta memastikan metode kerja aman. Debit air yang dapat dialirkan oleh penampang barrel siphon setelah perubahan $Q_{total}=14,7779 \text{ m}^3/\text{det}$. Pengontrolan metode kerja juga aman. Sehingga peninjauan kembali design awal siphon ke design yang baru layak.

Kata kunci : siphon, *barrel*, debit, metode kerja

PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah penduduk akan me-ningkatkan pula jumlah kebutuhan air ba-ku. Dengan demikian, harus diantisipasi agar sumber air tetap stabil dan terjaga kualitas ataupun kuantitasnya. Maka segala sesuatu yang berpotensi me-nurunkan kualitas dan kuantitas air tersebut segera dilakukan antisipasinya.

Pada ruas saluran transmisi Saluran Tarum Barat (STB) di antara Btb 22 dengan Btb 23a terdapat saluran irigasi Cibeet Feeder Canal (CFC) dari bendung Cibeet yang memasuki STB. Saluran tersebut banyak mengandung material sedimen berkonsentrasi tinggi. Hal tersebut di atas akan mengakibatkan dua kerugian yaitu menurunnya kualitas dan kuantitas air baku. Sedimentasi akan mengakibatkan mengecilnya penampang basah saluran sehingga debit air baku

¹ Alumni Fakultas Teknik Universitas Borobudur, Jakarta

² Dosen Fakultas Teknik Universitas Borobudur, Jakarta

yang mengalir pada saluran menjadi kecil. Sementara kebutuhan air baku dari waktu ke waktu semakin bertambah.

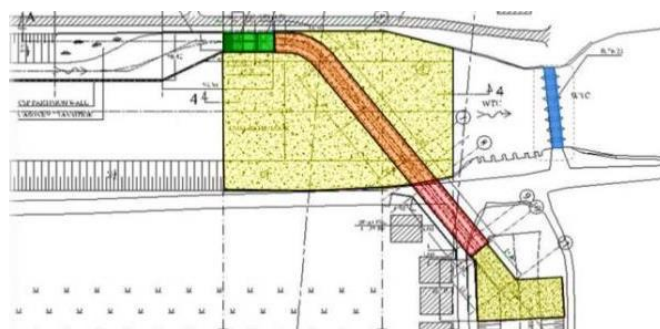
Untuk mencegah hal tersebut di atas maka aliran yang berasal dari Cibeeet Fedeer Canal (CFC) dipisahkan dari aliran STB dari mulai pertemuan CFC dengan STB hingga mencapai inlet Kedung Gede Irrigation Canal. Secara teknis dapat dilakukan :

- Membangun dinding penyekat dengan memancang CCSP (Corrugated Concrete Sheet Pile) dari awal CFC ke STB hingga Btb 23 sebelum posisi Kedung Gede Irrigation Canal.
- Membelokkan aliran dari CFC ke Kedung Gede Irrigation Canal memo-tong penampang STB, dengan membangun siphon baru.

METODOLOGI

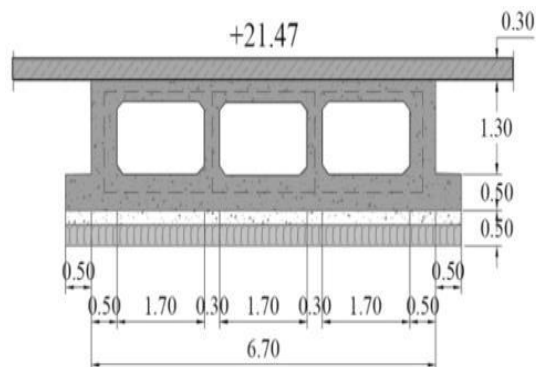
Gambar Design Awal

Plan konstruksi Siphon Awal



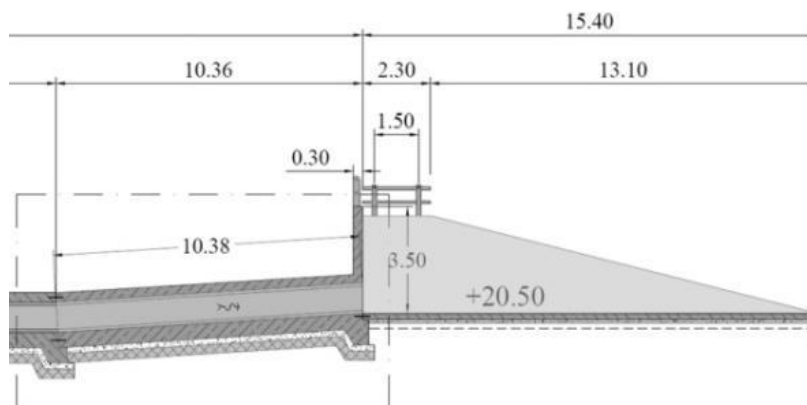
Gambar 1. (Sumber Shop Drawing WTC package-1 Karawang)

Konstruksi inlet berukuran panjang 16,20 m, lebar 6,70 m, dipasang dinding partisi di tengahnya pada 10,50 m pertama. Pada panjang 5,70 m yang kedua tidak ada dinding partisi dengan elevasi dasar +19,87 lebih rendah 1,60 m dari yang pertama hingga sampai konstruksi barrel siphon. Konstruksi barrel siphon tiga buah barrel persegi ukuran penampang dalam @ tinggi 1,00 m, lebar 1,70 m dan panjang barrel 100,50 m. Konstruksi ini dilindungi oleh beton apron setebal 0,30 m. Alignment vertikal relatif rata. Sedangkan alignment horizontal terdapat tikungan sepanjang 18,50 m.



Gambar 2. Konstruksi Barrel Siphon awal
(Sumber Shop Drawing WTC package-1 Karawang)

Konstruksi outlet siphon dipasang pada elevasi +20,50, pada lantainya dilindungi dengan beton apron setebal 0,20 m yang bertujuan untuk melindungi saluran dari derasnya air yang keluar dari outlet siphon, mengingat kecepatan air pada barrel siphon cukup tinggi.



Gambar 3. Konstruksi Outlet Siphon awal
(Sumber shop drawing WTC package-1 Karawang)

Kondisi Lapangan

Kondisi lapangan konstruksi siphon baru Cibeet digambarkan seperti di bawah ini :

- Kondisi pada tanggul kiri perumahan penduduk. Sekitar 4 m dan 20 m dari bibir tanggul terdapat instalasi pipa gas dia. 40 cm.
- Kondisi pada tanggul kanan jalan raya Kalimantan dan lokasi persawahan. Kearah downstream terdapat Kedung Gede Irrigation Canal dimana posisi outlet konstruksi siphon nantinya.
- Kondisi pada tanggul kanan terdapat bangunan intake saluran irigasi Kedung Gede telah berusia sekitar 50 tahunan.
- Elevasi rerata tanggul kiri +25,884 dan tanggul kanan +25,895

Ketentuan Pelaksanaan

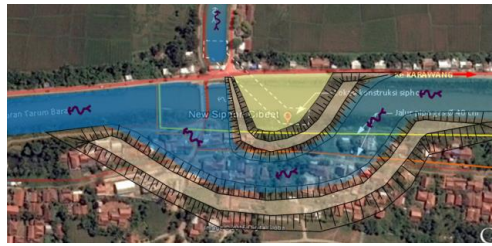
Adapun kondisi-kondisi yang harus jadi perhatian dalam melaksanakan pekerjaan adalah :

- Pekerjaan tidak boleh menghambat aliran pada STB. Hal ini karena dapat mengganggu pasokan air baku bagi ke-butuhan irigasi, industri dan masyarakat Jakarta.
- Pekerjaan tidak boleh membahayakan infra stuktur dan masyarakat pada STB.

