

**EVALUASI PERENCANAAN BANGUNAN SIPHON
PADA BENDUNG SEI PADANG KAB.SERDANG
BEDAGAI SUMATERA UTARA**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Di Universitas Medan Area

OLEH:

IDO RIZKY HARAHAP

NPM : 15.811.0094



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2017**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas dan sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam Skripsi ini.

Medan, 5 Oktober 2017

Penulis



Ido Rizky Harahap

15.811.0094

EVALUASI PERENCANAAN BANGUNAN SIPHON
PADA BENDUNG SEI PADANG KAB.SERDANG
BEDAGAI SUMATERA UTARA

SKRIPSI

OLEH :

IDO RIZKY HARAHAHAP

15.811.0094

Disetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II



(Ir.H. Edy Hermanto, M.T.)



(Ir.Nuril Mahda Rangkuti, M.T.)

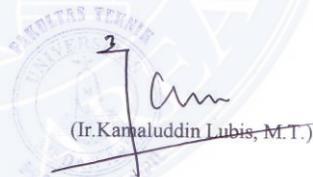
Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Sipil



(Prof.Dr.Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc)



(Ir.Kamaluddin Lubis, M.T.)



ABSTRAK

Jalur saluran irigasi mulai dari intake hingga bangunan sadap terakhir kadang-kadang harus berpotongan atau bersilangan dengan berbagai rintangan antara lain jalan, saluran/alur alamiah, sungai bahkan jurang. Untuk itu diperlukan bangunan persilangan agar dapat menyeberangkan debit yang dialirkan oleh saluran dari sisi hulu ke sisi hilirnya. Bangunan siphon ini merupakan salah satu bangunan persilangan yang dibangun untuk mengalirkan debit yang dibawa oleh saluran yang jalurnya terpotong oleh sungai.

Dari hasil perhitungan dimensi bangunan siphon dengan debit $6,258 \text{ m}^3/\text{dt}$, diperoleh dimensi bangunan siphon dimana lebar (B)= 1,2 m dan tinggi bangunan siphon = 1,7 m, serta kehilangan tinggi energi terjadi karena adanya peralihan bentuk saluran, gesekan air dengan saluran, belokan dan saringan sebesar 0,124 m, ini menunjukkan bahwa sipon masih dapat diterima dalam membawa air. Untuk mengurangi kehilangan energi, maka lokasi siphon diusahakan pada bentang sungai terpendek, serta memperkecil jumlah belokan pada konstruksi siphon. Tulangan yang digunakan pada bangunan siphon diperoleh menggunakan D13-100 untuk tulangan pokok dan D10-150 untuk tulangan bagi.

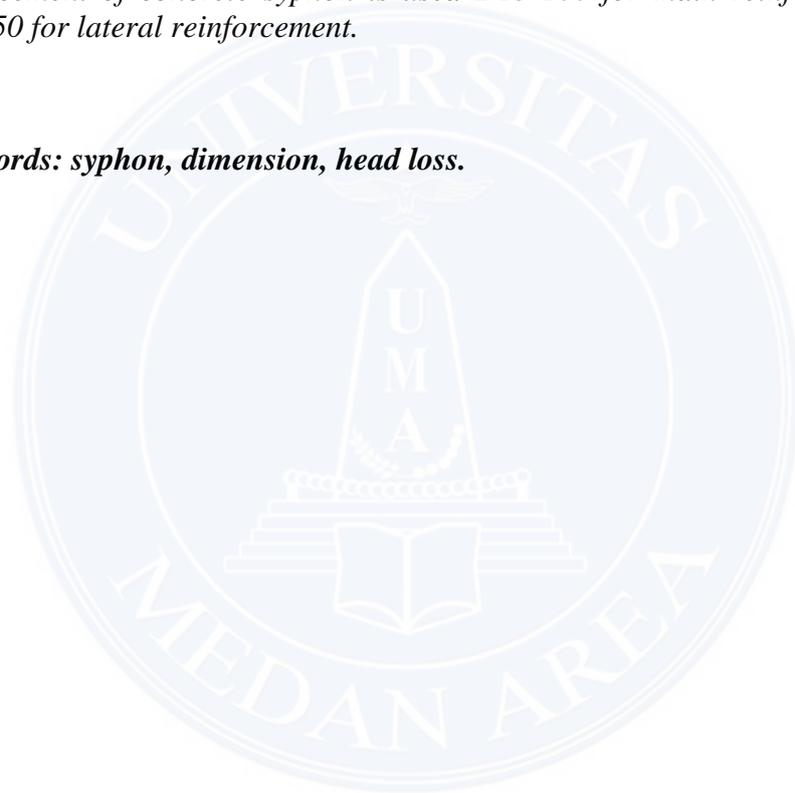
Kata Kunci : siphon, dimensi, kehilangan tinggi tekanan.

ABSTRACT

Irrigation channel start from intake to the last division structure sometimes have to cut off or across with various obstacles, such as road, natural channel, river even ravine. Therefore it is required an acrossing structure in order to flow the water from upstream to downstream area. The syphon is one of several acrossing structure that constructed to flow water where the canal is crossed by river.

By the calculation, Dimension of syphon with design discharge 6,258 l/s we find the width is 1,2 m, the depth is 1,7 m and the head loss cause transition canal, convergence, friction, bend and trash rack are 0,124 m. This is indicated that syphon is acceptable to bring the water. To minimize head loss and number of bends, the location of syphon should be in minimum section of river. The reinforcement of concrete syphon is used D13-100 for main reinforcement and D10-150 for lateral reinforcement.

Key Words: syphon, dimension, head loss.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, perlindungan, serta kasih sayang-Nya yang tidak pernah berhenti mengalir dan selalu menyertai, yang selalu diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik dan tepat waktu..

Penulis menyadari keberhasilan dalam menyelesaikan penulisan Skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak-pihak, baik yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof.Dr. Ya'kub Matondang, M.A., selaku Rektor Universitas Medan Area;
2. Bapak Prof.Dr.Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area;
3. Bapak Ir.Kamaluddin Lubis, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil;
4. Bapak Ir.Edy Hermanto, M.T., selaku Pembimbing I, atas kesabaran, bimbingan, waktu yang telah banyak diberikan kepada penulis dan masukan yang telah diberikan serta ilmu yang telah diajarkan;
5. Ibu Ir.Nuril Mahda Rangkuti, M.T., selaku Pembimbing II atas kesabaran, bimbingan, waktu yang telah banyak diberikan kepada penulis dan masukan yang telah diberikan serta ilmu yang telah diajarkan;
6. Seluruh Dosen, Karyawan, dan Staf Universitas Medan Area;

7. Orang tua tercinta dan saudara-saudara yang telah memberikan curahan kasih sayang, doa dan membantu berupa moral dan material yang tak terhingga dalam pelaksanaan Skripsi ini;
8. Seluruh sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan saran, masukan, dukungan, perhatian, semangat dan doa kepada praktikan dalam pelaksanaan.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna perbaikan penulisan Skripsi ini.

Medan, Agustus 2017

Penulis

Ido Rizky Harahap

15.811.0094

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penulisan	3
1.3 Perumusan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Kebutuhan Air Irigasi	7
2.2.1 Evapotranspirasi	8
2.3 Dasar-dasar Aliran Dalam Saluran	15
2.4 Penampang Hidrolis Terbaik	19
2.3.1 Penampang Berbentuk Persegi yang ekonomis	19
2.3.2 Penampang Berbentuk Trapesium yang ekonomis	21
2.5 Siphon	22

2.5.1 Kehilangan Tinggi Energi	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Deskripsi Lokasi Penelitian	32
3.2 Metode Pengumpulan Data	33
3.3 Data Proyek	34
3.4 Bagan Alir Perhitungan Bangunan Siphon	46
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Perhitungan Disain Hidrolis siphon	47
4.2 Perhitungan Kehilangan Tinggi Muka Air	49
4.2.1 Pada Pintu Masuk	49
4.2.2 Pada Saluran Siphon	50
4.2.3 Pada Pintu Keluar	51
4.3 Perhitungan Momen Untuk Tulangan Siphon	53
4.4.1 Koefisien Distribusi	54
4.4.2 Perhitungan, q_a	56
4.4.3 Perhitungan, q_b	56
4.4.4 Perhitungan Momen, M_o	57
4.4.5 Perhitungan cross siphon	59
4.4 Penulangan Siphon	63
4.5.1 Plat Atas	63
4.5.2 Lantai Atas	65
4.5.3 Plat Bawah	67
4.5.4 Lantai Bawah	69
4.5.5 Dinding Tepi	71

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Tanaman	15
Tabel 2.2 Karakteristik Saluran	18
Tabel 2.3 Harga-harga Kekasaran Strickler	26
Tabel 2.4 Koefisien Kehilangan Tinggi Energi	27
Tabel 3.1 Data Curah Hujan Harian Maksimum Bulanan Stasiun Sinar Kasih....	35
Tabel 3.2 Data Curah Hujan Harian Maksimum Bulanan Stasiun Rambutan	36
Tabel 3.3 Data Curah Hujan Harian Maksimum Bulanan Stasiun Pamela.....	37
Tabel 3.4 Data Curah Hujan Harian Maksimum Bulanan Stasiun Marihat.....	37
Tabel 3.5 Rata-rata Iklim Stasiun Belawan.....	38
Tabel 3.6 Contoh Perhitungan Evapotranspirasi.....	39
Tabel 3.7 Evapotranspirasi Metode Penman Modifikasi Singai Padang	41
Tabel 3.8 Kebutuhan Air Selama Penyiapan Lahan	41
Tabel 3.9 Perhitungan Curah Hujan Efektif.....	43
Tabel 3.10 Analisa Kebutuhan Air Irigasi	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Saluran Terbuka dan Tertutup	16
Gambar 2.2 Garis Kemiringan Hidrolis dan Energi	16
Gambar 2.3 Penampang Berbentuk Persegi	20
Gambar 2.4 Penampang Berbentuk trapesium	21
Gambar 2.5 Contoh Siphon	23
Gambar 2.6 Kisi-kisi Penyaring	28
Gambar 2.7 Peralihan Aliran Pada Bagian Siku	29
Gambar 3.1 Peta Lokasi D.I Bajayu, D.I Paya Lombang dan D.I Langau	33
Gambar 3.2 Bagan Alir Perencanaan Siphon	46
Gambar 4.1 Potongan Memanjang Siphon	47
Gambar 4.2 Potongan Melintang Siphon	48
Gambar 4.3 Gaya Tanah Yang Bekerja Pada Siphon	55



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Gagalnya air masuk melalui pengambilan bebas bajayu yang berada di daerah aliran sungai (DAS) Padang, Tebing Tinggi merupakan salah satu masalah besar. Debit atau permukaan air sungai Padang hingga saat ini terus menyusut dalam beberapa bulan terakhir ini karena musim kemarau panjang. Lebih kurang 1300 hektar areal pertanian di Desa Paya Lombang, Kuta Baru, Tebing Tinggi, Kabupaten Serdang Bedagai Sumatera Utara kekeringan. Kondisi padi kini sudah mulai rusak, bahkan tanah areal persawahan sudah kering dan retak-retak. Bila terjadi musim kemarau berkelanjutan, ribuan hektar areal pertanian padi akan mengalami gagal panen. Disisi lain masyarakat Tebing Tinggi memiliki paradigma bahwa bendung di Paya Lombang merupakan penyebab utama naiknya muka air sungai Padang sehingga bila debit air sungai Padang meningkat maka banjir di kota Tebing Tinggi tidak dapat dielakkan.

