

LAPORAN PENELITIAN INTERNAL

**KAJIAN SISTEM POLDER SEBAGAI UPAYA
PENANGGULANGAN BANJIR PERKOTAAN**



Disusun oleh:
Robby Yussac Tallar

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN PENELITIAN INTERNAL YANG BERJUDUL:

KAJIAN SISTEM POLDER SEBAGAI UPAYA PENANGGULANGAN BANJIR PERKOTAAN

Ini disusun sebagai bentuk pertanggungjawaban penelitian internal dan salahsatu syarat untuk memproses jenjang akademik.

Menyetujui,
Bandung, 1 Juni 2023



Robby Yussac Tallar
Penyusun

Mengetahui,
Bandung, 9 Juni 2023



Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T., M.T.
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Kristen Maranatha

DAFTAR ISI

Pendahuluan

Pengertian Sistem Polder

Jaringan Saluran Drainase

Analisis Backwater untuk Menentukan Panjang Tanggul Banjir

Pasang Surut Air Laut

Daftar Pustaka

Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang pesat berkorelasi dengan peningkatan kebutuhan akan pembangunan tempat tinggal dan tempat usaha yang pesat pula. Pembangunan yang tak terencana dengan baik dapat menyebabkan meningkatnya wilayah kedap air (*impervious area*) tanpa mengindahkan akibat dari banyaknya air larian yang dapat mengakibatkan banjir sebagai akibat dari perubahan tata guna lahan yang berada pada wilayah resapan air. Aktivitas perubahan tata guna lahan dan/atau pembuatan bangunan tempat tinggal maupun komersil yang dilaksanakan di daerah hulu dapat memberikan dampak di daerah hilir dalam bentuk perubahan fluktuasi debit air dan transportasi sedimen serta material terlarut lainnya atau *non-point source pollution*.

Perkotaan di Indonesia dengan perkembangan pesat umumnya berada di daerah pantai seperti Jakarta, Semarang, dan Surabaya. Permasalahan terkait keairan yang dialami kota-kota tersebut berakibat pada banjir yang bersumber dari air limpasan dari daerah hulu dan kenaikan air laut ke daratan atau banjir rob. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (2007) mengungkapkan masalah-masalah umum yang berkaitan dengan pertumbuhan pesat kota-kota pantai di Indonesia yaitu:

1. Jumlah penduduk dan tingkat ekonomi yang bertumbuh secara pesat mendorong eksploitasi air tanah secara berlebihan. Hal ini menjadi satu dari sebab menurunnya muka tanah (*land subsidence*) dan masuknya air laut ke daratan (banjir rob) karena kenaikan muka air laut rata-rata sebagai dampak pemanasan global.
2. Perencanaan tata ruang yang tidak sejalan dengan aktivitas pembangunan sehingga tidak ada keterpaduan. Dalam hal ini pemerintah tidak memiliki kemampuan dan kecepatan untuk menyeimbangkan pembangunan prasarana-prasarana wilayah sesuai rencana tata ruang yang telah disusun yang sejalan dengan kebutuhan maupun tuntutan masyarakat dan swasta untuk pengembangan wilayah tersebut.
3. Adanya proses reklamasi maupun pembangunan hunian oleh masyarakat pada wilayah rawa dengan topografi yang landai yang disebabkan oleh proses sedimentasi yang terjadi. Aktivitas masyarakat tersebut dijalankan secara terencana maupun tidak direncanakan dengan baik.
4. Tata kelola air pada suatu wilayah yang tidak terlaksana dengan baik karena dilanggarnya tata ruang menimbulkan kondisi banjir saat hujan dan kesulitan air bersih hingga kekeringan saat kemarau. Permasalahan keairan tersebut menjadi semakin parah karena pengelolaan limbah domestik maupun industri yang tidak memadai, rendahnya partisipasi dan kesadaran masyarakat terhadap kualitas lingkungan dengan membuang sampah pada saluran drainase dan badan air sehingga kualitas air menurun dan sedimentasi terjadi di sungai. Meskipun gangguan sistem drainase makro

yang ditimbulkan akibat ketidakpedulian masyarakat sehingga kapasitas alur untuk mengalirkan air limpasan berkurang drastis.

Banjir rob dapat terjadi ketika muka air laut naik sehingga memiliki tinggi yang melampaui muka daratan di kawasan pesisir. Hal ini akan menyebabkan air laut masuk dan menggenangi daratan di pesisir, dan masuknya air laut terjadi secara langsung ataupun melalui alur sungai. Tetapi terjadinya rob menjadi lebih parah di kawasan pesisir karena adanya penurunan tanah pada wilayah tersebut. Sebagai contoh adalah Kota Semarang yang merupakan salah satu kota pantai di Indonesia. Secara alami, karakteristik fisik dan topografi Kota Semarang membuat pencegahan banjir dan rob menjadi cukup sulit. Kota Semarang terbagi menjadi kota atas (daerah Selatan) dengan kontur berbukit-bukit dan kota bawah (daerah Utara) dengan kontur landai cenderung datar sehingga menimbulkan kerawanan banjir dan genangan yang disebabkan banjir rob.

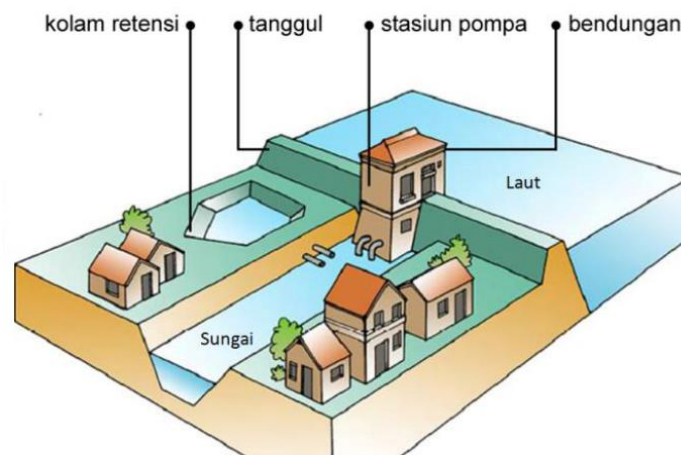
Topografi Kota Semarang bagian selatan adalah daerah pegunungan yang memiliki perubahan kemiringan dataran cukup drastis. Kota Semarang bagian selatan secara alami merupakan kawasan resapan air tetapi telah mengalami perubahan tata guna lahan dengan tinggi hujan rata-rata 3.758 mm/tahun. Kota Semarang bagian utara secara alami merupakan kawasan pantai utara dengan topografi daerahnya datar dengan tinggi hujan rata-rata 2.835 mm/tahun. Daerah bagian utara merupakan daerah yang rawan terkena banjir dan rob karena topografinya yang datar dengan elevasi sangat rendah. Didorong oleh adanya *land subsidence*, maka sebagian dataran di bagian utara elevasinya menjadi lebih rendah dari muka air laut sedangkan tinggi muka air (TMA) laut pasang cenderung naik karena dampak *global warming* (Kodoatie, 2008). Banjir yang terjadi pada Kota Semarang bagian utara menjadi semakin parah akibat limpasan air yang merupakan kombinasi banjir kiriman dan rob, maupun sistem tata air perkotaan yang sudah tidak mampu mengendalikan banjir karena tidak dirancang dalam mengantisipasi perkembangan tata ruang yang terjadi.