Alternatif Metode sebagai Draft Metode Kerja

A. Pengalihan Alur Saluran Tarum Barat

Untuk mengakomodir ketentuan pelak-sanaan di atas, aliran STB dialihkan meng-hindari lokasi konstruksi pada alur STB.



Gbr 4. Alternatif-1 Metode Pengalihan alur STB (sumber Penulis)

Kelebihan dari metode ini adalah :

- Tidak mengganggu aliran.
- Bekerja dalam kondisi kering.
- Mutu pekerjaan baik.

Kelemahan dari metode ini adalah :

- Jalur pipa gas dilalui alur pengalihan.
- Banyak rumah warga yang tergusur.
- Biaya terlalu mahal
- Waktu konstruksi panjang.

Draft metode ini bukan pilihan

B. Pengerjaan Menggunakan Pompa

Debit yang mengalir pada STB akan di alirkan dengan pompa yang berkapasitas besar



Gbr 5. Alternatif-2 Metode Pengaliran STB dengan Pompa (sumber Penulis)

Kelebihan dari metode ini adalah :

- Tidak mengganggu aliran.
- Bekerja dalam kondisi kering.
- Mutu pekerjaan baik.

Kelemahan dari metode ini adalah :

- Dibutuhkan banyak pompa kap. besar.
- Dibutuhkan daya listrik yang besar.

Akhirnya draft metode ini juga bukanlah suatu

C. Menggunakan Temporary Cofferdams

Memasang temporary cofferdams pada 16 m dari penampang sungai, dihitung dari dasar STB. Setelah sesi kanan selesai pindah ke tanggul kiri sejauh 16 m dari dasar STB. Begitu seterusnya hingga pekerjaan selesai.



Gbr 6. Alternatif-3 Metode Temporary Cofferdams
(sumber Penulis)

Kelebihan dari metode ini adalah :

- Bekerja dalam kondisi kering.
- Mutu pekerjaan baik.

Kelemahan dari metode ini adalah :

- Pembendungan menaikkan air pd elv +27,168 sementara elv tanggul kiri +25,884 & kanan +25,895. Air melimpas pada tanggul kiri dan kanan. Hal ini tidak dapat diterima.

Akhirnya draft metode ini juga bukanlah suatu pilihan.

D. Usulan *Review Design*

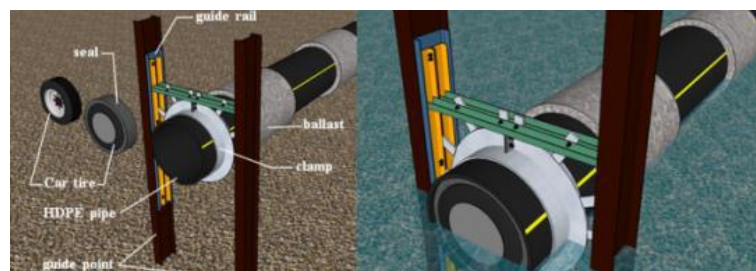
Ide dari metode kerja ini berawal dari hukum Archimedes yang berbunyi “apabila sebuah benda sebagian atau seluruhnya terbenam ke dalam air maka benda akan mendapat gaya tekan yang mengarah ke atas yang besarnya sama dengan berat air yang dipindahkan oleh bagian benda yang terbenam tersebut”.

Ada tiga kondisi. Kondisi terapung jika $B_j \text{ benda} < B_j \text{ air}$. Kondisi melayang jika $B_j \text{ benda} = B_j \text{ air}$. Kondisi tenggelam jika $B_j \text{ benda} > B_j \text{ air}$.

URAIAN	BALLAST			PIPA HDPE			AIR	KETERANGAN
	W kg	V m ³	BJ kg/m ³	W kg	V m ³	BJ kg/m ³	BJ kg/m ³	
Ballast	3.015,93	1,26	2.400					
Ujung Pipa Terbuka				507,63	0,50	1.019,96	1.000	Bj pipa > Bj air tenggelam blom mantap
Ujung Pipa Tertutup				507,63	3,39	149,61	1.000	Bj pipa < Bj air mengapung
Ujung Pipa Terbuka+Ballas				3.523,56	1,75	2.008,49	1.000	Bj pipa > Bj air tenggelam dengan mantap
Ujung Pipa Tertutup+Ballas				3.523,56	4,65	757,83	1.000	Bj pipa < Bj air mengapung

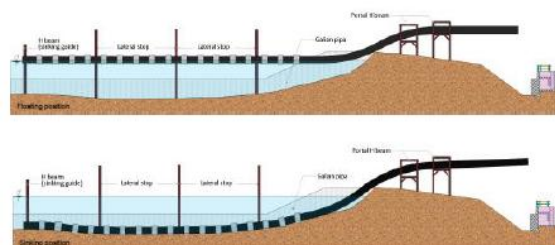
Kondisi Pipa HDPE di Air
(sumber Penulis)

Jika pipa ditutup kedua ujungnya akan mengapung karena Bj kecil. Pada kondisi ini air digunakan mengangkat pipa ke posisi pemasangan. Setelah posisinya sudah benar harus dinaikkan Bj pipa dengan cara ujung pipa dilubangi. Penambahan beban berupa cincin beton agar pipa dapat tenggelam mantap, karena Bj pipa HDPE hampir sama dengan Bj air (BJ hdpe=1020 kg/m³; BJ air=1000 kg/m³). Selain untuk menambah daya resisten terhadap gaya uplift.

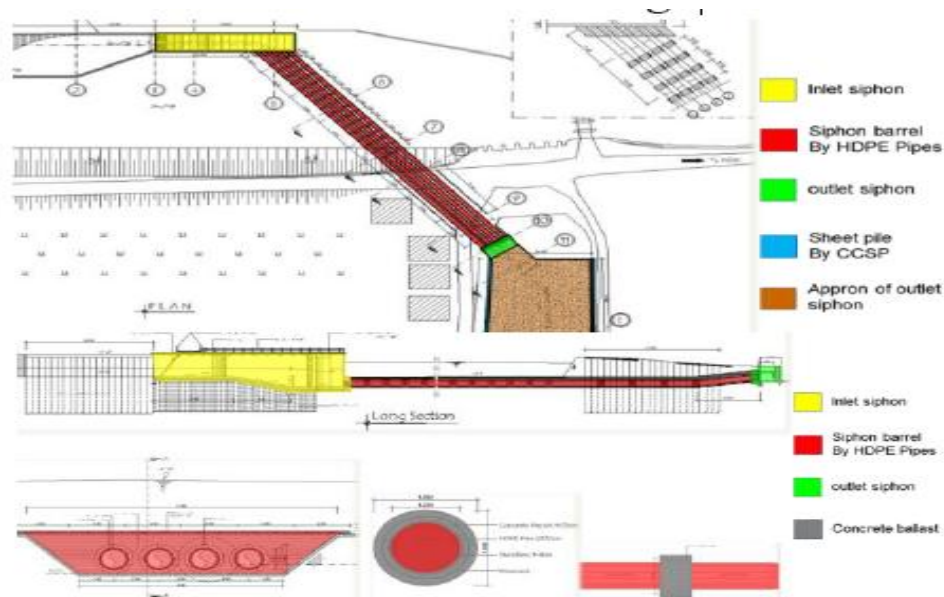


Gbr 7. Sistem Penenggelaman Pipa
(sumber Penulis)

Pada penampang sungai kita berikan tiga buah titik lateral stop, dan agar tidak mengganggu pengguna jalan sewaktu memposisikan pipa pada tanggul kanan maka pipa yang berada pada jalan raya digantung menggunakan portal frame baja



Gbr 8. Long Section Sistem Penenggelaman Pipa
(sumber Penulis)



Gambar 9. Konstruksi Siphon Hasil Review Design

Terdiri dari empat buah barrel diameter dalam 1,108 m dan panjang barrel rerata 93,60 m.