Desain bendung D.I Bajayu ini mengakomodasi kepentingan irigasi (D.I Paya Lombang 1558 Ha, D.I Langau 2000 Ha, dan D.I Bajayu 4000 Ha) dan pengendalian banjir kota Tebing Tinggi. Irigasi adalah usaha penyediaan dan pengaturan air untuk menunjang pertanian yang jenisnya meliputi irigasi air permukaan, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi rawa. Semua proses kehidupan dan kejadian di dalam tanah yang merupakan tempat media pertumbuhan tanaman hanya dapat terjadi apabila ada air. Proses-proses utama

yang menciptakan kesuburan tanah atau sebaliknya yang mendorong degradasi tanah hanya dapat berlangsung apabila terdapat kehadiran air. Menurut Abdullah Angoedi dalam sejarah irigasi di Indonesia disebutkan bahwa dalam laporan pemerintah Belanda irigasi didefinisikan sebagai berikut : Secara teknis menyalurkan air melalui saluran-saluran pembawa ke tanah pertanian dan setelah air tersebut diambil manfaat sebesar-besarnya menyalurkannya ke saluran-saluran pembuangan terus ke sungai. Dengan demikian tujuan irigasi adalah mengalirkan air secara teratur sesuai kebutuhan tanaman pada saat persediaan tanah tidak mencukupi untuk mendukung pertumbuhan tanaman, sehingga tanaman bisa tumbuh secara normal. Pemberian air irigasi yang efisien selain dipengaruhi oleh tata cara aplikasi, juga ditentukan oleh kebutuhan air guna mencapai kondisi air tersedia yang dibutuhkan tanaman. Sistem irigasi di Indonesia yang umumnya bergantung kepada cara pengambilan air sungai dan dimaksudkan untuk mengairi persawahan dapat dibedakan menjadi irigasi pedesaan dan irigasi pemerintah. Perbedaan itu berdasarkan pengelolaannya. Sistem irigasi desa bersifat komunal dan tidak menerima bantuan dari Pemerintah Pusat. Pembangunan dan pengelolaarr seluruh jaringan irigasi dilakukan sepenuhnya oleh masyarakat. Sedangkan sistem irigasi yang tergantung pada bantuan pemerintah dibagi ke dalam tiga kategori: irigasi teknis semi teknis dan sederhana.

Dengan maksud memenuhi kebutuhan air bagi pertanian dan pengendalian banjir maka diperlukan berbagai prasarana penyedia dan sumber tangkapan air. Prasarana itu dapat berupa bangunan - bangunan dimulai dari bangunan hulu (induk) sebagai pengambil air dari aliran air (sungai) sampai dengan bangunan – bangunan pada jaringan irigasi. Jaringan irigasi adalah satu kesatuan saluran dan

bangunan yang diperlukan untuk penyediaan, pembagian, pemberian, penggunaan dan pembuangan air irigasi (PP No.20 tahun 2006). Jaringan irigasi dibagi menjadi jaringan utama dan jaringan tersier. Jaringan utama meliputi jaringan primer yaitu bagian dari jaringan irigasi yang terdiri dari bangunan utama, saluran induk, saluran pembuangannya, bangunan bagi, bangunan sadap, dan bangunan pelengkap. Tolak ukur keberhasilan pengelolaan jaringan irigasi adalah efisiensi dan efektifitas saluran pembawa air. Pada hilir bendung ini terdapat saluran pembawa air yang melintasi sungai. Sehingga diperlukan bangunan siphon untuk membawa air agar mampu mengairi areal sawah sesuai dengan yang diharapkan.

Oleh karena itu penulis memilih untuk melakukan penelitian yang diarahkan kepada permasalahan yang berjudul : **Evaluasi Perencanaan Bangunan Siphon Pada Proyek Pembangunan Bendung Sei Padang Kab. Serdang Bedagai Sumatera Utara.**

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi perhitungan perencanaan bangunan Siphon pada proyek pembangunan bendung Sei Padang.

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas saluran pembawa air agar mampu mengairi areal sawah sesuai dengan yang diharapkan.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah dapat diidentifikasi beberapa masalah yang muncul dalam perencanaan bangunan pelengkap dan bangunan bagi antara lain :

1. Bagaimanakah analisa perhitungan bangunan Siphon?
2. Apakah bangunan Siphon dapat mencapai keefektifan jaringan irigasi?

Seberapa besarkah pengaruh bangunan Siphon dalam keberhasilan jaringan irigasi?



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Arti irigasi pada umumnya adalah usaha mendatangkan air dengan membuat bangunan-bangunan dan saluran-saluran untuk mengalirkan air guna keperluan pertanian, membagi-bagikan air kesawah-sawah atau lading-lading dengan cara yang teratur dan membuang air yang tidak diperlukan lagi ke sungai setelah air digunakan sebaik-baiknya. Air merupakan faktor yang penting dalam bercocok tanam. Selain jenis tanaman, kebutuhan air bagi suatu tanaman juga dipengaruhi oleh sifat dan jenis tanah, keadaan iklim, kesuburan tanah, cara bercocok tanam, luas areal pertanaman, topografi, periode tumbuh dan sebagainya. Cara pemakaian air tergantung dari keadaan irigasi, tanah, tanaman yang diairi dan sebagainya. Cara pemakaian air dapat dibedakan menjadi yaitu merendam tanah, merembeskan air pengaliran dan pengeringan, pembasahan dalam tanah, menyirami dan menyemprot). Merendam tanah dengan pembaruan air lazim digunakan dalam penanaman padi. (Prof. R.Drs. Erman Mawardi, 2007:5). Jaringan irigasi adalah saluran, bangunan dan bangunan selengkapnya yang merupakan satu kesatuan yang diperlukan untuk penyediaan, pembagian, pemberian, penggunaan, dan pembuangan air irigasi (PP No.20 Tahun 2006).

Jaringan irigasi dibagi menjadi jaringan utama, jaringan sekunder dan jaringan tersier. Jaringan utama meliputi jaringan primer yaitu bagian dari jaringan irigasi yang terdiri dari bangunan utama, saluran induk, saluran pembuangannya, bangunan bagi, dan bangunan pelengkap. jaringan sekunder

yaitu bagian dari jaringan irigasi yang terdiri dari saluran sekunder, saluran pembuangannya, bangunan bagi dan bangunan pelengkap. Sedangkan jaringan tersier terdiri dari jaringan irigasi tersier yaitu jaringan irigasi yang berfungsi sebagai prasarana pelayanan air irigasi dalam petak tersier yang terdiri dari saluran tersier, saluran kuarter, serta bangunan pelengkap.

Sistem irigasi di Indonesia yang umumnya bergantung kepada cara pengambilan air sungai dan dimaksudkan untuk mengairi persawahan dapat dibedakan menjadi irigasi pedesaan dan irigasi pemerintah. Perbedaan itu berdasarkan pengelolalaannya. Sistem irigasi desa bersifat komunal dan tidak menerima bantuan dari pemerintah pusat. Pembangunan dan pengelolaannya seluruh jaringan irigasi dilakukan sepenuhnya oleh masyarakat. Sedangkan sistem irigasi yang tergantung pada bantuan pemerintah dibagi kedalam tiga kategori, yaitu irigasi teknis, irigasi semi teknis dan irigasi sederhana.

Bangunan irigasi dalam jaringan teknis mulai dari awal sampai akhir dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu pertama bangunan untuk pengambilan/penyadapan, pengukuran dan pembagian air dan yang kedua yaitu bangunan pelengkap untuk mengatasi halangan/rintangannya sepanjang saluran dan bangunan lain. Keberadaan bangunan irigasi diperlukan untuk menunjang pengambilan dan pengaturan air irigasi. Beberapa jenis bangunan irigasi yang sering dijumpai dalam praktek irigasi antara lain :

1. Bangunan utama;
2. Bangunan pembawa;
3. Bangunan bagi;
4. Bangunan sadap;

5. Bangunan pembuang dan penguras;
6. Bangunan pelengkap.

Dalam hal ini yang akan dibahas adalah perhitungan perencanaan bangunan Siphon pada jaringan irigasi.

2.2 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah.

Faktor- faktor yang mempengaruhi besarnya air yang perlu disediakan dengan sistem irigasi adalah:

1. Curah hujan;
2. Kontribusi air tanah;
3. Evapotranspirasi;
4. Perkolasi.

Tanaman membutuhkan air agar dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Air tersebut dapat berasal dari air hujan, kontribusi air tanah dan air irigasi. Sementara kehilangan air dari daerah akar tanaman adalah berupa Evapotranspirasi dan Perkolasi.

Apabila jumlah air yang diperoleh dari curah hujan dan kontribusi air tanah tidak mencukupi kebutuhan air yang diperlukan tanaman selama masa pertumbuhannya maka penyediaan dengan sistem irigasi diperlukan sebagai alternatif penanggulangannya. Air yang dibutuhkan oleh tanaman dapat

sepenuhnya atau sebagian didapatkan dari curah hujan. Curah hujan untuk setiap periode atau dari tahun ke tahun berubah-ubah sehingga disarankan untuk menggunakan curah hujan rencana misalnya dengan probabilitas 70% atau 85% dari pada menggunakan curah hujan rata-rata. Apabila ada kemungkinan terjadinya produksi tanaman yang nyata selama musim kemarau, misalnya pada saat tanaman sangat sensitip dengan kurangnya air maka probabilitas dapat dinaikkan menjadi 90%.

Untuk irigasi padi curah hujan efektif bulanan diambil 70% dari curah hujan minimum tengah bulanan.

$$Re = 0,7 \frac{1}{15} R \text{ (setengah bulan)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

Re = curah hujan efektif

R(setengah bulan) = curah hujan minimum tengah bulanan

2.2.1 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi (Sosrodarsono, 1976: 60). Satuan daripada evapotranspirasi pada umumnya dinyatakan dalam mm/hari atau mm/masa pertumbuhan.

- 1 mm/hari = 10.000 liter/ha.hari
- = 1 liter/m².hari
- = 10 m³/ha.hari
- = 0,11574074 liter/detik.hari

Evapotranspirasi sering disebut sebagai kebutuhan konsumtif tanaman yang merupakan jumlah air untuk evaporasi dari permukaan areal tanaman dengan air untuk transpirasi dari tubuh tanaman. Proses transpirasi dan evaporasi dari permukaan tanah yang terjadi secara bersamaan sering disebut evapotranspirasi. Mengingat faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi sangat kompleks, maka nilainya sulit ditentukan secara teliti. Oleh karena evapotranspirasi merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi, di saat ini telah banyak ditemukan metode pendekatannya baik secara matematis maupun pengukuran langsung. Dari berbagai metode analisis yang ada, metode Penman Modifikasi memberikan keluaran yang cukup akurat mengingat dalam analisisnya cukup banyak memasukkan parameter dan variabel yang berpengaruh. Perhitungan evapotranspirasi dilakukan dengan Metode Penmann Modifikasi FAO dimana data yang diperlukan adalah suhu/temperatur udara, kelembaban relatif, kecepatan angin dan lamanya penyinaran matahari.