Pengertian Sistem Polder

Sistem polder dapat diterapkan untuk penanggulangan banjir perkotaan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (2002) menyatakan mengenai kesesuaian sistem polder dalam pengendalian banjir perkotaan dan banjir rob. Sistem polder merupakan wilayah bertopografi rendah yang dibentuk dengan proses reklamasi dan diisolasi menggunakan tanggul agar terhindar dari masuknya air limpasan dari badan air maupun air pasang dari laut. *Runoff* air dalam polder dikendalikan oleh pompa agar air permukaan tidak mendapatkan pengaruh dari wilayah sekitar polder (*International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), 1996* dalam Pusat Litbang SDA,

2006). Sistem polder merupakan satu sistem dalam pengendalian tinggi muka air di suatu dataran menggunakan pemisahan regime hidrologinya dari wilayah di sekitarnya agar muka air pada daerah tersebut dapat diatur” (Segeren, 1983, dalam Schult, 2010).

Struktur Utama Sistem Polder



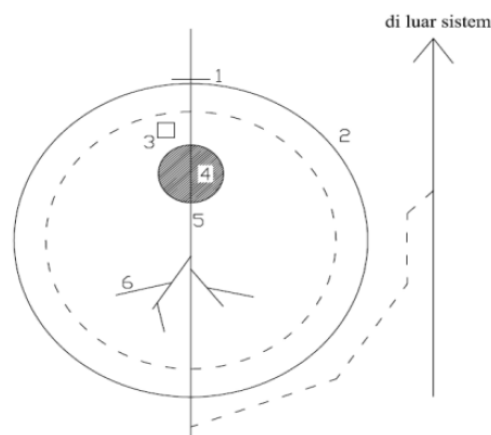
Gambar 1 Sistem Polder (sumber: Budinetto, H. S, dkk. 2012)

Sistem polder adalah suatu subsistem tata kelola air yang dapat menerapkan konsep-konsep untuk diterapkannya tanggung jawab dan koordinasi sesuai kerangka *good governance* (Rosdianti, 2009). Sebagai contoh pemerintah dapat mengorganisasi masyarakat untuk dapat dilibatkan secara aktif hingga menjadi mandiri dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem polder sehingga banjir yang terjadi pada wilayah tempat tinggalnya dapat dikendalikan. Pengembangan, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem polder terdiri dari beberapa faktor penting yaitu organisasi yang mengelola sistem polder; pengelolaan sistem yang berdasarkan partisipasi masyarakat secara aktif dan mandiri; dan perancangan, pengoperasian, dan pemeliharaan infrastruktur sistem polder yang dapat dilaksanakan oleh masyarakat. Sedangkan pemerintah memiliki tanggung jawab untuk mengintegrasikan pembuatan, pengoperasian dan pemeliharaan sistem-sistem pengendalian banjir sekaligus melakukan konservasi DAS.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (2002) menyatakan mengenai penelitian terhadap kapasitas saluran drainase dalam mengalirkan air buangan untuk wilayah yang rendah dengan topografi cenderung landai. Untuk wilayah-wilayah tersebut, saluran drainase eksisting relatif sulit difungsikan dalam pengaliran limpasan air permukaan sehingga diperlukan pemompaan. Namun, kondisi di lapangan ditemui bahwa saluran drainase maupun sistem perpompaan tidak dapat mengakomodasi pertumbuhan kota yang pesat. Kondisi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

- 1) pengalihfungsian saluran irigasi menjadi saluran drainase yang menyebabkan terbaliknya arah aliran air maupun saling bertolak belakangnya dimensi saluran hulu ke hilir yang diakibatkan oleh fungsi saluran yang masih seperti sebelumnya.
- 2) keluaran (*outlet*) sistem drainase yang tidak beroperasi dengan baik menyebabkan air dalam saluran berputar dan tidak langsung dikeluarkan. Konflik yang terjadi antar masyarakat dapat disebabkan oleh perputaran aliran air yang timbul karena adanya proses buka tutup pintu air.
- 3) saluran drainase dan sistem perpompaan untuk sementara dapat menyelesaikan permasalahan banjir, tetapi hanya terbatas untuk wilayah relatif kecil dan tidak menyeluruh.
- 4) tidak meratanya *land subsidence* yang terjadi sehingga memperparah kondisi.

Penelitian dan studi yang dilakukan oleh *Jakarta Coastal Defence Strategy* (JCDS) (2011) dan Kodoatie (2008) menyatakan mengenai beberapa faktor yang menyebabkan adanya *land subsidence* yaitu air tanah yang diambil secara berlebihan, beban bangunan yang menimbulkan konsolidasi tanah, konsolidasi alami lapisan tanah, dan gaya-gaya tektonik bumi. Tiga faktor yang disebutkan pertama dalam kontribusinya yang sangat besar untuk terjadinya *land subsidence*, yang utama adalah pengambilan air tanah berlebihan. *Land subsidence* menimbulkan perubahan fungsi maupun kerusakan struktur bangunan yang menyebabkan terbaliknya arah aliran air sehingga berpengaruh terhadap sistem drainase; dan berubahnya atau adanya penurunan elevasi bangunan pengendali banjir (tanggul, pintu air, dan pompa air) sehingga meningkatkan terjadinya banjir dan rob.