Elevasi konstruksi barrel siphon +18,095. Sehingga pemasangan 3,40 m dari elevasi dasar saluran STB, dan elevasi dasar saluran STB adalah +21,495.

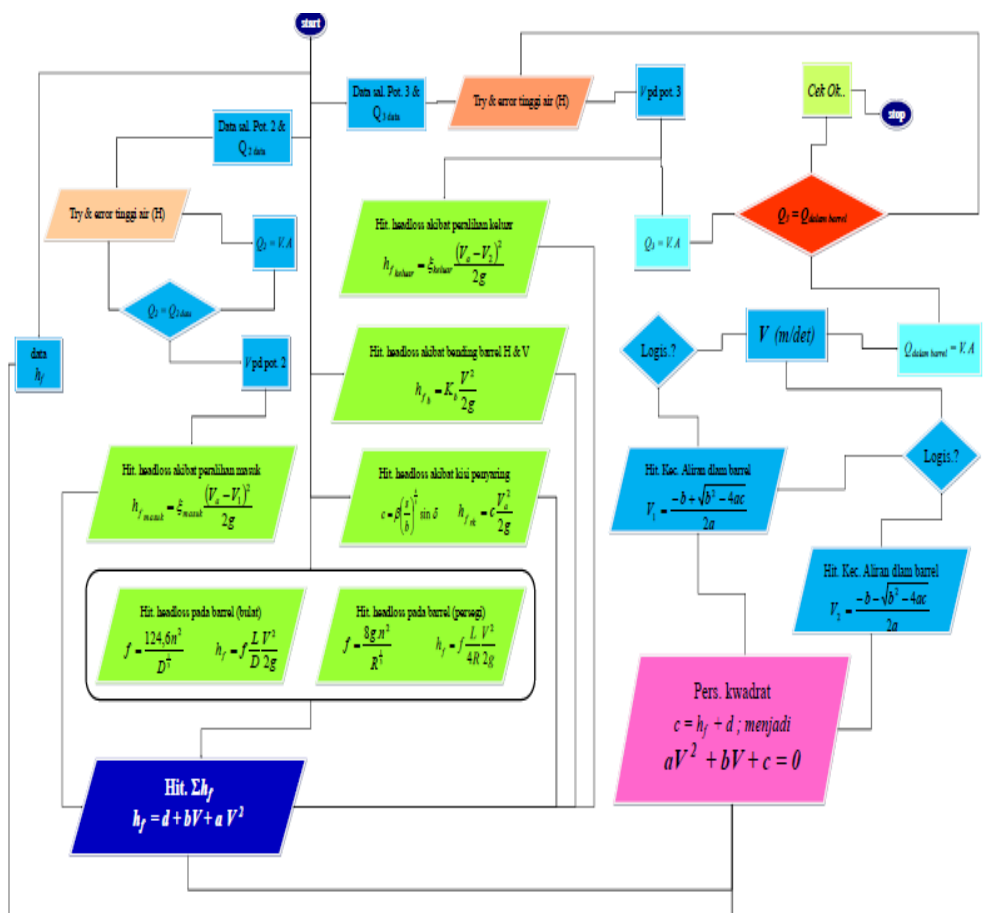
Merujuk pada Kriteria Perencanaan Irigasi yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia :

- Diameter barrel siphon minimum 0,60 m, untuk pembersihan dan inspeksi saat pemeliharaan
- Barrel siphon dibuat dengan pipa rangkap untuk menghindari kehilangan tekanan yang lebih besar di dalam siphon jika bangunan itu tidak mengalirkan air pada debit rencana. Pipa rangkap juga menguntungkan dari segi pemeliharaan dan mengurangi biaya pelaksanaan bangunan.
- Siphon yang panjangnya lebih dari 100 m harus dipasang dengan lubang periksa (manhole) dan pintu pembuang.

Tabel Perbandingan Design Lama dengan Review Design Konstruksi Siphon (sumber Penulis & Data Engineering WTC package-1 Karawang)

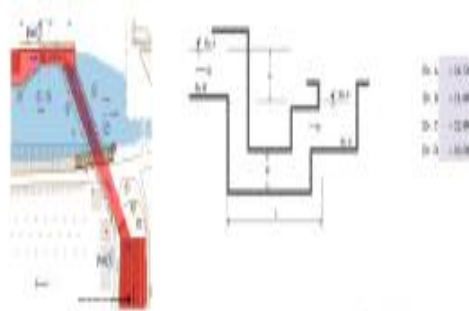
Uraian	Disain Awal (dengan Beton Bertulang)	Usulan Review Design(dengan pipa HDPE)
Material & Penampang	Masif, tidak elastis, material yang berat membutuhkan besi tulangan dan bekisting Penampang melintang persegi 3 barrel tinggi #1.0 m dan lebar #1,7 m	Material yang elastis ringan, panjang perpotong 12 m Penampang melintang adalah lingkaran D 1,108m berjumlah 4 buah
Ruang kerja	Membutuhkan ruang kerja yang	Tidak membutuhkan ruang

Uraian	Disain Awal (dengan Beton Bertulang)	Usulan Review Design(dengan pipa HDPE)
	cukupkering untukmemasang besi tulangan dan pengecoran beton konstruksibarrel siphon	kerja yangkering untuk pemasangan barrel siphon
Metode Konstruksi	<p>Agar ruang kerja cukup kering maka ruang kerja harus disekat dariair dengan temporary cofferdam dobel steelsheet pile (SSP). Pada pembendungan kedua atau ketiga SSP menumpang pada beton apron dan beton konstruksi barrel siphon yang telah dikerjakan sehingga temporary cofferdam menjadi tidak efektif</p> <p>Pada saat pembendungan akan terjadi peninggian muka air 5,673 m sehingga elevasi air pada STB menjadi+27,166 (dihitung dgn rumus manning dengan asumsi saluran STB telah di keruk). Sementara dalam kondisi normal elv air maks + 25,080 sedangkan elev tanggul kiri + 25,884 dan tanggul + 25,895 hal ini menimbulkan pelimpasan air pada tanggul kiri dan tanggul kanan.</p> <p>Efek pembendungan bukan hanya menaikan air , akan tetapi akan menambah kecepatan air, sehinningga dikuatirkan akan merusak bangunan dihilir Tarum Barat</p>	Temporary cofferdam hanya dibutuhkan pada sisi tanggul kanan dan pada konstruksi inlet siphon, sehingga tidak membahayakan aliran dan fasilitas yang dilalui air tersebut
Waktu Konstruksi	Biaya konstruksi relatif lebih mahal karena membutuhkan konstruksi temporary cofferdam	Biaya konstruksi relatif lebih murah karena HDPE dapat bertahan hingga 60 usia konstruksi