Besarnya evapotranspirasi potensial (Eto) dapat dihitung dengan menggunakan metode Penman modifikasi yang telah disesuaikan dengan keadaan daerah Indonesia (Suhardjono, 1994:54) dengan rumus sebagai berikut:

$$Eto = c [W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- Eto = evapotranspirasi acuan (mm/hari)
- w = faktor koreksi terhadap temperatur
- Rn = radiasi netto (mm/hari)
- F(u) = fungsi angin

$(e_a - e_d)$ = perbedaan antara tekanan udara uap air lembab pada temperatur udara rata-rata dan tekanan uap air aktual rata-rata (mbar)

C = angka koreksi Penman.

Uraian tentang metode perhitungan variabel-variabel yang digunakan dalam metode Penman:

1. Tekanan uap air ($e_a - e_d$)

Kelembababan relatif udara rata-rata udara mempengaruhi Eto. Dalam hal ini dinyatakan dalam bentuk tekanan uap air ($e_a - e_d$) yaitu perbedaan dari tekanan uap air lembab rata-rata (e_a) dan tekanan uap air aktual rata-rata (e_d).

Formula-formula yang digunakan;

a. Tekanan uap air basah (e_a)

Tekanan uap air basah (e_a) adalah kemungkinan tekanan uap air maksimum untuk temperatur udara.

$$e_a = 33,8639 \{ (0,00738.T + 0,8072)^8 - 0,000019 (1,8.T + 48) + 0,001316 \} \text{ mbar} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

T = temperatur udara dalam °C

b. Tekanan uap air aktual (e_d)

Tekanan uap air aktual (e_d) adalah tekanan yang disebabkan oleh tekanan uap air diudara.

$$e_d = e_a \cdot R_h \text{ mbar} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

Rh = kelembaban relatif rata-rata adalah jumlah uap air sebenarnya yang ada pada udara relatif terhadap jumlah uap udara pada saat dimana udara dalam keadaan lembab (*saturated*) pada temperatur yang sama (dinyatakan dalam %).

2. Fungsi Angin (F(u))

Fungsi angin dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$F(u) = 0,27 (1 + U/100).....(2.5)$$

Dimana:

U = kecepatan angin berhembus dalam 24 jam (km/hari) pada ketinggian 2 m

3. Faktor Koreksi (1-w)

(1-w) merupakan faktor koreksi daripada pengaruh angin dan kadar lengas terhadap ET₀. Besar (1-w) sehubungan dengan temperatur dan ketinggian dapat dihitung dengan rumus:

$$w = \delta/(\delta + \beta).....(2.6)$$

Dimana:

β = konstanta *psychrometric* = (0,386 Pa)/L mbar/°C

L = *latent heat* = 595-0,51t cal/ °C

Pa = tekanan atmosfer

= 1013-0,1055.E (E= elevasi permukaan laut)

δ = sudut dari kurva hubungan antara tekanan uap air dan temperatur

$$= 2 \times (0,00738 t + 0,8072)^7 - 0,00116 \text{ mbar}(2.9)$$

Dimana;

t = temperatur udara dalam °C

$$= (T_{\max} + T_{\min})/2$$

4. Radiasi Netto (Rn)

Radiasi netto adalah perbedaan antara semua radiasi yang masuk dan radiasi yang kedua dari permukaan bumi. Untuk menghitung Rn maka ada beberapa langkah perhitungan yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

$$R_n = (R_{ns} - R_{nl}) \text{ mm/hari} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

R_{ns} = solar radiasi netto = $(1 - a) R_s$ mm/hari
 = koefisien pantul permukaan bumi dalam pecahan

R_s = solar radiasi gelombang pendek (shortweve)
 = $(a + b n/N) R_a$ (Augstuom)

Secara umum ;

$$R_s = (0.25 + 0.5 n/N) R_a \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

n = lamanya penyinaran matahari/hari

N = kemungkinan penyinaran matahari maksimum

R_a = total radiasi yang diterima pada lapisan atas atmosfer

radiasi gelombang panjang netto (R_{nl}) menurut hukum Stefan-Boltzman adalah σT^4 dimana T = temperatur absolut dalam derajat kelvin dan σ = konstanta radiasi yang diperkenalkan oleh Stefan-Boltzman.

sehingga radiasi gelombang panjang netto dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R_{nl} = C (\sigma T^4) (0.34 - 0.044 \sqrt{ed}) (0.1 + 0.9 n/N) \dots \dots \dots (2.9)$$

5. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan

Pada umumnya jumlah air yang dibutuhkan untuk penyiapan lahan dapat ditentukan berdasarkan kedalaman serta porositas tanah disawah. Rumus berikut dipakai untuk memperkirakan kebutuhan air untuk lahan.

$$PWR = \frac{(sa-sb)N.d}{10^4} + Pd + Fl \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

PWR = kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm)

Sa (%) = derajat kejenuhan tanah setelah penyiapan lahan dimulai

Sb (%) = derajat kejenuhan tanah sebelum penyiapan lahan dimulai

N = porositas tanah dalam (%) pada harga rata-rata untuk kedalaman tanah

D = asumsi kedalaman tanah setelah pekerjaan penyiapan lahan (mm)

Pd = kedalaman genangan setelah pekerjaan penyiapan lahan (mm)

Fl = kehilangan air disawah selama 1 hari (mm)

6. Kebutuhan air selama penyiapan lahan

Untuk perhitungan kebutuhan irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zilystra (1968). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut:

$$IR = M e^k / (e^k - 1) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

IR = kebutuhan air irigasi ditingkat persawahan (mm/hari)

M = kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan

perkolasi disawah yang sudah dijenuhkan $M = E_o + P$ (mm/hari)

E_o = evaporasi air terbuka yang diambil 1,1 E_{to} selama penyiapan lahan
(mm/hari)

P = perkolasi

K = MT/S

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = kebutuhan air, untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50, yakni
 $200 + 50 = 250$ mm

7. Penggunaan Konsumtif

Penggunaan konsumtif adalah jumlah air yang dipakai oleh tanaman untuk proses fotosintesis dari tanaman tersebut.

Penggunaan konsumtif dihitung dengan rumus berikut:

$$E_{tc} = c \times E_{to} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

E_{tc} = evapotranspirasi tanaman (mm/hari);

E_{to} = evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari);

c = koefisien tanaman.

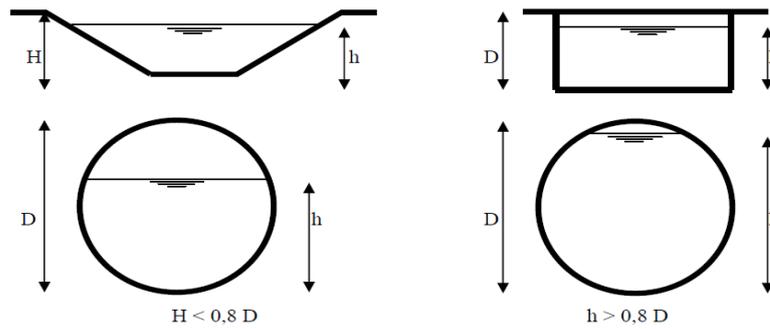
Tabel 4.4 Koefisien Tanaman

Periode	Padi		Palawija		
	Tengah Bulanan	Biasa	Unggul	Kedelai	Kacang Hijau
1.		1,10	1,10	0,50	0,40
2.		1,10	1,10	0,75	0,60
3.		1,10	1,05	1,00	0,97
4.		1,10	1,05	1,00	1,05
5.		1,10	0,95	0,82	0,80
6.		1,05	0,95	0,45	
7.		0,95			
8.		0,00			

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi, Perencanaan Jaringan Irigasi KP - 0 1, 1986

2.3 Dasar-Dasar Aliran Dalam Saluran

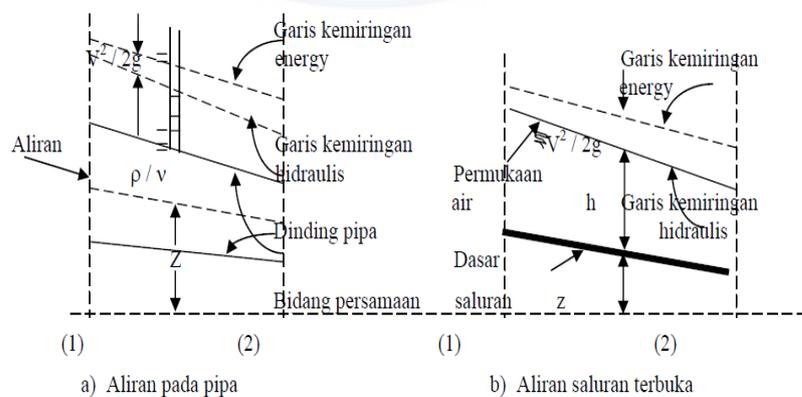
Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa Aliran saluran terbuka (*open channel flow*) dan aliran saluran tertutup (*pipe flow*). Keduanya dalam beberapa hal adalah sama, perbedaannya yaitu aliran pada saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas yang dipengaruhi tekanan udara bebas, sedangkan aliran pada pipa tidak dipengaruhi oleh tekanan udara secara langsung kecuali oleh tekanan hidrolis.



Gambar 2.1 Saluran Terbuka dan Tertutup

sumber: Ichwan Ridwan.2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori dan Penyelesaian Soal-Soal. Jurnal e-Repository USU (online), diakses 1 Mei 2017.

Saluran dapat dapat berbentuk alami (sungai, paluh dan muara) dengan penampang melintang atau kemiringan memanjang berubah-ubah (*varriying cross section*) disebut *Non Prismatic channel*. Saluran buatan jika penampang dan kemiringannya konstan (*constant cross section*) disebut *prismatic channel*. Contohnya saluran irigasi dan gorong-gorong yang mengalir sebahagian. Perbandingan bentuk kedua aliran terbuka dan aliran pipa dapat dilihat pada gambar di bawah ini. (Ichwan Ridwan.2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori dan Penyelesaian Soal-Soal. Jurnal e-Repository USU, diakses 1 Mei 2017)



Gambar 2.2 Garis Kemiringan Hidrolis dan Energi

Sumber: Ichwan Ridwan.2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori dan Penyelesaian Soal-Soal. Jurnal e-Repository USU (online), diakses 1 Mei 2017.

Perbandingan rumus energi untuk tipe aliran tertutup dan terbuka tersebut adalah:

Aliran pada saluran tertutup :

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots \dots \dots (2.13)$$

Aliran pada saluran terbuka

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots \dots \dots (2.14)$$

(Ichwan Ridwan.2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori dan Penyelesaian Soal-Soal. Jurnal e-Repository USU (online), diakses 1 Mei 2017).