Gambar 2 Komponen Sistem Polder (sumber: Al Falah, 2008 dalam Suripin)

Komponen-komponen pada sistem polder yaitu:

- a. Tanggul keliling dan/atau pertahanan laut (*sea defense*) yang merupakan konstruksi isolasi pada sistem polder.
- b. Sistem drainase (*field drainage system*) berupa jaringan saluran drainase.

- c. Sistem pembawa (*conveyor system*) berupa saluran kolektor.
- d. Kolam penampung (retensi) dan stasiun pompa (*outfall system*).
- e. Pintu air.
- f. Badan air penerima (*recipient waters*).

Terdapat tiga tujuan utama dalam perancangan dan penerapan sistem polder yang semakin diakui menjadi jalan keluar dalam menanggulangi bencana banjir yang terjadi di wilayah dengan topografi landai yaitu (Sawarendro, 2010):

1. agar daerah dengan topografi rendah yang memiliki kerawanan banjir maupun genangan dapat menjadi daerah dengan banjir yang terkontrol sehingga menimbulkan keeluasaan penggunaan lahan oleh pihak-pihak terkait yang sesuai peruntukannya;
2. dapat diterapkannya prinsip keberlanjutan (*sustainability*) dalam sistem tata kelola air yang melibatkan peran serta maupun partisipasi masyarakat yang lebih besar; dan
3. mewujudkan kondisi lingkungan lebih baik khususnya dalam peningkatan kualitas air.

5.2 Komponen-Komponen Sistem Polder

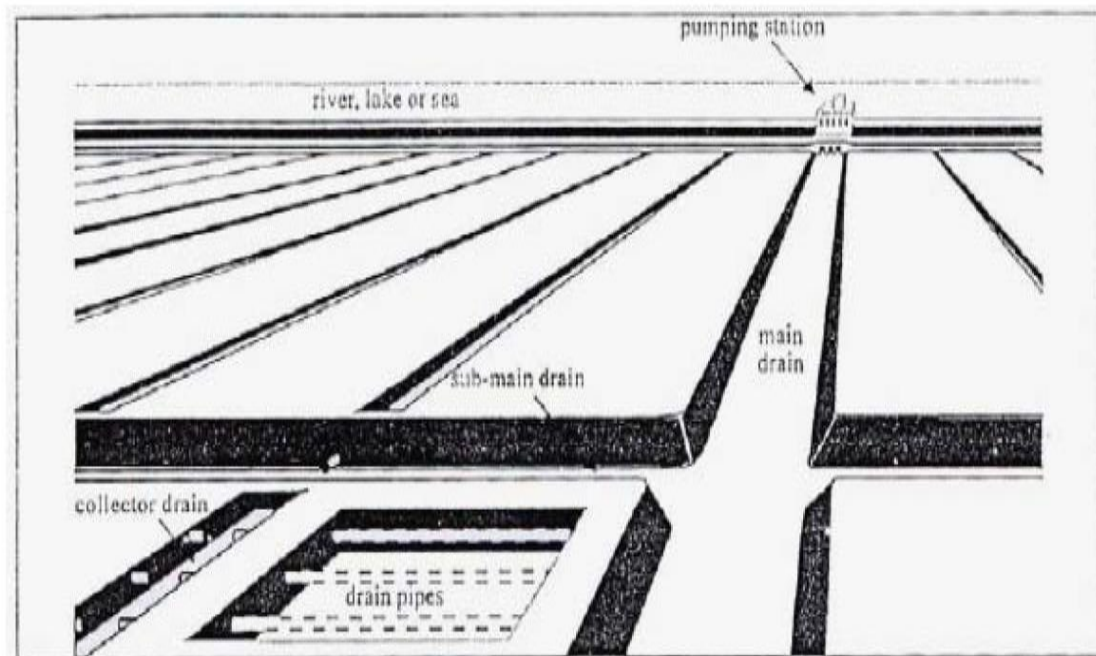
Komponen-komponen sistem polder yang ada harus dirancang secara integral agar semua komponen dapat memiliki kinerja yang optimal.

Jaringan Saluran Drainase

Saluran drainase dapat dibagi menjadi beberapa tipe yang didasarkan pada fungsinya yaitu saluran pemotong, saluran pengumpul, dan saluran pembawa.

- Saluran pemotong (*interceptor*) merupakan saluran untuk mencegah adanya pembebanan aliran dari satu daerah ke daerah lain yang letaknya di bagian bawah. Saluran jenis ini umumnya dibuat dan terletak pada daerah yang terletak relatif sejajar dengan kontur lahan.
- Saluran pengumpul (*collector*) merupakan saluran untuk mengumpulkan debit dari saluran drainase yang lebih kecil untuk kemudian dialirkan ke saluran pembawa. Saluran pembawa terletak pada bagian lembah terendah suatu daerah dan secara efektif dapat berperan sebagai saluran pengumpul dari anak cabang-anak cabang saluran pada daerah tersebut.
- Saluran pembawa (*conveyor*) merupakan saluran untuk membawa air limpasan dari suatu daerah menuju badan air penerima dengan tidak menimbulkan dampak negatif pada daerah yang dilalui. Contohnya yaitu banjir kanal atau sudetan atau saluran *by pass* yang memiliki fungsi khusus untuk mengalirkan air secara cepat menuju badan air penerima.

Agar saluran drainase dapat berfungsi dengan baik, maka keberadaan bangunan-bangunan pelengkap yang diletakkan pada tempat-tempat tertentu umumnya diperlukan. Bangunan-bangunan pelengkap tersebut adalah bangunan silang (gorong-gorong atau siphon), bangunan pintu air (pintu geser atau pintu otomatis), bangunan peresap (sumur resapan atau kolam retensi). Kebutuhan akan bangunan pelengkap dapat dipengaruhi oleh fungsi saluran, kelengkapan kondisi jaringan drainase, dan kondisi lingkungan. Berikut ini adalah skema jaringan drainase dalam sistem polder



Gambar 3 Skema Jaringan Drainase pada Sistem Polder (sumber: Wahyudi, S. I & Adi, H. P, 2016)

Dimensi saluran direncanakan dengan mendasarkan pada kemampuan saluran untuk menampung debit yang akan mengalir. Dimensi saluran yang sesuai didapatkan dengan iterasi dan membandingkan kecepatan aliran atau debit yang mengalir menggunakan persamaan

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times F$$

$$Q = 0,00278 \times \Sigma C \times I \times A$$

Q = debit banjir rencana (m³/detik)

n = koefisien kekasaran Manning

R = radius hidrolis (m)

S = kemiringan dasar saluran

F = luas tampang basah (m²)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan yang terjadi (mm/jam)

A = luas daerah tangkapan

Pompa

Untuk sistem drainase yang terletak pada suatu wilayah yang berupa dataran rendah dengan topografi maupun kontur tanah datar sehingga saluran drainase yang ada tidak dapat menggunakan gaya gravitasi untuk mengalirkan air, maka pompa dapat digunakan. Pompa dapat membantu dalam pengeluaran air yang terkumpul dari kolam penampung banjir ataupun langsung dari saluran drainase akibat tinggi muka air di muaranya melebihi tinggi muka air di saluran drainase karena adanya pasang surut laut maupun banjir.