Gbr 10. Diagram Alur Perhitungan Hidrolis Siphon (sumber penulis)

PERHITUNGAN HIDROLIS SIPHON REVIEW DESIGN



dimensi siphon
 tipe design
 tinggi saluran
 dia dalam pipa
 jumlah bend
 koef kekasaran pipa bend
 panjang pipa bend

$Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{det}$
 $H = 2.20 \text{ m}$
 $(D = 1.200 \text{ m})$
 $N = 4 \text{ m}$
 $n = 0.013$
 $L = 0.6 \text{ m}$

LANGKAH 1: kecepatan aliran pada pet 2



Definisikan
 Lebar dasar saluran
 Kemiringan sisi/batang
 Kemiringan dasar saluran
 Kekasaran saluran umum

$(b = 4.75 \text{ m})$
 $(z = 1.5)$
 $(s = 0.0004333)$
 $(n = 0.024)$
 $(k = 1.49032062 \text{ m})$



$$Q = \left[\frac{1}{n} \frac{b + zc}{\sqrt{b + z\sqrt{b^2 + c^2}}} \right]^2 (b + c) s = 4.79000012 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$V = \left[\frac{1}{n} \frac{b + zc}{\sqrt{b + z\sqrt{b^2 + c^2}}} \right]^2 s = 0.81225778 \text{ m/det}$$

LANGKAH 2: kecepatan aliran pada pet 3



Definisikan
 Lebar dasar saluran
 Kemiringan sisi/batang
 Kemiringan dasar saluran
 Kekasaran saluran umum

$(b = 14.77967791 \text{ m})$
 $(z = 2.5)$
 $(s = 1.0)$
 $(n = 0.01)$

$(k = 1.49032062 \text{ m})$
 $Q = \left[\frac{1}{n} \frac{b + zc}{\sqrt{b + z\sqrt{b^2 + c^2}}} \right]^2 (b + c) s = 14.77967791 \text{ m}^3/\text{det}$
 $V = \left[\frac{1}{n} \frac{b + zc}{\sqrt{b + z\sqrt{b^2 + c^2}}} \right]^2 s = 0.31127528 \text{ m/det}$

LANGKAH 3

1. Benditas Aliran Perlekukan Horis

panjang bend
 koef kekasaran bend
 koef bend horis
 koef kekasaran umum bend
 koef kekasaran umum bend

$(L = 0.6 \text{ m})$
 $(n = 0.01257778 \text{ m})$
 $(f = 0.01)$
 $(n = 0.01)$

$K_{\text{total}} = \sum \frac{V^2}{g} \left(\frac{f L}{D} + K \right)$
 = jadi perikanan >> 0.00012 0.00012 F + 0.00012 F = 0



2. Benditas Aliran Perlekukan Vertikal

panjang bend
 koef kekasaran bend horis
 koef bend horis
 koef kekasaran umum bend horis
 koef kekasaran umum bend horis

$(L = 0.6 \text{ m})$
 $(n = 0.01257778 \text{ m})$
 $(f = 0.01)$
 $(n = 0.01)$

$K_{\text{total}} = \sum \frac{V^2}{g} \left(\frac{f L}{D} + K \right)$
 = jadi perikanan >> 0.00012 0.00012 F + 0.00012 F = 0



3. Benditas Aliran Perlekukan Dalam Bend

panjang pipa
 diameter pipa
 koef kekasaran pipa
 koef kekasaran pipa
 koef kekasaran pipa
 koef kekasaran pipa
 koef kekasaran pipa
 koef kekasaran pipa

$(L = 9.6 \text{ m})$
 $(D = 1.200 \text{ m})$
 $(n = 0.013)$
 $(f = 0.01)$
 $(n = 0.01)$

$f = \frac{130W}{D}$
 $f = 0.02016647$
 $K_{\text{total}} = \sum \frac{V^2}{g} \left(\frac{f L}{D} + K \right)$
 = jadi perikanan >> 0.00049 0.00049 F + 0.00049 F = 0



4. Benditas Aliran Benditas Vertikal

bend 1
 bend 2
 bend 3
 bend 4
 bend 5
 koef bend horis
 koef bend horis
 koef bend horis

$(D_1 = 1.2)$
 $(D_2 = 1.2)$
 $(D_3 = 1.2)$
 $(D_4 = 1.2)$
 $(D_5 = 1.2)$
 $(f = 0.01)$
 $(f = 0.01)$

$K_{\text{total}} = \sum \frac{V^2}{g} \left(\frac{f L}{D} + K \right)$
 = jadi perikanan >> 0.00049 0.00049 F + 0.00049 F = 0



5. Benditas Aliran Benditas Horis

koef bend horis
 koef bend horis
 koef bend horis
 koef bend horis
 koef bend horis
 koef bend horis
 koef bend horis
 koef bend horis

$(n = 0.01257778 \text{ m})$
 $(f = 0.01)$
 $(f = 0.01)$
 $(f = 0.01)$
 $(f = 0.01)$
 $(f = 0.01)$
 $(f = 0.01)$
 $(f = 0.01)$

$K_{\text{total}} = \sum \frac{V^2}{g} \left(\frac{f L}{D} + K \right)$
 = jadi perikanan >> 0.00012 0.00012 F + 0.00012 F = 0



$(K_{\text{total}} = 0.00012 0.00012 F + 0.00012 F = 0)$

$(K_{\text{total}} = 0.00012 0.00012 F + 0.00012 F = 0)$

$(K_{\text{total}} = 0.00012 0.00012 F + 0.00012 F = 0)$

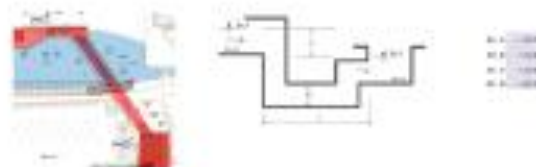
$(K_{\text{total}} = 0.00012 0.00012 F + 0.00012 F = 0)$

Perhitungan Hidrologis Kanal - par. 1 - 14,7776791 m³/m

LAMPIRAN 1

Contoh
 syarat $Q_1 = Q_2$ $Q_2 =$ debit rata-rata yang mengalir pada kanal
 $Q_1 =$ debit yang mengalir pada saluran par. 1
 $Q_1 = 14,7776791 \text{ m}^3/\text{det}$ **konstan** **dikaw**
 $Q_2 = 14,7776791 \text{ m}^3/\text{det}$

PERHITUNGAN HIDROLOGIS SIPRON PASCA KONSTRUKSI



Lebar saluran	1,00 m	1,00 m
Tinggi saluran	0,75 m	0,75 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m

LAMPIRAN 1 - Kumpulan data pada par. 1

Lebar saluran	1,00 m	1,00 m
Tinggi saluran	0,75 m	0,75 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \cos \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \sin \theta d\theta = \dots$$

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \sin \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \cos \theta d\theta = \dots$$

LAMPIRAN 2 - Kumpulan data pada par. 1

Lebar saluran	1,00 m	1,00 m
Tinggi saluran	0,75 m	0,75 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \cos \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \sin \theta d\theta = \dots$$

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \sin \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \cos \theta d\theta = \dots$$