Pada umumnya perhitungan saluran terbuka hanya digunakan pada aliran tetap dengan debit Q, sehingga tinggi banjir rencana di hilir bendung dihitung dengan rumus Manning sebagai berikut :

$$Q = A \times V \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

A = luas penampang melintang saluran (m²)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)

Dalam hal ini untuk mencari kecepatan rata-rata aliran digunakan rumus
 Stickler:

$$V = K \times R^{2/3} \times I^{1/2} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

K = koefisien kekasaran saluran

R = jari-jari hidrolis (m)

I = kemiringan dasar saluran

Tabel 2.2 Karakteristik Saluran

debit dalam m ³ /dt		kemiringan talut 1:m	perbandingan b/h n		faktor kekasaran k
0.15	- 0.30	1.0	1.0		35
0.30	- 0.50	1.0	1.0	- 1.2	35
0.50	- 0.75	1.0	1.2	- 1.3	35
0.75	- 1.00	1.0	1.3	- 1.5	35
1.00	- 1.50	1.0	1.5	- 1.8	40
1.50	- 3.00	1.5	1.8	- 2.3	40
3.00	- 4.50	1.5	2.3	- 2.7	40
4.50	- 5.00	1.5	2.7	- 2.9	40
5.00	- 6.00	1.5	2.9	- 3.1	42.5
6.00	- 7.50	1.5	3.1	- 3.5	42.5
7.50	- 9.00	1.5	3.5	- 3.7	42.5
9.00	- 10.00	1.5	3.7	- 3.9	42.5
10.00	- 11.00	2.0	3.9	- 4.2	45
11.00	- 15.00	2.0	4.2	- 4.9	45
15.00	- 25.00	2.0	4.9	- 6.5	45
25.00	- 40.00	2.0	6.5	- 9.0	45

Sumber : Kriteria Perencanaan -03 lampiran 2-5

Sedangkan ,

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

A = luas penampang (m²)

P = keliling basah (m)

2.4 Penampang Hidrolis Terbaik

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum. Penampang hidrolis terbaik atau paling efisien kadang-kadang disebut juga tampang ekonomis.

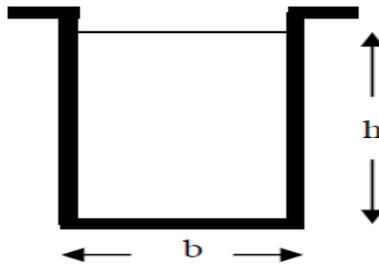
2.4.1 Penampang Berbentuk Persegi Yang Ekonomis

Pada penampang melintang saluran bentuk persegi dengan lebar dasar b dan kedalaman air h (gambar 2.3), luas penampang basah A dan keliling basah P dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = b \times h \dots\dots\dots (2.18)$$

Atau

$$b = A/h \dots\dots\dots (2.19)$$



Gambar 2.3 Penampang Berbentuk Persegi

Sumber: Ichwan Ridwan.2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori dan Penyelesaian Soal-Soal. Jurnal e-Repository USU (online), diakses 1 Mei 2017.

$$P = b + 2h \dots\dots\dots (2.20)$$

Substitusikan persamaan (2.20) ke persamaan (2.21), maka diperoleh persamaan:

$$P = \frac{A}{h} + 2h \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan asumsi luas penampang A adalah konstan maka persamaan (2.22) dapat didiferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh P minimum.

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} + 2 = 0$$

$$A = 2h^2 = bh$$

atau

$$b = 2h \text{ atau } h = b/2 \dots\dots\dots (2.23)$$

jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} = \frac{bh}{b + 2h} \dots\dots\dots (2.24)$$

atau

$$R = \frac{2h^2}{2h + 2h} = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (2.25)$$

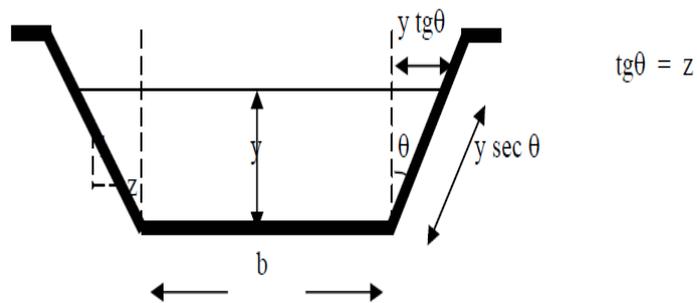
Bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidroliknya setengah dari kedalaman air.

2.4.2 Penampang Berbentuk Trapesium Yang Ekonomis

Luas penampang melintang A, dan keliling basah P, saluran dengan penampang melintang yang berbentuk trapezium dengan lebar dasar b, kedalaman aliran h, dan kemiringan dinding 1: m (gambar 2.4) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = (b + mh)h \dots\dots\dots (2.26)$$

$$b = \frac{A}{h} - mh \dots\dots\dots (2.27)$$



Gambar 2.4 Penampang Berbentuk Trapesium

Sumber: Ichwan Ridwan.2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori dan Penyelesaian Soal-Soal. Jurnal e-Repository USU (online), diakses 1 Mei 2017.

$$P = 2h\sqrt{m^2 + 1} + b = 2h\sqrt{m^2 + 1} + \frac{A}{h} - mh \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\frac{dp}{dh} = -\frac{A}{h^2} - m + 2\sqrt{m^2 + 1} = 0 \rightarrow A = (2\sqrt{m^2 + 1} - m)h^2 \dots \dots \dots (2.29)$$

jari-jari hidrolik (R)

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(2\sqrt{m^2 + 1} - m)h^2}{(2\sqrt{m^2 + 1} - m)h + (2\sqrt{m^2 + 1} - m)} = \frac{h^2}{2h} = \frac{h}{2} \dots \dots \dots (2.30)$$

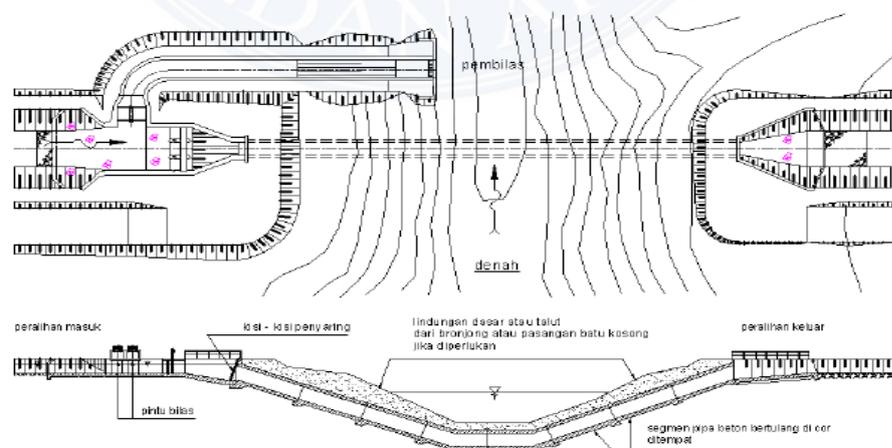
(Ichwan Ridwan.2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Teori dan Penyelesaian Soal-Soal. Jurnal e-Repository USU (online), diakses 1 Mei 2017).

2.5 Siphon (Syphon)

Bangunan siphon merupakan salah satu bangunan persilangan yang dibangun untuk mengalirkan debit yang dibawa oleh saluran yang jalurnya terpotong oleh lembah dengan bentang panjang atau terpotong oleh sungai. Bangunan siphon berupa saluran tertutup yang dipasang mengikuti bentuk potongan melintang sungai atau lembah untuk menyeberangkan debit dari sisi hulu ke sisi hilir. Bangunan siphon (berupa saluran tertutup berpenampang lingkaran atau segi empat) dipasang dibawah dasar sungai, atau bisa juga dipasang di atas permukaan tanah jika melintasi lembah (cekungan). Konstruksi siphon jika penampang melintang berupa segi empat biasanya dibuat dari beton bertulang (*reinforced concrete*), jika penampang melintang berupa lingkaran biasanya dibuat dari baja. Untuk mencegah adanya sedimentasi pada saat debit di dalam siphon mengecil,

biasanya digunakan tipe pipa rangkap. Pada saat debit di dalam siphon mengecil, jalur satu ditutup, jalur lainnya dibuka sehingga kecepatan aliran didalam siphon tetap bisa mengangkut sediment ke hilirnya. Konstruksi siphon harus dipilih pada lokasi yang panjang bentang sungainya minimum, agar biaya konstruksinya hemat, serta kehilangan energinya kecil.

Untuk mencegah sedimentasi aliran dalam siphon harus tinggi. Tetapi, kecepatan yang tinggi menyebabkan bertambahnya kehilangan tinggi energi. Oleh sebab itu keseimbangan antara kecepatan yang tinggi dan kehilangan tinggi energi yang diizinkan harus tetap dijaga. Kecepatan aliran dalam siphon harus dua kali lebih tinggi dari kecepatan normal aliran dalam saluran, dan tidak boleh kurang dari 1 m/dt, lebih disukai lagi kalau tidak kurang dari 1,5 m/dt. Kecepatan maksimum sebaiknya tidak melebihi 3 m/dt. Bagian atas lubang pipa sebaiknya berada sedikit di bawah permukaan air normal. Ini akan mengurangi kemungkinan berkurangnya kapasitas siphon akibat masuknya udara ke dalam siphon. Kedalaman tenggelamnya bagian atas lubang siphon disebut air perapat (*water seal*).



Gambar 2.5 Contoh Siphon

Sumber: Kriteria Perencanaan -04 halaman 112

Didalam perencanaan siphon ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, antara lain : (untuk kasus siphon melintasi dasar sungai).

1. Siphon harus mampu menahan gaya uplift pada saat kondisi airnya kosong. Kondisi yang paling berbahaya pada konstruksi siphon adalah pada saat siphon dalam keadaan kosong. Pada saat kondisi ini gaya uplift yaitu gaya yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik dari bawah konstruksi siphon, menekan konstruksi siphon ke arah atas. Gaya ini cenderung mengangkat konstruksi siphon. Sedangkan untuk mengimbangnya diperlukan gaya penahan yang arahnya vertikal ke bawah yaitu gaya berat akibat berat sendiri konstruksi siphon dan gaya berat akibat berat lapisan penutup siphon.
2. Siphon harus dibuat pada kedalaman yang cukup di bawah dasar sungai. Pada kondisi ini konstruksi siphon harus aman terhadap bahaya gerusan tanah dasar sungai (degradasi) maupun bahaya gerusan lokal akibat dasar sungai yang terganggu. Jika konstruksi siphon berada terlalu dekat dengan permukaan dasar sungai, maka tanah penutup di atas siphon kemungkinan akan terkikis. Untuk itu konstruksi siphon harus dibuat pada kedalaman yang cukup terhadap dasar sungai. Pada bagian dasar palung sungai, konstruksi siphon sebaiknya dalam posisi horisontal dan panjangnya ke arah tebing sungai harus cukup, karena tebing sungai kemungkinan bisa juga terjadi erosi. , Sedangkan pada bagian lereng sungai bisa dibuat miring. Lapisan penutup dasar sungai (di atas konstruksi siphon) sebaiknya berupa pasangan gabion (bronjong).

3. Untuk mengurangi kehilangan energi maka lokasi siphon diusahakan pada bentang sungai terpendek, serta memperkecil jumlah belokan pada konstruksi siphon.