Prinsip dasar pompa bekerja yaitu air yang terkumpul dihisap dengan sumber tenaga berupa listrik atau diesel/solar. Kelebihan air kemudian dialirkan langsung menuju laut atau sungai/banjir kanal dengan bagian hilirnya bermuara di laut. Jumlah dan kapasitas pompa yang terdapat pada stasiun pompa harus sesuai dengan volume air yang harus dikeluarkan. Pompa dengan tenaga listrik dikenal sebagai pompa jenis sentrifugal dan pompa dengan tenaga diesel berbahan bakar solar dikenal dengan pompa *submersible*.

Perencanaan pompa harus berdasarkan pada tinggi tekan pompa dan pengaruh kehilangan tenaga yang dapat mempengaruhi kebutuhan daya pompa menggunakan persamaan

$$D = \left(\frac{H_m \times \gamma \times Q}{\eta} \right)$$

η = efisiensi total

Q = debit (m³/det)

H_m = tinggi efektif (m)

D = tenaga yang diperlukan pompa (hp)

Untuk menghitung/analisa debit aliran yang akan dipompa maupun besaran debit pompa maka diperlukan tata cara desain standar agar desain hidrograf banjir untuk pompa drainase dari sistem drainase utama didapatkan. Bagian dari sistem perpompaan yang perlu diperhatikan selain rancangan debit puncak adalah volume limpasan dan bentuk hidrograf untuk durasi hujan. Dalam penentuan kapasitas air yang akan dipompa persatuan waktu serta daya pompa yang dibutuhkan dihitung menggunakan persamaan

$$Q_p = \frac{Q}{(24 \cdot 3600 \cdot D)}$$

$$\text{BHP} = \frac{Q_p \gamma H}{\eta}$$

Q_p = kapasitas pompa drainase (m³/detik)

Q = debit aliran (m³/detik)

D = lama genangan yang diperbolehkan (hari)

BHP = daya pompa (kgf m/detik)

H = tinggi tekanan efektif (m)

η = efisiensi pompa

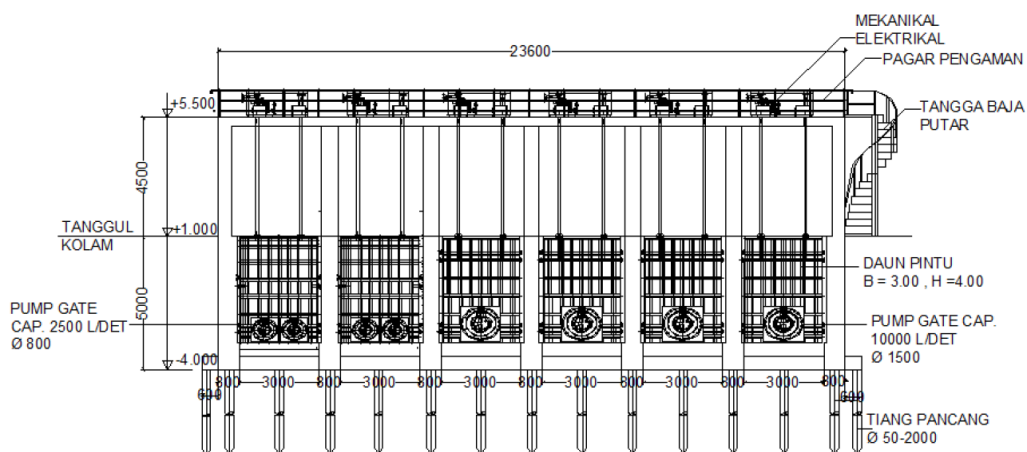
γ = berat jenis zat cair (kgf/ m³)

Jumlah pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan debit air ditentukan berdasarkan daya pompa yang dihitung dengan persamaan-persamaan di atas.

Gate Pump

Gate pump adalah suatu sistem yang terdiri dari pintu air dengan pompa atau pompa terintegrasi dengan pintu air. Pompa *submersible* dipasang pada pintu air sehingga fungsi pintu air dapat dikombinasikan dengan fungsi stasiun pompa. Beberapa keuntungan dari sistem *gate pump* yaitu:

- Kebutuhan lahan yang lebih kecil karena tidak perlu adanya rumah pompa.
- Pengoperasian yang lebih sederhana karena pompa terintegrasi dengan pintu air.
- Biaya perawatan lebih murah karena instalasi lebih sederhana.



Gambar.4 Contoh Rencana Gate Pump dengan Sliding Gate (sumber: Suripin, dkk. 2017)

Kolam Tampung

Kolam retensi dirancang untuk ditempatkan pada lokasi yang telah ditentukan dan juga untuk memiliki bentuk sekaligus kapasitas yang sesuai menggunakan bahan material yang kaku untuk lapisannya (beton). Air yang masuk pada kolam retensi melalui *inlet* harus dapat ditampung sesuai dengan kapasitas yang telah direncanakan sehingga debit banjir puncak yang terjadi saat *overflow* dapat dikurangi. Kolam retensi memiliki fungsi untuk menurunkan debit banjir karena terjadi penambahan waktu konsentrasi untuk air mengalir di permukaan. Perhitungan kapasitas kolam retensi untuk tampungan volume air saat debit banjir puncak menggunakan persamaan:

$$V = \int_0^t (Q_{in} - Q_{out}) dt$$

V = volume kolam

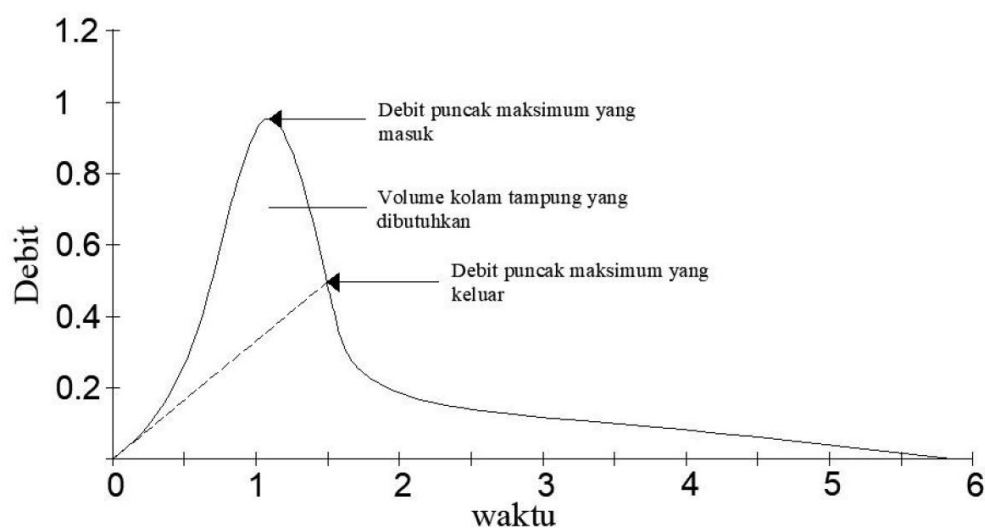
t = waktu saat awal air masuk ke dalam inlet

t₀ = waktu air keluar dari outflow

Q_{in} = debit air masuk

Q_{out} = debit air keluar

Perancangan kolam tampungan ada hubungannya dengan pompa yang digunakan dalam sistem polder. Semakin besar volume tampungan air yang ada maka semakin kecil kapasitas pompa yang dibutuhkan begitu juga sebaliknya. Volume tampungan kolam mendapatkan pengaruh dari aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) seperti ditunjukkan dalam grafik hubungan pengaruh debit dengan waktu.



Gambar 5 Grafik Hubungan Debit Masuk (Inflow) dan Debit Keluar (Outflow) dengan Volume Tampungan Kolam (sumber: MF Abdullah. 2018)

Hubungan keseimbangan antara aliran masuk/*inflow* (hidrograf banjir), kapasitas pompa, aliran keluar/*outflow*, dan kapasitas tampungan kolam menggunakan persamaan kontinuitas berikut.

$$Q_i - Q_o = \frac{dV}{dt}$$

Q_i = laju aliran masuk ($m^3/detik$)

Q_o = laju aliran keluar atau kapasitas pompa ($m^3/detik$)

V = volume tampungan (m^3)

t = waktu (detik)

Volume tampungan polder dihitung berdasarkan debit *inflow* dan debit *outflow* menggunakan interval waktu kejadian banjir saat kejadian. Persamaan penelusuran banjir yang juga dapat digunakan untuk menghitung keseimbangan *inflow* (hidrograf banjir), kapasitas pompa, *outflow*, dan kapasitas tampungan kolam yaitu (Kamiana, 2011):

$$S = \left[\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \right] \times \Delta t + \left[\frac{O_j + O_{j+1}}{2} \right] \times \Delta t$$

S = volume tampungan (m^3)

I_j = inflow pada langkah penelusuran ke- j (m^3/det)

I_{j+1} = inflow pada langkah penelusuran ke- $j+1$ (m^3/det)

O_j = outflow pada langkah penelusuran ke- j (m^3/det)

O_{j+1} = outflow pada langkah penelusuran ke- $j+1$ (m^3/det)

Δt = selang waktu (det)

Saat besaran volume tampungan kolam diperoleh kemudian dimensi kolam polder yang direncanakan dapat ditentukan. Persamaan untuk penentuan volume tampungan kolam yaitu:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_1 - S_2}{\Delta t}$$

I_1, I_2 = aliran masuk pada waktu ke-1 dan ke-2

O_1, O_2 = aliran keluar pada waktu ke-1 dan ke-2

S_1, S_2 = tampungan pada waktu ke-1 dan ke-2

Δt = interval waktu

Aliran Masuk (*Inflow*)

Untuk perencanaan drainase menggunakan sistem pompa maka data yang diperlukan adalah debit puncak banjir dan juga hidrograf banjir. Hidrograf banjir yang terukur hanya ada untuk sungai-sungai besar, sedangkan untuk saluran drainase perkotaan menggunakan perkiraan karena data debit puncak dan hidrograf umumnya belum ada (Suripin, 2003).

Aliran Keluar (*Outflow*)

Penentuan debit aliran keluar (*outflow*) menggunakan metode penelusuran aliran. Penelusuran aliran merupakan proses dalam penentuan waktu dan debit aliran atau hidrograf aliran pada suatu titik aliran menggunakan hidrograf yang telah diketahui. Untuk aliran yang berasal dari banjir maka perhitungan itu disebut sebagai penelusuran banjir (Triatmojo, 2008). Salah satu metode penelusuran aliran yaitu penelusuran hidrologis menggunakan model linier reservoir (penelusuran waduk) untuk menentukan jumlah debit *outflow* menggunakan persamaan

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_1 - S_2}{\Delta t}$$

Dalam penelusuran air di kolam tampungan, S adalah fungsi aliran keluar. Untuk waktu ke-1 dan ke-2 maka persamaan di atas menjadi

$$S_1 = K - O_1$$

$$S_2 = K - O_2$$

O_1, O_2 = aliran keluar pada waktu ke-1 dan ke-2

S_1, S_2 = tampungan pada waktu ke-1 dan ke-2

K = koefisien tampungan

Kedua persamaan di atas diintegrasikan ke persamaan sebelumnya sehingga mendapatkan persamaan untuk penelusuran kolam:

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

$C_0, C_1,$ dan C_2 merupakan konstanta berupa:

$$C_0 = \frac{\Delta t / K}{2 + \left(\frac{\Delta t}{K}\right)}$$

$$C_0 = C_1$$

$$C_2 = \frac{2 - \Delta t / K}{2 + \left(\frac{\Delta t}{K}\right)}$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

Tinggi Jagaan (F)

Agar air tidak meluap dari kolam tampungan yang direncanakan, maka antisipasinya dapat dilakukan dengan membangun tanggul beserta tinggi jagaan. Tinggi jagaan minimal untuk kolam dengan pasangan yang direncanakan menggunakan tinggi 0,50 meter. Untuk saluran tanpa pasangan dengan debit tinggi jagaan terdapat pada Tabel.1 berikut.