LAMPIRAN 3

1. Hitunglah debit Pembatas Maksimal
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

2. Hitunglah debit Pembatas Minimal
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

3. Hitunglah debit pembatas pada par. 1
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

4. Hitunglah debit pembatas minimal
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

Perhitungan Hidrologis Kanal - par. 1 - 14,7776791 m³/m

LAMPIRAN 1

Contoh
 syarat $Q_1 = Q_2$ $Q_2 =$ debit rata-rata yang mengalir pada kanal
 $Q_1 =$ debit yang mengalir pada saluran par. 1
 $Q_1 = 14,7776791 \text{ m}^3/\text{det}$ **konstan** **dikaw**
 $Q_2 = 14,7776791 \text{ m}^3/\text{det}$

PERHITUNGAN HIDROLOGIS SIPRON PASCA KONSTRUKSI



Lebar saluran	1,00 m	1,00 m
Tinggi saluran	0,75 m	0,75 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m

LAMPIRAN 1 - Kumpulan data pada par. 1

Lebar saluran	1,00 m	1,00 m
Tinggi saluran	0,75 m	0,75 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \cos \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \sin \theta d\theta = \dots$$

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \sin \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \cos \theta d\theta = \dots$$

LAMPIRAN 2 - Kumpulan data pada par. 1

Lebar saluran	1,00 m	1,00 m
Tinggi saluran	0,75 m	0,75 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m
Lebar saluran pada	1,00 m	1,00 m

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \cos \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \sin \theta d\theta = \dots$$

$$V = \int_0^h \left(\frac{M_0 \sin \theta}{\sqrt{1 + \frac{M_0^2}{g^2} \frac{d^2}{4}}} \right) \beta \cos \theta d\theta = \dots$$

LAMPIRAN 3

1. Hitunglah debit Pembatas Maksimal
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

2. Hitunglah debit Pembatas Minimal
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

3. Hitunglah debit pembatas pada par. 1
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

4. Hitunglah debit pembatas minimal
 panjang saluran
 lebar saluran
 lebar saluran
 lebar saluran

Perhitungan Pembatas Pipa HDPE
 Kondisi Pipa Mergantung (kedua ujung pipa ditutup)

$\Sigma z = 0$

$F_a = W$

$\rho_w g V_f - M_b \cdot g$

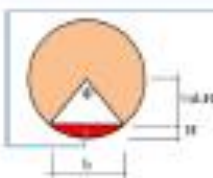
$V_f = \frac{M_b}{\rho_w}$

$V_f = 0,50763 \text{ m}^3$ (vol. Pipa tercelup dalam air)

$0,50763 \text{ m}^3 = \left[\frac{\theta}{360} \pi (0,5d)^2 - 0,5(0,5d)^2 \sin \theta \right] L_p$

Try & error $\rightarrow \theta = 108,269009^\circ$

$V_f = \left[\frac{\theta}{360} \pi (0,5d)^2 - \frac{1}{2} (0,5d)^2 \sin \theta \right] L_p$



$H = \frac{1}{2} d (1 - \cos \frac{\theta}{2})$

$H = 0,2485 \text{ m}$

$b = d \sin \frac{\theta}{2}$

$b = 0,9725 \text{ m}$

Pembatasan Pembatas pada Pipa (kedua ujung pipa ditutup)

$\Sigma z = 0$

$F_a = \Sigma W$

$\rho_w g V_f - (M_b + M_{b1}) g$

$M_{b1} = \rho_w V_f - M_b$

$V_f = \frac{1}{2} \pi d^2 L_p$ (vol. pipa tercelup di air)

$$V_i = 3,39 \text{ m}^3$$

$$M_{M1} = 2885,29 \text{ kg} \quad (\text{massa pemberat pipa})$$

$$S = 0,075 \text{ m} \quad (\text{spasi antara pemberat dengan pipa})$$

$$d_2 = d + 2S \quad (\text{diameter dalam pemberat pipa})$$

$$d_2 = 1,35 \text{ m}$$

$$L = 1,00 \text{ m} \quad (\text{panjang pemberat pipa})$$

$$M_{M1} = \rho_s V_s$$

$$V_s = \frac{M_{M1}}{\rho_s}$$

$$V_s = 1,202 \text{ m}^3 \quad (\text{volume pemberat pipa})$$

$$V_s = \frac{1}{4} \pi (d_1^2 - d_2^2) L$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4(V_s + \frac{1}{4} \pi d_2^2 L)}{\pi L}}$$

$$d_1 = 1,831 \text{ m} \quad (\text{diameter luar pemberat pipa})$$

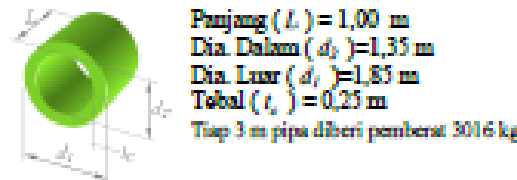
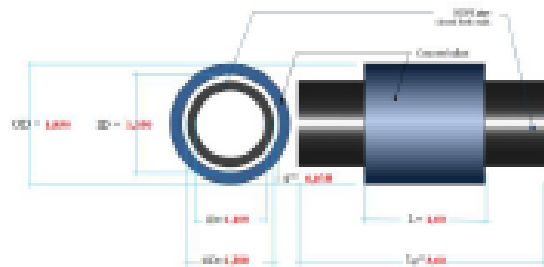
$$t_c = \frac{1}{2} (d_1 - d_2) \quad (\text{tebal pemberat pipa})$$

$$t_c = 0,241 \text{ m} \text{ dibulatkan menjadi } t_c = 0,250 \text{ m}$$

Maka :

$$d_1 = 1,850 \text{ m}$$

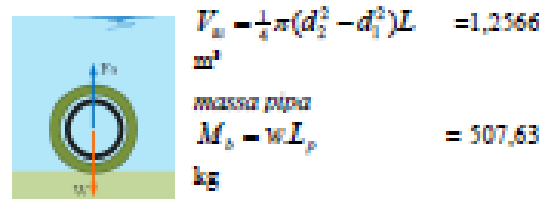
$$M_{M1} = \frac{1}{4} \pi (d_1^2 - d_2^2) L \rho_s = 3015,93 \text{ kg}$$



Kondisi Pipa Tenggelam (kedua ujung pipa dibuka)

$$V_i = \frac{1}{4} \pi (d^2 - d_2^2) L_p = 0,4977 \text{ m}^3$$

vol pemberat



massa pemberat

$$M_{M1} = V_w \rho_s = 3015,93 \text{ kg}$$

$$\Sigma Fa < \Sigma W$$

$$Fa = \rho_w \cdot g \cdot (V_i + V_w)$$

$$= 17192,44 \text{ kg}$$

$$W = g(M_b + M_{M1})$$

$$= 34530,88 \text{ kg}$$

$$FS = \frac{W}{Fa} = 2,01 \quad \text{teggalnya mantap}$$

Stabilitas Pipa Terhadap Gaya Angkat (Uplift Force)

Ujung pipa tertutup (massa pemeliharaan & konstruksi)

$$V_i = \frac{1}{4} \pi d^2 L_p = 3,393 \text{ m}^3$$

$$V_w = \frac{1}{4} \pi (d_2^2 - d_1^2) L = 1,257 \text{ m}^3$$

$$V_s = h_1 d (L_p - L) + L d_1 (h_1 - S - t_c) = 3,755 \text{ m}^3$$

$$V_{cv} = h_1 d L_p = 0,720 \text{ m}^3 \quad M_b = w L_p = 507,63 \text{ kg}$$

$$M_{M1} = V_w \rho_s = 3015,93 \text{ kg} \quad M_{M2} = V_{cv} \rho_s = 1728 \text{ kg}$$

$$M_{M3} = V_s \rho_s = 8824,25 \text{ kg}$$

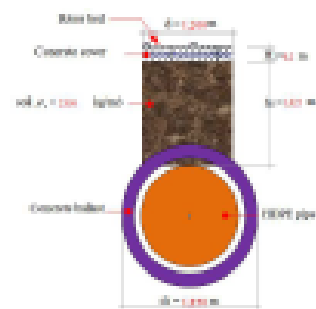
V_i = (vol pipa kedua ujung tertutup)