2.5.1 Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi pada siphon terdiri dari kehilangan energi akibat gesekan, kehilangan energi akibat belokan, kehilangan energi akibat peralihan dan kehilangan energi akibat saringan. Kehilangan-hilangan energi ini dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

(Y.C Lim.1981. Hydraulic Design Practice Of Canal Structure halaman 113)

1. Kehilangan energi pada pintu masuk (*inlet*)

- a. Akibat gesekan (*friction*)

Kehilangan energi akibat gesekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta H_f = L \times \frac{I_1 + I_2}{2} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana:

$$I = \left(\frac{V}{\frac{1}{n} \times R^{2/3}} \right) \dots \dots \dots (2.32)$$

- I = kemiringan saluran
- ΔH_f = kehilangan energi akibat gesekan (m)
- L = panjang saluran (m)
- n = koefisien kekasaran saluran ($\frac{1}{K}$)
- V = kecepatan aliran (m/dt)

Tabel 2.3 Harga-Harga Koefisien Kekasaran Strickler

Bahan	k (m ^{1/3} /dt)
Baja beton	76
Beton, bentuk kayu, tidak selesai	70
Baja	80
Pasangan batu	60

Sumber: Kriteria Perencanaan – 04 Hal. 89

b. Akibat peralihan/penyempitan (*convergence*)

Kehilangan energi pada peralihan masuk dan peralihan keluar dinyatakan memakai rumus Borda:

$$\Delta H_c = \xi \text{ masuk atau keluar} \times \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana :

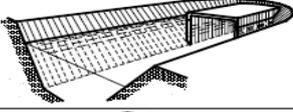
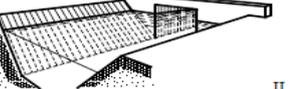
ΔH_c = kehilangan energi akibat peralihan (m)

V = kecepatan aliran di dalam siphon (m/dt)

V_a = kecepatan aliran di saluran (m/dt)

ξ = faktor kehilangan energi yang bergantung kepada bentuk hidrolis peralihan dan apakah kehilangan itu peralihan masuk atau keluar

Tabel 2.4 Koefisien Kehilangan Tinggi Energi Untuk Peralihan-Peralihan Dari Bentuk Trapesium Ke Segi Empat Dengan Permukaan Air Bebas Dan Sebaliknya (drai Bos dan Reinick 1981 dan idel'cik 1960).

			Persamaan		
			5.3	5.4	
	pipa gorong-gorong sampai ke peralihan samping saluran		I	ξ_{masuk} 0.50	ξ_{keluar} 1.00
Dianjurkan	pipa gorong-gorong sampai di dinding hulu melalui saluran		II	0.50	1.00
	peralihan punggung patah dengan sudut pelebaran 1:1 atau 1:2		III	0.30	0.60
Dianjurkan	dinding hulu dengan peralihan yang dibulatkan dengan jari-jari lebih dari 0,1 y		IV	0.25	0.50
Dianjurkan	peralihan punggung patah dengan sudut pelebaran sekitar 1:5		V	0.20	0.40
	peralihan berangsur antara potongan melintang segiempat dan trapesium		VI	0.10	0.20

Sumber: Kriteria Perencanaan – 04 hal. 91

Faktor-faktor kehilangan energi untuk standar peralihan ini adalah (Kriteria Perencanaan – 04 hal. 96) :

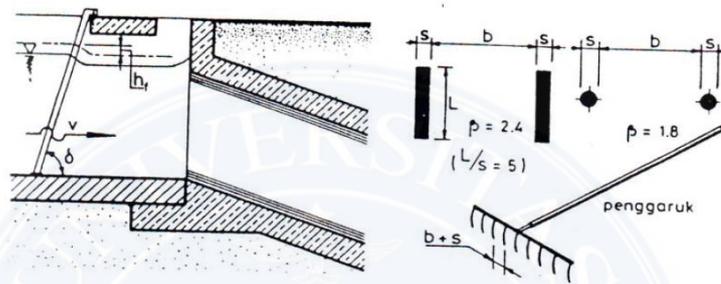
$$\xi_{masuk} = 0,25$$

$$\xi_{keluar} = 0,5 \text{ s/d } 1,0$$

Umumnya dengan peralihan-peralihan dengan tipe ini kehilangan tinggi energi menjadi begitu kecil hingga hampir boleh diabaikan. Akan tetapi untuk menutup kehilangan-kehilangan kecil yang mungkin terjadi seperti diakibatkan oleh gesekan pada bangunan, turbulensi akibat celah-celah pintu dan sebagainya, diambil kehilangan tinggi air minimum 0,05 m di bangunan-banguna saluran yang membutuhkan peralihan.

c. Akibat saringan (*trash rack*)

Kisi-kisi penyaring (Gambar 2.6) harus dipasang pada lubang masuk bukaan dimana benda-benda yang menyumbat menimbulkan akibat-akibat serius. Kisi-kisi penyaring dibuat dari jeruji baja dan mencakup seluruh bukaan. Jeruji tegak dipilih agar bisa dibersihkan dengan penggaruk (*rake*).



Gambar 2.6 Kisi-Kisi Penyaring

Sumber: Kriteria Perencanaan – 04 hal. 114

Kehilangan tinggi energi air pada kisi-kisi penyaring dapat dihitung dengan:

$$\Delta H\gamma = 3\varphi\left(\frac{s}{b}\right)^4 \times \frac{V^2}{2g} \sin \alpha \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana :

$\Delta H\gamma$ = kehilangan energi akibat saringan (m)

V = kecepatan aliran di siphon, ($v = 2$ m/dt)

φ = koefisien berdasarkan bentuk profil batang

jeruji saringan, faktor bentuk (2,4 untuk segi empat, dan 1,8 untuk jeruji bulat)

s = tebal batang jeruji saringan (mm)

b = jarak antar batang jeruji (m)

α = kemiringan batang jeruji terhadap horizontal

2. Kehilangan energi pada saluran siphon (*conduit*)
 - a. Akibat gesekan (*friction*)

Kehilangan energi akibat gesekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta H_f = L_2 \times I_2 \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana:

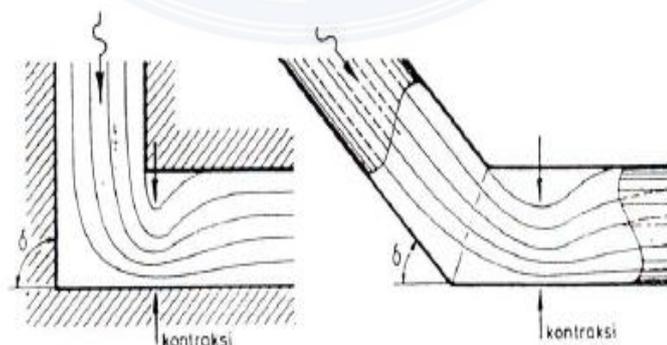
ΔH_f = kehilangan energi akibat gesekan (m)

L_2 = panjang saluran siphon (m)

I_2 = kemiringan saluran siphon (m)

- b. Akibat belokan (*bend*)

Bagian siku dan tikungan dalam siphon atau pipa menyebabkan perubahan arah aliran dan, sebagai akibatnya, perubahan pembagian kecepatan pada umumnya. Akibat perubahan dalam pembagian kecepatan ini, ada peningkatan tekanan piesometris di luar bagian siku atau tikungan, dan ada penurunan tekanan di dalam. Penurunan ini bisa sedemikian sehingga aliran terpisah dari dinding padat (*solid boundary*). dan dengan demikian menyebabkan bertambahnya kehilangan tinggi energi akibat turbulensi/ olakan. (Kriteria Perencanaan-04).



Gambar 2.7 Peralihan Aliran Pada Bagian Siku

Sumber: Kriteria Perencanaan – 04 hal. 93

Kehilangan energi akibat belokan jumlahnya lebih besar dari kehilangan akibat gesekan. Kehilangan energi akibat belokan dapat dihitung dengan:

$$\Delta H_b = k_b \frac{V}{2g} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana :

ΔH_b = kehilangan energi di bagian belokan (m)

V = kecepatan aliran (m/dt)

k_b = koefisien akibat belokan

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

3. Kehilangan energi pada pintu keluar (*outlet*)

a. Akibat gesekan

Kehilangan energi akibat gesekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta H_f = L \times \frac{I^2 + I^3}{2} \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana:

$$I = \left(\frac{V}{\frac{1}{n} \times R^{2/3}} \right) \dots \dots \dots (2.38)$$

I = kemiringan saluran

ΔH_f = kehilangan energi akibat gesekan (m)

L = panjang saluran (m)

n = koefisien kekasaran saluran ($\frac{1}{K}$)

V = kecepatan aliran (m/dt)

b. Akibat pelebaran (*divergence*)

Kehilangan energi akibat gesekan dapat dihitung dengan:

$$\Delta H_d = f_o \times \left(\frac{V_2^2 - V_3^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (2.39)$$

Dimana :

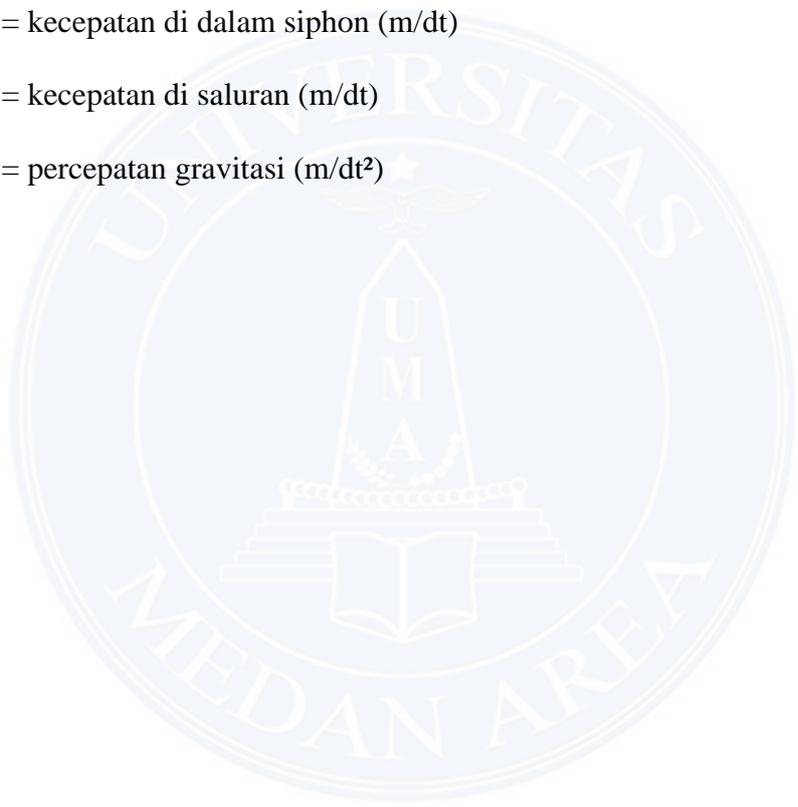
ΔH_d = kehilangan energi akibat pelebaran (m)

f_o = koefisien akibat pelebaran (0,3)

V_2 = kecepatan di dalam siphon (m/dt)

V_3 = kecepatan di saluran (m/dt)

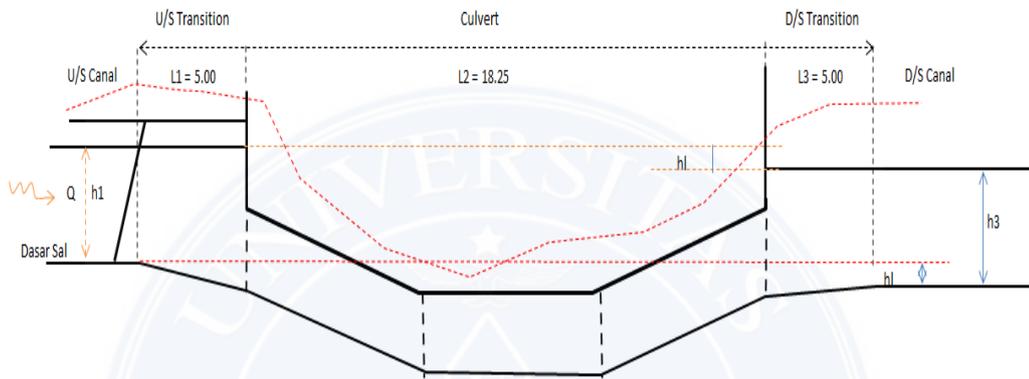
g = percepatan gravitasi (m/dt²)