Tabel 1 Tinggi Jagaan

Debit (m ³ /det)	Tanggul (F) m	Pasangan (F1) m
< 0,5	0,40	0,2
0,5 – 1,5	0,50	0,2
1,5 – 5,0	0,60	0,25
5,0 – 10,0	0,75	0,30
10,0 – 15,0	0,85	0,40
> 15,0	1,00	0,50

Tanggul

Tanggul merupakan bangunan yang dibuat agar mengelilingi badan air atau wilayah tertentu yang memiliki elevasi lebih tinggi dibandingkan elevasi di sekitar wilayah tersebut. Tanggul bertujuan untuk membatasi suatu wilayah dari limpasan air yang berasal dari luar. Perencanaan tanggul, untuk kolam tampungan maupun tanggul jalan, harus mengutamakan kestabilannya dengan menggunakan metode Fellinius dalam perhitungannya. Hasil perhitungan yang harus dicapai adalah angka keamanan (FK) > 1. Berikut ini adalah jenis-jenis tanggul yaitu tanggul alamiah, tanggul timbunan, tanggul beton, dan tanggul infrastruktur.

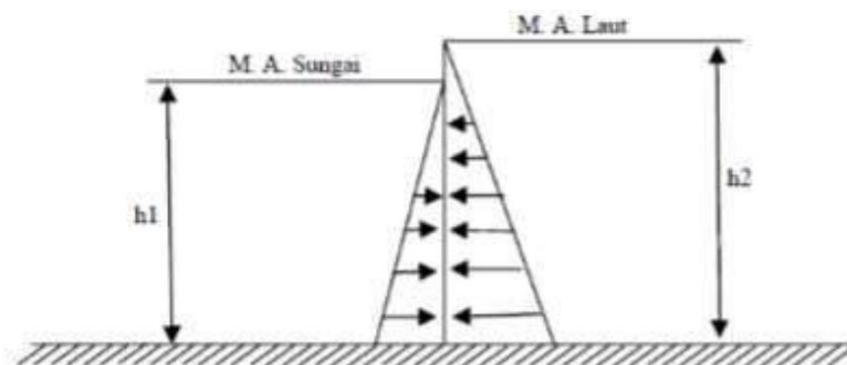
Tanggul alamiah terbentuk secara alami dari timbunan tanah dengan contohnya adalah bantaran sungai di pinggir sungai yang terbentuk secara memanjang. Tanggul timbunan dibuat dengan menimbun tanah atau material lainnya di sepanjang pinggir wilayah dengan contohnya adalah tanggul dengan menimbun bebatuan di sepanjang pinggir laut. Tanggul beton dibuat dari campuran perkerasan beton sehingga berstruktur kokoh dan kuat dengan contohnya adalah tanggul bendungan dan dinding penahan tanah (DPT). Tanggul infrastruktur adalah struktur kuat yang dirancang dan dibangun untuk waktu yang lama dan dilakukan perbaikan dan pemeliharaan terus menerus untuk difungsikan sebagai sebuah tanggul dengan contohnya adalah jalan raya.

Analisis Backwater untuk Menentukan Panjang Tanggul Banjir

Aliran balik (*backwater*) adalah keadaan sungai yang berubah terjadi di hulu bendungan karena terjadi pembendungan air menggunakan bangunan pelimpah atau kondisi naiknya muka air di hulu bendung kemudian merambat ke udik/hulu sungai. Besaran panjang efek *backwater* ini adalah panjang tanggul banjir yang harus diperhitungkan. Untuk tiap pertemuan saluran; saluran kecil dengan saluran yang lebih besar, saluran pembuang primer dengan badan air penerima (sungai, laut, danau), saat terjadi pasang air laut; maka aliran balik / *backwater* selalu terjadi karena elevasi muka air di pintu air lebih tinggi dari elevasi muka air di saluran/sungai yang bermuara di pintu air tersebut. Saluran drainase diharapkan untuk tetap berfungsi dan mengalirkan air dengan baik sesuai dengan perencanaan sehingga pengaruh *backwater* harus diperhitungkan dan digunakan menjadi dasar penentuan bangunan–bangunan pelengkap yaitu tanggul.

- ***Backwater yang Terjadi Karena Pasang Surut***

Backwater dapat terjadi karena pengaruh pasang surut di muara sungai saat permukaan air laut melebihi permukaan air sungai dan alirannya membalik dari laut masuk melalui sungai. Hal ini dapat menimbulkan banjir karena meluapnya sungai dengan air yang seharusnya mengalir menuju laut.



Gambar 6 Kondisi Aliran Jika Terjadi Backwater (sumber: MF Abdullah. 2018)

- **Perhitungan Elevasi**

Menentukan Elevasi Muka Air Saluran

Untuk perhitungan elevasi, hal yang penting adalah elevasi muka air di semua titik pertemuan saluran harus sama, maka perhitungan elevasi dimulai dari saluran terbawah sampai saluran teratas. Untuk menentukan elevasi muka air saluran, maka elevasi permukaan tanah di hilir saluran primer sudah dihitung terlebih dulu.

Elevasi muka air di hilir saluran primer menggunakan persamaan:

$$\text{Elevasi muka air hilir} = \text{Elevasi dasar hilir} + H_{\text{air}}$$

Elevasi muka air di hulu saluran primer menggunakan persamaan:

$$\text{Elevasi muka air hulu} = \text{Elevasi muka air hilir} + (i \times L)$$

s = kemiringan saluran

L = panjang saluran

Menentukan Elevasi Dasar Saluran

Elevasi dasar saluran di hilir menggunakan persamaan:

$$\text{Elevasi dasar hilir} = \text{Elevasi muka tanah didekat danau} - H_{U-ditch}$$

$$\text{Elevasi dasar hilir} = \text{Elevasi air hilir} - H_{air}$$

Elevasi dasar saluran di hulu menggunakan persamaan:

$$\text{Elevasi dasar hulu} = \text{Elevasi air hilir} + (i \times L) - H_{Air\ Hulu}$$

Menentukan Elevasi Muka Tanah

Penentuan elevasi muka tanah dilakukan dengan cara elevasi dasar saluran dijumlahkan dengan $H_{U-Ditch}$. Tinggi jagaan disesuaikan dengan ukuran U-Ditch yang digunakan, semakin besar debit yang dialirkan maka semakin besar tinggi jagaan yang ada.