V_w = (vol pemberat) V_s = (vol tanah)

V_{cv} = (vol beton precast) M_b = (massa pipa)

M_{M1} = (massa pemberat) M_{M2} = (massa tanah)

M_{M3} = (massa beton precast)



Potongan Melintang Barrel Siphon Ujung Pipa Tertutup (massa pemeliharaan)

$$\Sigma Fa < \Sigma W$$

$$Fa = \rho_w \cdot g \cdot (V_i + V_w + V_s + V_{cv})$$

$$Fa = 89420,66 \text{ kg}$$

$$W = g(M_b + M_{M1} + M_{M2} + M_{M3})$$

$$W = 137942,93 \text{ kg}$$

$$FS = \frac{W}{Fa}$$

$$FS = 1,54 > 1,2 \text{ok}$$

Ujung pipa terbuka (massa operasional)

$$V_1 = \frac{1}{4} \pi (d^2 - d_1^2) L_p = 0,4977 \text{ m}^3$$

$$V_{s1} = \frac{1}{4} \pi (d_2^2 - d_1^2) L = 1,257 \text{ m}^3$$

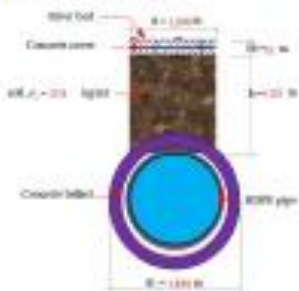
$$V_s = h_1 d (L_p - L) + L d_1 (h_1 - S - t_c) = 3,755 \text{ m}^3$$

$$V_{s2} = h_2 d L_p = 0,720 \text{ m}^3 \quad M_p = w L_p = 507,63 \text{ kg}$$

$$M_{s1} = V_{s1} \rho_s = 3015,93 \text{ kg} \quad M_{s2} = V_{s2} \rho_s = 1728 \text{ kg}$$

$$M_{s3} = V_s \rho_s = 8824,25 \text{ kg}$$

V_1 = (vol pipa kedua ujung tertutup)
 V_{s1} = (vol pemberat) V_s = (vol tanah)
 V_{s2} = (vol beton precast) M_p = (massa pipa)
 M_{s1} = (massa pemberat) M_{s2} = (massa tanah)
 M_{s3} = (massa beton precast)



Potongan Melintang Barrel Siphon Ujung Pipa Terbuka
(sumber pustaka)

$$F_a = \Sigma W$$

$$F_a = \rho_w \cdot g \cdot (V_1 + V_{s1} + V_s + V_{s2})$$

$$F_a = 61047,44 \text{ kg}$$

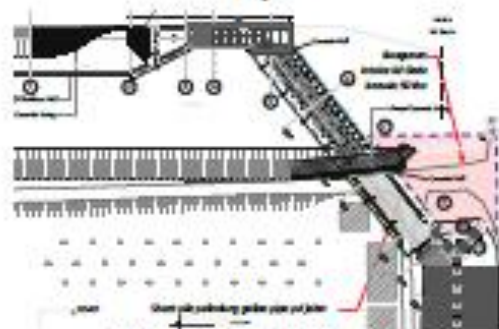
$$W = g(M_p + M_{s1} + M_{s2} + M_{s3})$$

$$W = 137942,93 \text{ kg}$$

$$FS = \frac{W}{F_a}$$

$$FS = 2,259 > 1,2 \dots \text{ok}$$

Kontrol Dinding Penahan Galian Pipa di Jalan Raya

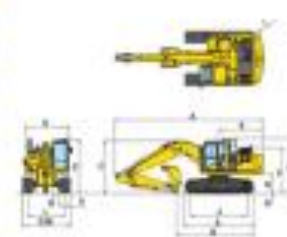


Plan Dinding Penahan Galian Pipa
(sumber Data engineering WTC package-1 Keserang)

Beban & Dimensi excavator

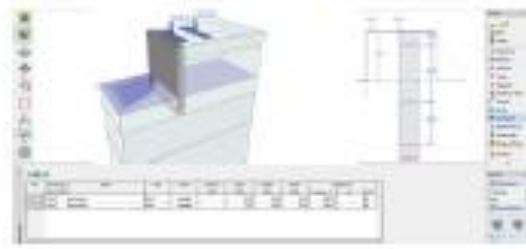
Topsoil-Digester Stone	Operating Weight	Ground Pressure
700 mm	23.023 kg	0.42 kg/cm ²
26"	51.419 lb	0.2 psi
800 mm	23003 kg	0.70 kg/cm ²
31.5"	50.838 lb	0.6 psi

Part	Weight (kg)
1. Excavator	23000
2. Hydraulic bucket	1500
3. Hydraulic cylinder	1000
4. Hydraulic hose	500
5. Hydraulic pump	1000
6. Hydraulic motor	1000
7. Hydraulic valve	500
8. Hydraulic filter	200
9. Hydraulic tank	1000
10. Hydraulic hose reel	500
11. Hydraulic hose reel	500
12. Hydraulic hose reel	500
13. Hydraulic hose reel	500
14. Hydraulic hose reel	500
15. Hydraulic hose reel	500
16. Hydraulic hose reel	500
17. Hydraulic hose reel	500
18. Hydraulic hose reel	500
19. Hydraulic hose reel	500
20. Hydraulic hose reel	500



(sumber www.komatsuasia.com)

Data geometri dan beban yang bekerja



Hasil Perhitungan Gaya Dalam & Kedalaman Struktur



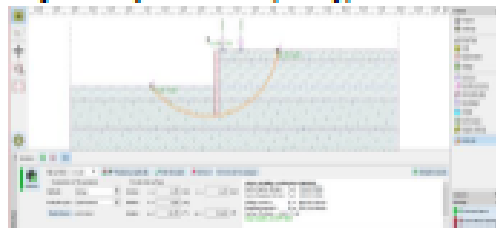
Dihitung menggunakan program Ono5 2017 dengan hasil :

- Max. value of shear force = 247,99 kN/m
- Max. value of moment = 123,41 kN/m²
- Required depth of str. in soil = 2,98 m
- Overall length of structure = 6,58 m

Kontrol kekuatan CCSP
 Max moment crack pada CCSP = 15 Ton m
 = 150 kN m
 $M_{ok} = 150 \text{ kN-m} > M_u = 123,41 \text{ kN-m}$ ok...

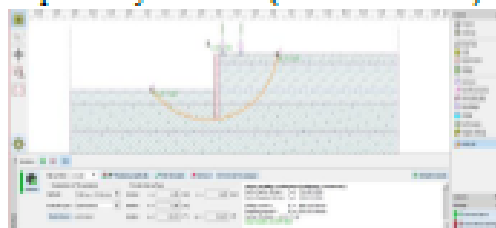
Cek kedalaman struktur
 Kedalaman sheet pile terlaksana = 7,0 m
 Kedalaman struktur hasil hitungan = 6,58 m
 Cek... ok..