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Disain Hidrolis Siphon



Gambar 4.1 Potongan Memanjang Siphon

Sumber: Data proyek lapangan

Data-data:

Debit saluran (Q) = 6,258 m³/dt

Siphon direncanakan mempunyai dua jalur (*double barrel*) sehingga debit yang direncanakan untuk tiap *barrel* = $6,258 / 2$ = 3,129 m³/dt

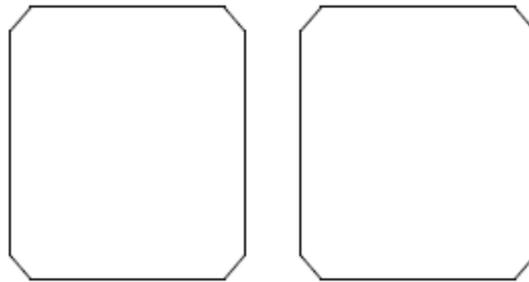
Koefisien kekasaran saluran (k) = 70 (beton bertulang)

Kemiringan talud 1 : m = 0

Direncanakan lebar dasar saluran (b) = 1,2 m

Kecepatan aliran di dalam siphon direncanakan (V2) = 1,5 m/dt

agar sedimen di dalam siphon bisa terangkut keluar.



Gambar 4.2 Potongan Melintang Siphon

Sumber: Data proyek lapangan

Penyelesaian:

Dengan menggunakan persamaan (2.18) , persamaan(2.20), persamaan (2.23) dan persamaan (2.16).

Dimana:

A = luas penampang basah dan

Siphon direncanakan saluran tertutup sehingga $P = 2b + 2h$

P = keliling basah penampang aliran sungai

R = jari-jari hidrolis

V = Kecepatan aliran

Dengan cara coba-coba maka dicoba dengan:

$$h = 1,7 \text{ m}$$

$$A = 1,2 \times 1,7 = 2,04 \text{ m}^2$$

$$P = (2 \times 1,2) + (2 \times 1,7) = 5,80 \text{ m}$$

$$R = 2,04/5,80 = 0,352 \text{ m}$$

$$Q = 1,5 \times 2,04 = 3,10 \text{ m}^3/\text{dt} \sim Q_{\text{rencana}} \text{ (ok)}$$

4.2 Perhitungan Kehilangan Tinggi Energi

4.2.1 Pada Pintu Masuk (*inlet*)

$$Q = 6,258 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$h = 1,2 \text{ m}$$

$$b = 4,0 \text{ m}$$

$$m = 1,5$$

$$L = 5,0 \text{ m}$$

$$A = 6,96 \text{ m}^2$$

$$K = 60$$

$$V1 = \frac{6,258}{6,96} = 0,89 \text{ m/dt}$$

$$P = 4,0 + 21,2\sqrt{1,5^2 + 1} = 8,32 \text{ m}$$

$$R = \frac{6,96}{8,32} = 0,83 \text{ m}$$

$$n = \frac{1}{60} = 0,016$$

$$I1 = \left(\frac{0,89}{\frac{1}{0,016} \times 0,83^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0,000285$$

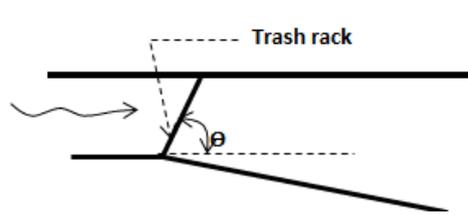
1. Akibat gesekan (*friction*)

$$\Delta H_f = 5,0 \times \frac{0,000285 + 0,00177}{2} = 0,00514 \text{ m}$$

2. Akibat peralihan/penyempitan (*convergence*)

$$\Delta H_c = 0,5 \times \frac{1,5^2 - 0,89^2}{2 \times 9,8} = 0,037 \text{ m}$$

3. Akibat saringan (*trash rack*)



Bentuk batang saringan diambil bulat, sehingga,

$$\varphi = 1,8$$

$$s = 22 \text{ mm} = 0,022 \text{ m}$$

$$b = 0,10 \text{ m}$$

$$\alpha = 70^\circ$$

$$\Delta H_y = 3 \times 1,8 \left(\frac{0,022}{0,10} \right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{0,89^2}{2 \times 9,8} \times \sin 70 = 0,027 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = 0,00514 + 0,037 + 0,027 = 0,0694 \text{ m}$$

4.2.2 Pada Saluran Siphon (*conduit*)

$$Q = 3,129 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$h = 1,7 \text{ m}$$

$$b = 1,2 \text{ m}$$

$$m = 0$$

$$L = 9,0 \text{ m}$$

$$A = 2,04 \text{ m}^2$$

$$K = 70$$

$$V_2 = 1,5 \text{ m}/\text{dt}$$

$$P = 5,80 \text{ m}$$

$$R = 0,352 \text{ m}$$

$$n = \frac{1}{70} = 0,014$$

$$I_2 = \left(\frac{1,53}{\frac{1}{0,014} \times 0,352^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0,00177$$

1. Akibat gesekan (*friction*)

$$\Delta H_f = 9,0 \times 0,00177 = 0,016 \text{ m}$$

2. Akibat belokan (*bend*)

$$\tan \Delta_1 = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$\Delta_1 = \arctan(0,5) = 26,565^\circ$$

$$\tan \Delta_2 = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

$$\Delta_1 = \arctan(0,4) = 21,801^\circ$$

$$\Delta H_b = (0,09 + 0,07) \times \frac{1,5}{2 \times 9,8} = 0,012 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = 0,016 + 0,012 = 0,028 \text{ m}$$

4.2.3 Pada Pintu Keluar (*Outlet*)

$$Q = 6,258 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$h = 1,2 \text{ m}$$

$$b = 4,0 \text{ m}$$

$$m = 1,5$$

$$L = 5,0 \text{ m}$$

$$A = 6,96 \text{ m}^2$$

$$K = 60$$

$$V_3 = \frac{6,258}{6,96} = 0,89 \text{ m/dt}$$

$$P = 4,0 + 21,2\sqrt{1,5^2 + 1} = 8,32 \text{ m}$$

$$R = \frac{6,96}{8,32} = 0,83 \text{ m}$$

$$n = \frac{1}{60} = 0,016$$

$$I_3 = \left(\frac{0,89}{\frac{1}{0,016} \times 0,83^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0,000285$$

1. Akibat gesekan (*friction*)

$$\Delta H_f = 5,0 \times \frac{0,000285 + 0,00177}{2} = 0,00514 \text{ m}$$

2. Akibat pelebaran (*divergence*)

$$\Delta H_d = 0,3 \times \frac{1,5^2 - 0,89^2}{2 \times 9,8} = 0,022 \text{ m}$$

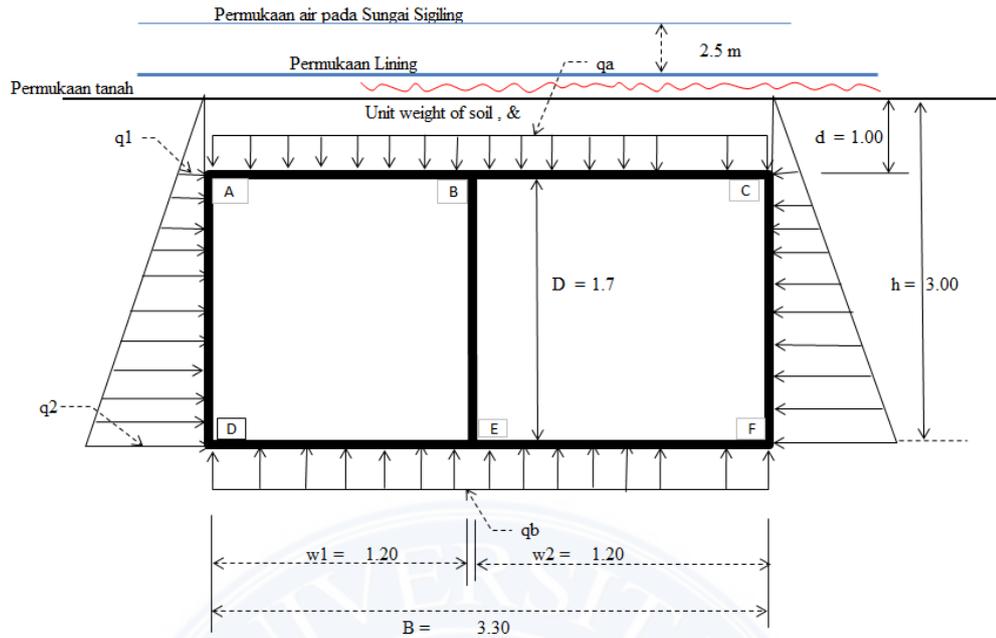
$$\Delta H_{\text{total}} = 0,00514 + 0,022 = 0,027 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\text{total keseluruhan}} = 0,0694 + 0,028 + 0,027 = 0,1244 \text{ m}$$

4.3 Perhitungan Momen Untuk Tulangan Siphon







Gambar 4.3 Gaya Tanah Yang Bekerja Pada Siphon

Sumber: Data proyek lapangan

Data-data:

Berat tanah, $G_s = 1,6 \text{ ton/m}^3$

Berat lining, $G_m = 2,3 \text{ ton/m}^3$

$d = 1,00 \text{ m}$

Tebal lantai, $t_1 = 0,30 \text{ m}$

Tebal dinding, $t_2 = 0,30 \text{ m}$

$w_1 = 1,2 \text{ m}$

$w_2 = 1,2 \text{ m}$

$B = w_1 + w_2 + 3t_2 = 3,30 \text{ m}$

$D = 1,7 \text{ m}$

$h = 3,00 \text{ m}$

Berat jenis beton, $G_c = 2,4 \text{ ton/m}^3$

Luas kontak pada permukaan tanah, $b \times a = 0,2 \times 0,5 = 0,10 \text{ m}^2$

Luas kontak pada Culvert, $A = (0,2 + 2 \times d) \times (0,5 + 2 \times d) = 5,5 \text{ m}^2$

4.3.2 Perhitungan, q_a

Berat air di saluran drainase, $h_n = 2,5 \text{ m}$, $G_a = 2,50 \text{ ton/m}$

Berat lining $t = 0,4 \text{ m}$ di atas culvert, $q_l = 0,4 \times 2,3 = 0,92 \text{ ton/m}$

Berat tanah di atas vulvert, $q_1 = 1,00 \times 1,6 = 1,6 \text{ ton/m}$

Berat lantai atas, $q_2 = 0,3 \times 2,4 = 0,72 \text{ ton/m}$

$q_a = q_1 + q_2 = 5,74 \text{ ton/m}$

4.3.3 Perhitungan, q_b

Berat tanah + lantai di atas culvert = $5,74 \times 3,30 = 18,942 \text{ ton}$

Berat dinding (3 buah) = $3 \times 0,30 \times 2,4 \times 1,7 = 3,672 \text{ ton}$