Elevasi muka tanah di hilir menggunakan persamaan:

$$\text{Elevasi muka tanah hilir} = \text{Elevasi dasar hilir} + H_{U-Ditch}$$

Elevasi muka tanah di hulu menggunakan persamaan:

$$\text{Elevasi muka tanah hulu} = \text{Elevasi dasar hulu} + H_{U-Ditch}$$

Analisis backwater Karena Pasang Surut

Dalam perancangan efek *backwater* ada 2 metode yang digunakan, yaitu:

1. Metode Pendekatan

Dalam menentukan panjang penggenangan karena air banjir dengan cara pendekatan menggunakan persamaan:

Untuk $\frac{h}{a} \geq 1$ maka digunakan persamaan

$$L = \frac{2h}{I}$$

Untuk $\frac{h}{a} < 1$ maka digunakan persamaan

$$L = \frac{a+z}{I}$$

$$z = h \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2$$

L = panjang pengaruh pembendungan (m)

h = tinggi muka air banjir di hulu bendung (m)

I = kemiringan dasar sungai

a = tinggi air banjir sebelum ada bendung (m)

z = kedalaman air pada jarak x meter dari bendung (m)

2. Metode Grafis

Dalam menentukan panjang penggenangan karena air banjir dengan cara grafis menggunakan persamaan:

$$S = \left(\frac{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{gA}}{I - S_f} \right) h$$

$$S_f = \left(\frac{n^2 Q^2 p^{4/3}}{A^{10/3}} \right) = \left(\frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \right)$$

$$S = \left(\frac{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{gA^3}}{1 - \frac{n^2 Q^2 p^{4/3}}{A^{10/3}}} \right) h$$

$$S = F(h) \cdot \Delta H$$

S = jarak antara dua tampang yang ditinjau (m)

H = selisih kedalaman air antara dua tampang yang ditinjau (m)

α = koefisien coriolis = 1

Q = debit rencana (m³/s)

A = luas penampang basah aliran (m²)

n = koefisien Manning

p = keliling basah aliran (m)

S_f = kemiringan garis energi

I = kemiringan dasar saluran

B = lebar permukaan air (m)

Dengan diperolehnya panjang aliran sungai yang dipengaruhi *backwater* (L), maka nilai tersebut ditetapkan menjadi panjang tanggul banjir di hulu bendung. Atau pada kontur dengan elevasi lebih besar dibandingkan elevasi air yang dipengaruhi *backwater*.

Pasang Surut Air Laut

Mekanisme Terjadinya Pasang Surut

Dronkers (1964) menyatakan bahwa pasang surut laut adalah fenomena gerakan permukaan air laut secara berkala karena kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik benda-benda astronomi utamanya matahari, bumi dan bulan. Periode sebulan, rentang pasang laut berubah secara sistematis mengikuti siklus bulan dalam variasi hariannya dan juga dipengaruhi oleh bentuk perairan dan konfigurasi dasar samudera. Pasang laut merupakan gerakan permukaan air laut yang mengikuti gaya gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal merupakan dorongan ke arah luar pusat rotasi (bumi) sedangkan gravitasi berbanding lurus dengan massa dan berbanding terbalik terhadap jarak. Gaya gravitasi bulan dua kali lebih besar dibandingkan gaya tarik matahari meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari. Hal ini dapat menggerakkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat dari bumi dibandingkan jarak matahari ke bumi. Gaya gravitasi menarik permukaan air laut ke arah bulan dan matahari sehingga menghasilkan dua tonjolan pasang surut gravitasional di laut.

Jenis-Jenis Pasang Surut Laut

Jenis-jenis pasang surut tergantung pada frekuensi air pasang dan surut yang terjadi setiap harinya yang disebabkan adanya beda respon pada tiap lokasi terhadap gaya penggerak pasang surut. Untuk satu perairan yang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut per satu hari, maka jenis pasang surut yang terjadi adalah jenis harian tunggal (*diurnal tides*). Untuk dua kali pasang dan dua kali surut yang berlangsung dalam satu hari, maka jenis pasang surutnya adalah jenis harian ganda (*semidiurnal tides*). Jenis pasang surut lain adalah peralihan jenis tunggal dan ganda yaitu jenis campuran (*mixed tides*) dan dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe campuran dominasi ganda dan tipe campuran dominasi tunggal. Pasang surut yang terjadi di berbagai wilayah umumnya tidak sama. Dalam satu hari di suatu wilayah dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Pasang surut di berbagai daerah secara garis besar dapat dibedakan menjadi 4 tipe yaitu:

- a. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)

Pada satu hari berlangsung dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi hampir sama, berurutan, dan teratur dengan periode rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini berlangsung di Selat Malaka sampai laut Andaman.

b. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Pada satu hari berlangsung satu kali air pasang dan satu kali air surut dengan periode rata-rata adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut jenis ini berlangsung di perairan Selat Karimata.

c. Pasang surut campuran cenderung pada harian ganda (*mixed tide prevalling semidiurnal*)

Pada satu hari berlangsung dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda. Pasang surut jenis ini berlangsung di perairan Indonesia Timur.

d. Pasang surut campuran cenderung pada harian tunggal (*mixed tide prevalling diurnal*)

Pada satu hari berlangsung satu kali pasang dan dua kali surut, namun kadang-kadang berlangsung dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode berbeda. Pasang surut jenis ini berlangsung di Selat Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat (Triatmodjo, 1999).

Komponen Harmonik Pasang Surut

Untuk jenis pasang surut pada suatu perairan dapat ditentukan secara kuantitatif menggunakan perbandingan antara amplitudo unsur-unsur pasang surut tunggal utama dengan amplitudo unsur-unsur pasang surut ganda utama. Perbandingan ini disebut dengan bilangan Formhazl dengan persamaan:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

F = Bilangan Formhazl.

O_1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama dikarenakan gaya tarik bulan.

K_1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama dikarenakan gaya tarik matahari.