Slope stability verification (Bishop)



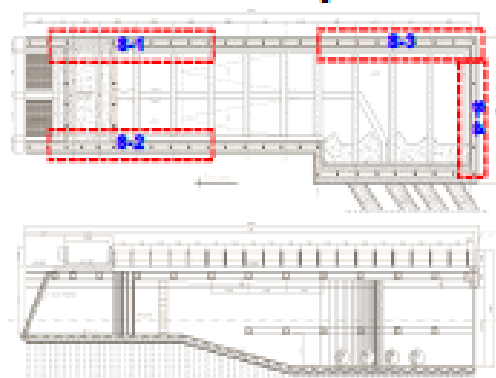
Sum of active forces : $F_a = 242,41$ kN/m
 Sum of passive forces : $F_p = 895,33$ kN/m
 Sliding moment : $M_S = 1895,65$ kNm/m
 Resisting moment : $M_R = 7001,46$ kNm/m
 Factor of safety = $3,69 > 1,50$
 Slope stability **ACCEPTABLE**

Slope stability verification (Fellenius / Petterson)



Sum of active forces : $F_a = 241,83$ kN/m
 Sum of passive forces : $F_p = 802,19$ kN/m
 Sliding moment : $M_S = 1881,48$ kNm/m
 Resisting moment : $M_R = 6241,05$ kNm/m
 Factor of safety = $3,32 > 1,50$
 Slope stability **ACCEPTABLE**
 Cek... ok.

Kontrol Perhitungan Dinding Penahan pada Konstruksi Inlet Siphon



Resume dan Kontrol Perhitungan

Kontrol SSP

Yield point (f_y) = 294 Mpa
 Tegangan dasar ($\bar{\sigma} = \frac{F_a}{A}$) = 196 Mpa
 = 1960 kg/cm²

Tegangan geser izin ($\bar{\tau} = 0,56\bar{\sigma}$)
 Sect. Area/m' of Wall (A) = 153 cm²/m
 Sect. modulus/m' of Wall (W_x)
 M lentur max terjadi (M_u) = 61,48 kN-m
 = 614800 kg-cm
 Gaya geser max terjadi (V_u) = 125,63 kN
 = 12563 kg

Teg. yang terjadi ($\sigma = \frac{M_u}{W_x}$) = 698,64 kg/cm²

Kontrol tegangan lentur $\sigma < \bar{\sigma}$

Teg. geser yang terjadi ($\tau = \frac{V_u}{A}$) = 104,87 kg/cm²

Kontrol tegangan geser $\tau < \bar{\tau}$ = ok.

Hit. panj strut max (L_u) = 9,87 m

Panj strut terpasang merata (L) = 11,5 m

Kontrol panj struktur $L_u < L$ = ok.

FS stabilitas minimum (FS_{min})

FS stab. min yang terjadi (FS)

Kontrol FS stab $FS_{min} < FS$ = ok.

Kontrol support (batang tekan)

Gaya aksial max (S_{maks}) = 392,38 kN
 Panjang batang (L) = 7,20 m
 Profil = IWF300x300x10
 Mutu baja = BJ-37

WF	h	b	t _w	t _f	r	I _x	I _y	S _x	S _y	Z _x	Z _y	J _w	J _w
WF 300	300	300	10	15	11	102000	102000	10200	10200	10200	10200	10200	10200
WF 300	300	300	10	15	11	102000	102000	10200	10200	10200	10200	10200	10200
WF 300	300	300	10	15	11	102000	102000	10200	10200	10200	10200	10200	10200
WF 300	300	300	10	15	11	102000	102000	10200	10200	10200	10200	10200	10200

JENIS OUTPUT YG TERJADI	SAT	OUTPUT TINJAUAN CROSS SECTION				NILAI MAKS
		C-1	C-2	C-3	C-4	
Momen Lentur	kNm	61,48	40,69	43,53	40,05	61,48
Gaya Gesr	kN	108,35	85,35	117,95	125,63	125,63
Panjang Struktur Sheet Pile	m	6,80	6,43	9,23	9,87	9,87
Gaya Aksial Support Atas	kN	141,30	57,94	78,74	9,29	141,30
Gaya Aksial Support Bawah	kN			392,38	337,60	392,38
Slope Stability Bishop (FS)		2,39		1,77		1,64
Slope Stability Fellenius/Piterson (FS)		2,21		1,64		

Rasio kelangsingan

Perletakan sendi-sendi (K) = 1

Panjang tekuk ($L_k = K.L$) = 720 cm

Kelangsingan arah x () = 54,96 \times \times iL

Kelangsingan arah y ($\lambda_y = \frac{L_y}{i_y}$)

$\lambda_y > \lambda_x \rightarrow$ arah tekuk dominan ke arah x

Modulus elastisitas baja (E_s) = 203000 Mpa

Yield point (f_y) BJ-37 = 240 Mpa

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_y}{i_y} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} = 1,05$$

$$\lambda_y = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = 16,14$$

$$\lambda_f = \frac{B}{2t_f} = 10$$

Kontrol $\lambda_y > \lambda_f$ ok = td terjadi tekuk lokal

Jika $0,25 < \lambda_c < 1,2$ $\lambda_c = 1,05$ maka,

$$\omega = \frac{1,43}{(1,6 - 0,67\lambda_c)} = 1,59$$

Gaya dukung nominal

$$(N_n = F \frac{f_y}{\omega}) = 18034,70 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfaktor

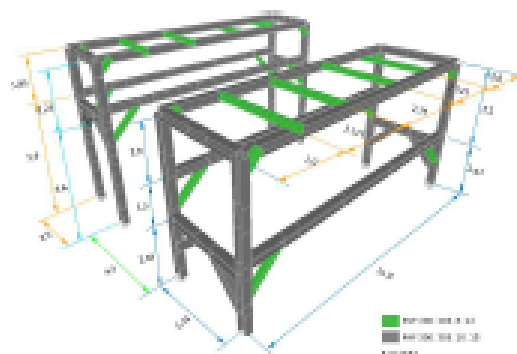
$$(N_u = \phi_n N_n) \quad \phi_n = 0,85 = 15329,50 \text{ kN}$$

Kontrol support batang tekan

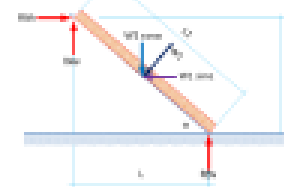
$$N_u > S_{aktm} = \text{ok..}$$

Kontrol Perhitungan Portal Penggantung Barrel Siphon di Area Jalan Raya

Dimensi dan Material



Pembebanan = 95,87



Berat pipa HDPE (q) = 169,21 kg/m

Tinggi portal 1 (H) = 6,57 m

Jarak pipa ke portal 1 (L) = 17,5 m

Panjang pipa miring (L1) = $\sqrt{H^2 + L^2} = 18,69$ m

Sudut (alpha) = 20,5776 deg

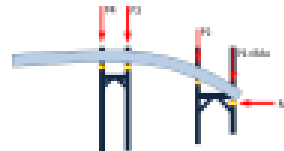
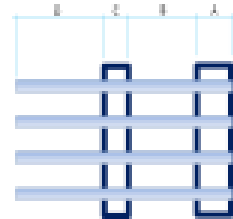
W1 = q * L1 = 3162,98 k