Berat lantai bawah = $0,30 \times 2,4 \times 3,30 = 2,376$

Total, $G = 18,942 + 3,672 + 2,376 = 24,99 \text{ ton}$

$q_b = 24,99/3,30 = 7,573 \text{ ton/m}$

Jarak ke titik temu, $B_1 = w_1 + t_2 = 1,50 \text{ m}$

Jarak ke titik temu, $B_2 = w_2 + t_2 = 1,50 \text{ m}$

Jarak ke titik temu, $h = D + t_1 = 2,00 \text{ m}$

Inner Friction angle ,

$\Phi = 25,00 \text{ degree}$

$45-\Phi/2 = 32,5$

$$45 + \Phi/2 = 57,5$$

$$\text{tg}(45 - \Phi/2) = 0,637$$

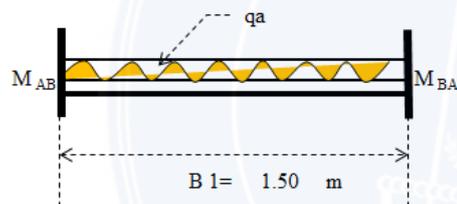
$$\text{tg}(45 + \Phi/2) = 1,571$$

$$K_a = \text{tg}^2(45 - \Phi/2) = 0,406 \quad \text{-----} \rightarrow \quad q_1 = G_s \cdot d \cdot K_a = 0,650 \text{ ton/m}$$

$$q_2 = G_s \cdot h \cdot K_a = 1,950 \text{ ton/m}$$

$$K_p = \text{tg}^2(45 + \Phi/2) = 2,468$$

4.3.4 Perhitungan Momen, Mo



$$q_a = 5,740 \text{ ton/m}$$

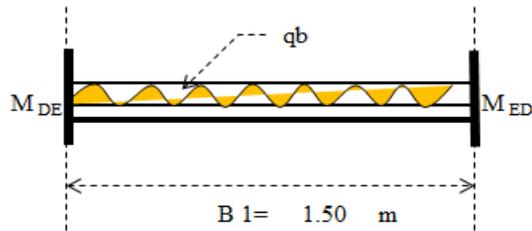
$$M_{AB} = -M_{BA} = -1/12 q_a \cdot L^2 = -1,076 \text{ tm}$$

$$M_{AB} = -1,076 \text{ tm}$$

$$M_{BA} = 1,076 \text{ tm}$$

$$M_{Bc} = -1,076 \text{ tm}$$

$$M_{cB} = 1,076 \text{ tm}$$



$$q_b = 7,573 \text{ ton/m}$$

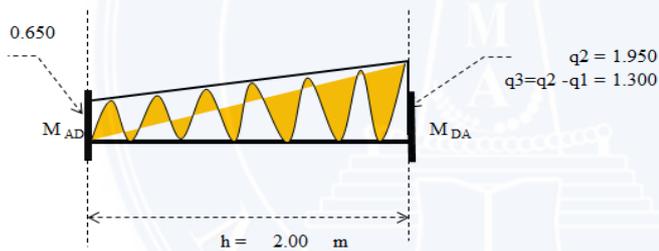
$$M_{DE} = -M_{ED} = 1/12 q_b \cdot L^2 = 1,420 \text{ tm}$$

$$M_{DE} = 1,420 \text{ tm}$$

$$M_{ED} = -1,420 \text{ tm}$$

$$M_{EF} = 1,420 \text{ tm}$$

$$M_{FE} = -1,420 \text{ tm}$$



$$M_{AD} = 1/12 \cdot q_1 \cdot h^2 + (q_2 - q_1) \cdot h^2 / 30 = 0,217 + 0,173 = 0,390 \text{ tm}$$

$$M_{DA} = -(1/12 \cdot q_1 \cdot h^2 + q_1 \cdot h^2 / 20) = -0,217 + -0,260 = -0,477 \text{ tm}$$

$$M_{CF} = -M_{AD} = -0,390 \text{ tm}$$

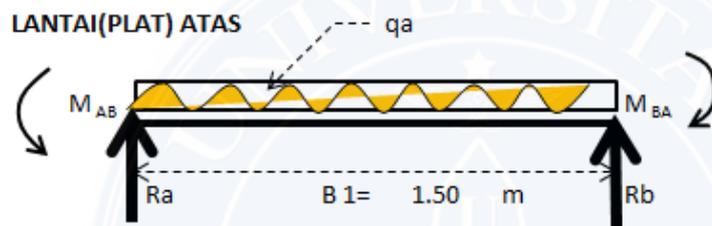
$$M_{FC} = -M_{DA} = 0,477 \text{ tm}$$



Tabel 4.2 Momen Hasil Cross

TITIK A		TITIK B			TITIK C	
M_{AD}	M_{AB}	M_{BA}	M_{BE}	M_{Bc}	M_{cB}	M_{CF}
0,539	-0,539	1,337	-0,008	-1,329	0,582	-0,582

TITIK D		TITIK E			TITIK F	
M_{DA}	M_{DE}	M_{ED}	M_{EB}	M_{EF}	M_{FE}	M_{FC}
-0,754	0,754	-1,754	-0,005	1,758	-0,741	0,741



$$q_a = 5,740 \text{ ton/m}$$

$$\text{Moment Jepit, } M_{AB} = 0,539 \text{ tm}$$

$$M_{BA} = 1,337 \text{ tm}$$

$$R_a \cdot B_1 - M_{AB} + M_{BA} - q_a \cdot B_1 \cdot B_1 / 2 = 0$$

$$R_a = (M_{AB} - M_{BA} + q_a \cdot B_1 \cdot B_1 / 2) / B_1$$

$$R_a = 3,773 \text{ ton}$$

$$R_b \cdot B_1 + M_{AB} - M_{BA} - q_a \cdot B_1 \cdot B_1 / 2 = 0$$

$$R_b = (-M_{AB} + M_{BA} + q_a \cdot B_1 \cdot B_1 / 2) / B_1$$

$$R_b = 4,837 \text{ ton}$$

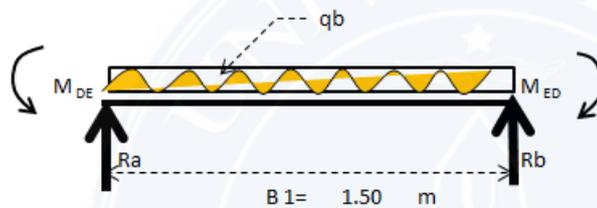
$$\begin{aligned}
 M_x &= R_a \cdot x - M_{AB} - 1/2 q_a \cdot x^2 \\
 &= 3,773 \cdot x - 0,539 - 1/2 \cdot 5,74 \cdot x^2 \\
 &= 3,773 \cdot x - 0,539 - 2,87 \cdot x^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{d_{mx}}{d_x} = 0 ; 3,773 - 5,74 x = 0$$

$$x = 0,65 \text{ m}$$

$$M_{\max} = 0,701 \text{ tm}$$

LANTAI(PLAT) BAWAH



$$q_b = 7,573 \text{ ton/m}$$

$$\text{Moment Jepit } M_{DE} = 0,754 \text{ tm}$$

$$M_{ED} = 1,754 \text{ tm}$$

$$R_a \cdot B1 - M_{DE} + M_{ED} - q_b \cdot B1 \cdot B1/2 = 0$$

$$R_a = (M_{DE} - M_{ED} + q_b \cdot B1^2/2)/B1$$

$$R_a = 5,013 \text{ ton}$$

$$R_b \cdot B1 - M_{ED} + M_{DE} - q_b \cdot B1 \cdot B1/2 = 0$$

$$R_b = (-M_{DE} + M_{ED} + q_b \cdot B1^2/2)/B1$$

$$R_b = 6,346 \text{ ton}$$

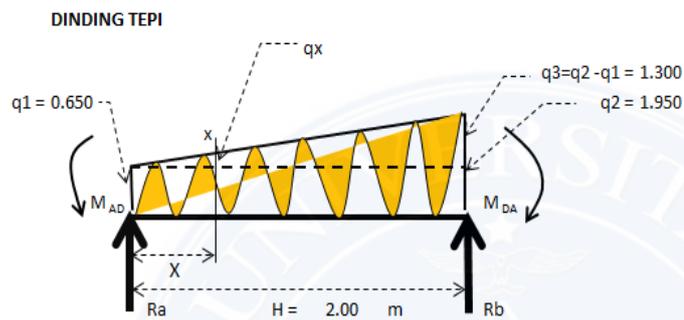
$$\begin{aligned}
 M_x &= R_a \cdot x - M_{DE} - 1/2 q_b \cdot x^2 \\
 &= 5,013 \cdot x - 0,754 - 1/2 \cdot 7,573 \cdot x^2
 \end{aligned}$$

$$= 5,013 \cdot x - 0,754 - 3,787 \cdot x^2$$

$$\frac{d_{mx}}{d_x} = 0 ; 5,013 - 7,573 x = 0$$

$$x = 0,662 \text{ m}$$

$$M_{\max} = 0,905 \text{ tm}$$



$$M_{AD} = 0,539 \text{ tm}$$

$$M_{DA} = 0,754 \text{ tm}$$

$$R_a \cdot h - M_{AD} - q_1 \cdot \frac{h^2}{2} - 0.5 \cdot q_3 \cdot \frac{h^2}{3} + M_{DA} = 0$$

$$R_a \cdot h - M_{AD} + M_{DA} - q_1 \cdot \frac{h^2}{2} - 0.5 \cdot q_3 \cdot \frac{h^2}{3} = 0$$

$$R_a = \frac{(M_{AD} - M_{DA} + q_1 \cdot \frac{h^2}{2} + q_3 \cdot \frac{h^2}{6})}{h}$$

$$R_a = 0,975 \text{ ton}$$

$$R_b = \frac{(-M_{AD} + M_{DA} + q_1 \cdot \frac{h^2}{2} + 2 \cdot q_3 \cdot \frac{h^2}{6})}{h}$$

$$R_b = \frac{(-M_{AD} + M_{DA} + q_1 \cdot \frac{h^2}{2} + q_3 \cdot \frac{h^2}{3})}{h}$$

$$R_b = 1,625 \text{ ton}$$

$$M_x = R_a \cdot X - M_{AD} - \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot X^2 - \frac{1}{6} \cdot q_3 \cdot X^2$$

$$q_3 : q_x = h : X \text{ -----} \rightarrow q_x = q_3 \cdot \frac{X}{h}$$

$$M_x = R_a \cdot x - M_{AD} - \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot x^2 - \frac{1}{6} \cdot q_3 \cdot \frac{x}{h} \cdot x^2$$

$$= 0,975 \cdot x - 0,539 - 0,325 \cdot x^2 - 0,108x^3$$

$$\frac{d_{mx}}{dx} = 0; 0,975 - 0,65x - 0,324x^2 = 0$$

$$X_1 = 1,001 \text{ m}$$

$$X_2 = -3,007 \text{ m}$$

$$M_{max} = 0,004 \text{ tm}$$

4.4 Penulangan Siphon

4.4.1 Plat Atas

Data-data:

$$K = 175$$

$$M_u = M_{BA(-)} = 1,337 \text{ tm}$$

Perhitungan:

$$f'c = K \times 0,083 = 14,53 \text{ Mpa}$$

$$d_s = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{13,37 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 250^2} = 0,267 \text{ Mpa} < K_{max}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times k}{0,85 \times f'c}} \right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,267}{0,85 \times 14,53}} \right) \times 250$$

$$= 5,464 \text{ mm}$$

- Tulangan Pokok

$$A_s = \frac{0,85 \times f'c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 14,53 \times 5,464 \times 1000}{320} = 210,88 \text{ mm}^2$$

$$f'c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s,u} \geq \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{320} \times 1000 \times 250 = 1093,75 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,u} = 1093,75 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan, } s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1093,75} \\ &= 121,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \leq (3 \times h = 3 \times 30 = 90 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 90 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 90}{90} \\ &= 1474,803 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \dots \text{ok} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D13-100

$$n = \frac{1093,75}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} = 8,24 \sim 9 \text{ batang}$$