W1 cos alpha = 2961,18 kg

W1 sin alpha = 1111,71 kg

R_{AV} = 0,5 * W1 cos alpha = 1480,59 kg

R_{AB} = W1 sin alpha = 1111,71 kg



A = 3,34 m

B = 4,5 m

C = 2,5 m

D = 8,81 m

Kondisi 1 dan 2

P1 = 0,5q.A = 282,58 kg

P2 = 0,5q.(A + B) = 663,3 kg

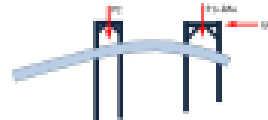
P3 = 0,5q.(B + C) = 592,24 kg

P4 = q.(0,5C + D) = 1702,25 kg

P1 + R_{AV} = 1763,17 kg

R_{AB} = 1111,71 kg

Kondisi 3



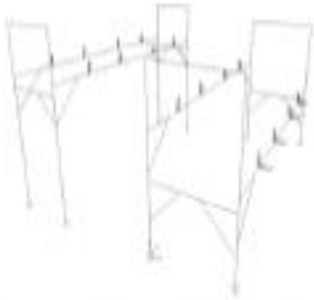
P1 = q(0,5C + A + B) = 1538,12 kg

P1 + R_{AV} = 3018,71 kg

P2 = q(0,5C + D) = 1702,25 kg

R_{AB} = 1111,71 kg

Pembebanan Frame dalam Kondisi 1



Pembebanan Frame dalam Kondisi 2



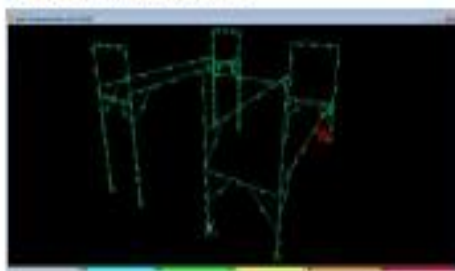
Pembebanan Frame dalam Kondisi 3



Kombinasi Beban

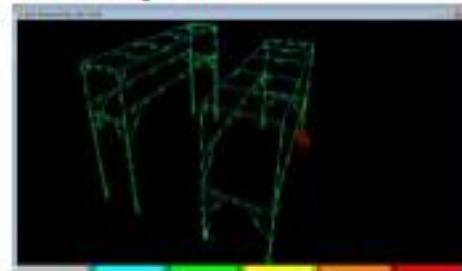


Hasil Perhitungan Kondisi 1



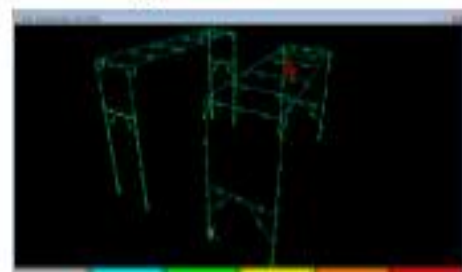
Stressing Frame Paling Besar

Hasil Perhitungan Kondisi 2



Stressing Frame Paling Besar

Hasil Perhitungan Kondisi 3



Stressing Frame Paling Besar

KESIMPULAN

1. Jika perumusan untuk mencari metode kerja terbaik yang telah dilakukan berulang-ulang menemui kebuntuan, di mana perumusan tersebut menggunakan persepektif pemikiran yang sama maka perlu keluar dari persepektif pemikiran tersebut.
2. Persepektif pemikiran biasa yang di-gunakan adalah menganggap bahwa air sebagai suatu potensi ancaman bagi konstruksi. Jika kita keluar dari persepektif pemikiran biasa bahwa air juga mempunyai potensi menguntungkan bagi konstruksi, yang dipadu dengan hukum alam yang dirumuskan Archimedes maka akan ketemulah solusi yang dimaksud.
3. Persepektif pemikiran biasa mengerjakan konstruksi barrel siphon dari bawah. Tetapi jika pemasangannya dari muka air ke bawah dengan menerapkan hukum Archimedes maka banyak hirarki pekerjaan yang diringkas. Pada persepektif ini kita dapat memanfaatkan media air sebagai alat angkat dan angkut serta transportasi dalam pengerjaan konstruksi barrel siphon yang dimaksud.
4. Re-design atau peninjauan kembali design awal siphon ke design yang baru adalah suatu tindakan yang realistik. Dimana debit air Saluran Tarum Barat tidak boleh terganggu sama sekali dalam pelaksanaan konstruksi ini. Serta kondisi asli lapangan yang memang tidak dapat direkayasa.
5. Hitungan hidrolis siphon hasil redesign menunjukkan bahwa empat buah pipa HDPE yang @ dia luar #1200 mm dan dia dalam #1108,5 mm dapat mengalirkan debit hingga 14,7779 m³/det dari debit rencana 13,50 m³/det.
6. Konstruksi pendukung yang dalam hal ini adalah dinding penahan galian konstruksi pipa barrel siphon pada jalan raya hanya dapat terpancang 7,00 m dari 12,00 m rencananya. Hal ini mempengaruhi kedalaman galian pipa pada daerah tersebut. Akibatnya alignment vertikal pipa berubah pada daerah ini, yaitu pipa mengalami bending. Sehingga hitungan hidrolis siphon pasca konstruksi menghasilkan debit 14,5792 m³/det.
7. Konstruksi pendukung tersebut terbuat dari corrugated concrete sheet pile yang digali hingga 3,60 m. Pengontrolan terhadap tekanan aktif tanah serta beban kerja excavator, kekuatan bahan CCSP masih kuat, pengontrolan terhadap kedalaman konstruksi juga masih aman.
8. Adanya pemberat pada pipa sangat membantu dalam hal memantapkan proses penenggelaman pipa itu sendiri. Faktor kemamanannya mencapai (FS) 2,01 yang artinya jika terjadi goyangan pada air, pipa akan tetap pada posisinya. Mengingat berat jenis bahan pipa hampir sama dengan air.
9. Pemberat pada pipa juga meningkatkan stabilitas pipa terhadap gaya angkat pada saat pipa kosong faktor keamanan mencapai 1,54. Kondisi ini berada pada masa konstruksi dan masa perawatan siphon itu sendiri. Sementara stabilitas pipa pada masa operasional adalah sangat mantap, faktor keamanan mencapai 2,259.
10. Konstruksi inlet siphon terbuat dari steel sheet pile terpancang rerata 11,50 m kemudian digali pada kedalaman 4,86 m dan 7,06 m. Pengontrolan konstruksi inlet siphon pada masa konstruksi masih aman terhadap kekuatan bahannya, aman terhadap dalamnya pemancangan serta aman stabilitasnya terhadap gaya sliding.

11. Konstruksi baja portal pengaman pipa barrel siphon di area jalan raya aman dipakai.

SARAN

1. Mengingat proyek konstruksi siphon relatif jarang maka kesempatan ini kami lakukan untuk membukukan dalam format tugas akhir. Barangkali dapat menjadi rujukan walau jauh dari kesempurnaan.
2. Kendala penulis adalah tidak mudah mendapatkan referensi dalam mendukung terwujudnya tulisan ini. Kami berharap di kemudian hari pembelajaran semacam ini banyak dilakukan mengingat kita negara agraris yang banyak menata air untuk pertanian, air minum serta hal lain.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad Effendi, Drs, Hermawan Aksan, *Prof. Dr. Ir. Sedyatmo: Intuisi Mencetus Daya Cipta*, penerbit Teraju (PT. Mizan Publika), cetakan pertama Jakarta Oktober 2009

Bambang Triatmodjo, Prof. Dr. Ir. DEA, *Hidrolika II* Penerbit Beta Offset, Jokjakarta
19