- Tulangan Bagi

$$A_{s,b} = 20\% A_{s,u} = 20\% \times 1474,803 = 294,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,b} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 30 = 60 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,b} = 294,96 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan, } s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{1093,75} \\ &= 266,273 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \leq (5 \times h = 5 \times 30 = 150 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ &= 523,598 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \dots \text{ok} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10-150

$$n = \frac{294,96}{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2} = 3,75 \sim 4 \text{ batang}$$

Data-data:

$$K = 175$$

$$M_u = M_{\text{lapangan}^{(+)}} = 0,701 \text{ tm}$$

Perhitungan:

$$f'c = K \times 0,083 = 14,53 \text{ Mpa}$$

$$d_s = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{7,01 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 250^2} = 0,14 \text{ Mpa} < K_{\text{max}}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times k}{0,85 \times f'c}} \right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,14}{0,85 \times 14,53}} \right) \times 250$$

$$= 2,85 \text{ mm}$$

- Tulangan Pokok

$$A_s = \frac{0,85 \times f'c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 14,53 \times 2,85 \times 1000}{320} = 109,99 \text{ mm}^2$$

$$f'c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s,u} \geq \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{320} \times 1000 \times 250 = 1093,75 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,u} = 1093,75 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan, } s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1093,75} \\ &= 121,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \leq (3 \times h = 3 \times 30 = 90 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 90 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 90}{90} \\ &= 1474,803 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \dots \text{ok} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D13-100

$$n = \frac{1093,75}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} = 8,24 \sim 9 \text{ batang}$$

- Tulangan Bagi

$$A_{s,b} = 20\% A_{s,u} = 20\% \times 1474,803 = 294,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,b} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 30 = 60 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,b,u} = 294,96 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan, } s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{1093,75} \\ &= 266,273 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \leq (5 \times h = 5 \times 30 = 150 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 150}{150} \\ &= 523,598 \text{ mm}^2 > A_{s,b,u} \dots \text{ok} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10-150

$$n = \frac{294,96}{1/4 \times \pi \times 10^2} = 3,75 \sim 4 \text{ batang}$$

4.4.2 Plat Bawah

Data-data:

$$K = 175$$

$$M_u = M_{ED(-)} = 1,754 \text{ tm}$$

Perhitungan:

$$f'c = K \times 0,083 = 14,53 \text{ Mpa}$$

$$ds = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{17,54 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 250^2} = 0,351 \text{ Mpa} < K_{max}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times k}{0,85 \times f'c}} \right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,351}{0,85 \times 14,53}} \right) \times 250$$
$$= 7,21 \text{ mm}$$

- Tulangan Pokok

$$A_s = \frac{0,85 \times f'c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 14,53 \times 7,21 \times 1000}{320} = 278,272 \text{ mm}^2$$

$$f'c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s,u} \geq \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{320} \times 1000 \times 250 = 1093,75 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,u} = 1093,75 \text{ mm}^2$

$$\text{Jarak tulangan, } s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1093,75}$$

$$= 121,35 \text{ mm}$$

$$s \leq (3 \times h = 3 \times 30 = 90 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 90 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{90}$$

$$= 1474,803 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \dots \text{ok}$$

Dipakai tulangan D13-100

$$n = \frac{1093,75}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} = 8,24 \sim 9 \text{ batang}$$

- Tulangan Bagi

$$A_{s,b} = 20\% A_{s,u} = 20\% \times 1474,803 = 294,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,b} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 30 = 60 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,b,u} = 294,96 \text{ mm}^2$

$$\text{Jarak tulangan, } s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{1093,75}$$

$$= 266,273 \text{ mm}$$

$$s \leq (5 \times h = 5 \times 30 = 150 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150}$$

$$= 523,598 \text{ mm}^2 > A_{s,b,u} \dots \text{ok}$$

Dipakai tulangan D10-150

$$n = \frac{294,96}{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2} = 3,75 \sim 4 \text{ batang}$$

Data-data:

$$K = 175$$

$$M_u = M_{\text{lapangan}(+)} = 0,905 \text{ tm}$$

Perhitungan:

$$f'c = K \times 0,083 = 14,53 \text{ Mpa}$$

$$d_s = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{9,05 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 250^2} = 0,181 \text{ Mpa} < K_{\text{max}}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times k}{0,85 \times f'c}} \right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,181}{0,85 \times 14,53}} \right) \times 250$$

$$= 3,691 \text{ mm}$$

- Tulangan Pokok

$$A_s = \frac{0,85 \times f'c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 14,53 \times 3,691 \times 1000}{320} = 142,455 \text{ mm}^2$$

$$f'c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s,u} \geq \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{320} \times 1000 \times 250 = 1093,75 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,u} = 1093,75 \text{ mm}^2$

$$\text{Jarak tulangan, } s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1093,75}$$
$$= 121,35 \text{ mm}$$

$$s \leq (3 \times h = 3 \times 30 = 90 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 90 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{90}$$

$$= 1474,803 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \dots \text{ ok}$$

Dipakai tulangan D13-100

$$n = \frac{1093,75}{1/4 \times \pi \times 13^2} = 8,24 \sim 9 \text{ batang}$$

- Tulangan Bagi

$$A_{s,b} = 20\% A_{s,u} = 20\% \times 1474,803 = 294,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,b} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 30 = 60 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,b,u} = 294,96 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan, } s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{1093,75} \\ &= 266,273 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \leq (5 \times h = 5 \times 30 = 150 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ &= 523,598 \text{ mm}^2 > A_{s,b,u} \dots \text{ok} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10-150

$$n = \frac{294,96}{1/4 \times \pi \times 10^2} = 3,75 \sim 4 \text{ batang}$$

4.4.3 Dinding Tepi

Data-data:

$$K = 175$$

$$M_u = M_{DA^{(-)}} = 0,754 \text{ tm}$$

Perhitungan:

$$f'c = K \times 0,083 = 14,53 \text{ Mpa}$$

$$ds = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{7,54 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 250^2} = 0,151 \text{ Mpa} < K_{\max}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times k}{0,85 \times f'c}} \right) \times d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,151}{0,85 \times 14,53}} \right) \times 250$$

$$= 3,075 \text{ mm}$$

- Tulangan Pokok

$$A_s = \frac{0,85 \times f'c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 14,53 \times 3,075 \times 1000}{320} = 118,681 \text{ mm}^2$$

$$f'c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s,u} \geq \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{320} \times 1000 \times 250 = 1093,75 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,u} = 1093,75 \text{ mm}^2$

$$\text{Jarak tulangan, } s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1093,75}$$

$$= 121,35 \text{ mm}$$

$$s \leq (3 \times h = 3 \times 30 = 90 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 90 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 1000}{90}$$

$$= 1474,803 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \dots \text{ok}$$

Dipakai tulangan D13-100

$$n = \frac{1093,75}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} = 8,24 \sim 9 \text{ batang}$$

- Tulangan Bagi

$$A_{s,b} = 20\% A_{s,u} = 20\% \times 1474,803 = 294,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,b} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 30 = 60 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang besar, jadi $A_{s,b,u} = 294,96 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan, } s &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{1093,75} \\ &= 266,273 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \leq (5 \times h = 5 \times 30 = 150 \text{ mm})$$

Dipilih yang kecil, jadi dipakai $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ &= 523,598 \text{ mm}^2 > A_{s,b,u} \dots \text{ok} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10-150

$$n = \frac{294,96}{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2} = 3,75 \sim 4 \text{ batang}$$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisa dan perhitungan terhadap data-data yang telah dikumpulkan maka penyusun menyimpulkan:

1. Dari hasil perhitungan dimensi bangunan siphon dengan debit 6,258 m³/dt, diperoleh dimensi bangunan siphon dimana lebar (B)= 1,2 m dan tinggi muka air bangunan siphon = 1,7 m.
2. Berdasarkan hasil perhitungan kehilangan tinggi energi, menunjukkan bahwa efektifitas sistem drainase saluran pembawa air berkurang karena terjadi pengurangan tinggi tekanan air sebesar 0,124 m. Ini dikarenakan adanya peralihan bentuk saluran dan saringan. Total kehilangan tinggi energi harus $\pm 10\%$ lebih kecil dari perbedaan tinggi muka air, ini menunjukkan bahwa siphon masih dapat diterima dalam membawa air.
3. Berdasarkan hasil perhitungan tulangan, maka tulangan yang digunakan pada bangunan siphon diperoleh menggunakan D13-100 untuk tulangan pokok dan D10-150 untuk tulangan bagi.

5.2 Saran

1. Dalam menghitung perencanaan bangunan siphon diperlukan data yang akurat pada perbedaan elevasi setiap bagian siphon.
2. Diperlukan penelitian terhadap jenis tanah penutup di atas siphon.



DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. (2010). *Balok dan Plat Beton Bertulang*. Surakarta: Graha Ilmu
- Direktorat Jenderal Pengairan. (1986). Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-01, Bandung: CV. Galang Persada
- Direktorat Jenderal Pengairan. (1986). Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-04, Bandung: CV. Galang Persada
- Direktorat Jenderal Pengairan. (1986). Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi KP-03, Bandung: CV. Galang Persada
- Mawardi, Eman, Prof. (2007). *Desain Hidraulik Bangunan Irigasi*. Bandung: Alfabeta Bandung
- LIM, Y.C. And D.S.KIM. (1981). *Hydraulic Design Practice Of Canal Structure*. Korea: Sisa Munwha Printing Co
- Peraturan Pemerintah, No. 20. 2006. Tentang Irigasi
- Ridwan, Ichwan. 2005. Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka dan Penyelesaian Soal-soal. Jurnal e-Repository USU (online), diakses 1 Mei 2017
- Syahbana, Arifan. 2014. Rekayasa Hidrolika Kestabilan Lereng Dengan Sistem Siphon. Jurnal e-ISSN2354-6638 (online), diakses 2 Maret 2017

FOTO DOKUMENTASI



Gambar: Penggalian dan Penyiapan Lahan Bangunan Siphon



Gambar: Penggalian dan Penyiapan Lahan Bangunan Siphon



Gambar: Pemasangan Tulangan Plat Atas Siphon



Gambar: Pengecoran Plat Atas Siphon



Gambar: Pengecoran Plat Atas Siphon Menggunakan Pipa Bantuan



Gambar: Pemasangan Adukan Beton Dengan Vibrator



Gambar: Pintu Masuk (*inlet*) Siphon



Gambar: Tampak Samping Pintu Masuk Siphon



Gambar: Pintu Keluar Siphon



Gambar: Lubang Pintu Keluar Siphon