M_2 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama dikarenakan gaya tarik bulan.

S_2 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama dikarenakan gaya tarik matahari.

Jika nilai F:

$$0 \leq F < 0,25 = \text{semi diurnal}$$

$$0,25 \leq F < 1,5 = \text{mixed type (dominan semi diurnal)}$$

$$1,5 \leq F < 3,0 = \text{mixed type (dominan diurnal)}$$

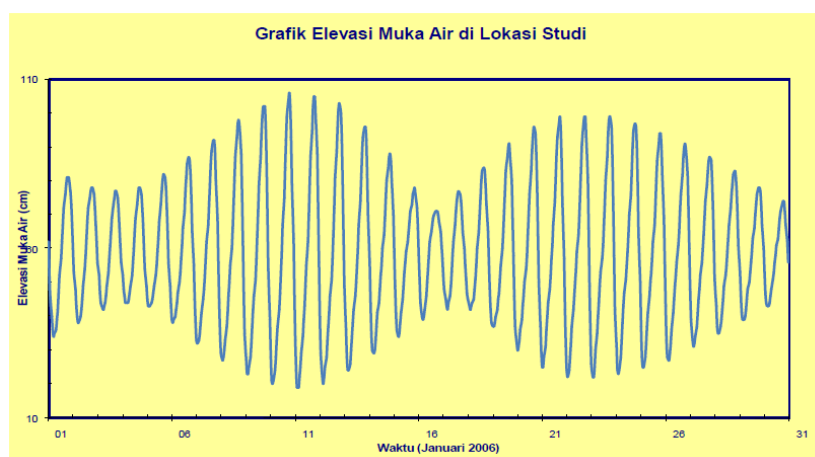
$$F \geq 3,0 = \text{diurnal}$$

Kondisi pasang surut di wilayah perairan Indonesia dipengaruhi oleh penjalaran pasang surut yang terletak dari Samudera Pasifik dan Samudera Hindia; dan juga morfologi pantai dan batimeri perairan yang kompleks, karena terdapat banyak selat, palung dan laut yang dangkal sampai sangat dalam (Wyrki, 1961).

Pasang Surut Muka Air Laut sebagai Variabel Drainase

Pasang surut muka air laut dapat mempengaruhi drainase. Saat muka air laut pasang maka wilayah yang rendah akan tergenang air rob yang berasal dari laut yang mengalir masuk melalui saluran/sungai dan sistem drainase. Pada saat pasang muka air laut terjadi bersamaan dengan turunnya hujan, maka air hujan (banjir) akan terhambat masuk ke laut karena muka air laut yang tinggi sehingga data pasang surut air laut menjadi parameter penting dalam perencanaan drainase.

Pengamatan pasang surut muka air laut dilakukan minimal selama 15 (lima belas) hari dan maksimal selama 30 (tiga puluh) hari secara berturut-turut di lokasi penelitian menggunakan papan baca/*peilschaal* dengan pembacaan tinggi muka air laut dilakukan tiap interval waktu 60 menit atau 1 jam. Selain itu data pasang surut bisa diperoleh menggunakan data perkiraan. Contoh analisa pasang surut yang dijabarkan di bawah ini menggunakan data perkiraan pasang surut selama 30 hari pada tanggal 1-30 Juli 2010.



Gambar 5.7 Grafik Elevasi Muka Air (sumber: Wahyudi, S. I & Adi, H. P, 2016)

Selanjutnya menggunakan data yang sama maka analisa dilakukan dengan program peramalan pasang surut untuk memperoleh parameter-parameter pasang surut di lokasi penelitian. Perhitungan parameter pasang surut menggunakan metode *Least Square* yang mengandung 9 parameter.

Tabel 5.2 Komponen Pasang Surut

	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	M _{S4}	K ₂	P ₁
A (cm)	58,69	5,26	4,67	1,90	21,2	11,28	0,05	0,21	1,38	6,69
Beda Fasa		129,04	186,35	155,14	1,60	48,29	1,71	73,10	157,07	263,26

Penjelasan masing-masing komponen yaitu:

A: amplitudo (cm)

g: beda fase (0)

S₀: elevasi muka air laut rata-rata terhadap nol rambu ukur (cm)

M₂: komponen utama bulan (*semi diurnal*) (cm)

S₂: komponen utama matahari (*semi diurnal*) (cm)

N₂: komponen eliptis bulan (cm)

K₁: komponen bulan (cm)

K₂: komponen bulan (cm)

O₁: komponen utama bulan (*semi diurnal*) (cm)

P₁: komponen utama matahari (*semi diurnal*) (cm)

M₄: komponen utama bulan (*semi diurnal*) (cm)

M_{S4}: komponen utama matahari-bulan (cm)

Dengan menerapkan amplitudo komponen pasang surut K₁, O₁, M₂ dan S₂ pada tabel 5.2 sehingga jenis pasang surut dapat ditentukan.

$$F = \frac{21,2+11,28}{5,26 + 4,67} = 3,27$$

Dengan diperolehnya nilai F maka dapat diketahui jenis pasang surut di lokasi penelitian yaitu *diurnal tide* sehingga dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Menggunakan konstanta sama maka dilakukan peramalan untuk masa 20 tahun sejak tanggal data penelitian (1 Juli 2010) dan didapat elevasi-elevasi acuan pasang surut yaitu:

Tabel 5.3 Elevasi Acuan Pasang Surut

Nilai Elevasi-Elevasi Penting	Elevasi (cm)
Highest High Water Level (HHWL)	105,33

Mean High Water Spring (MHWS)	95,05
Mean High Water Level (MHWL)	79,85
Mean Sea Level (MSL)	58,69
Mean Low Water Level (MLWL)	38,09
Mean Low Water Spring (MLWS)	22,88
Lowest Low Water Level (LLWL)	12,74

Dari elevasi-elevasi acuan pasang surut maka didapat Zo sebesar +58,69 cm yang dijadikan sebagai acuan nol terhadap elevasi lainnya. Lalu elevasi +0,00 diterapkan pada BM pelabuhan dan dikonversi sehingga memberi elevasi acuan untuk merencanakan dimensi saluran yaitu +0,466 meter.

Daftar Pustaka:

Aliyah, I. 2021. Sistem Perkotaan dan Kewilayahan (Hirarki, Interaksi, Nodal, Flow). sumber: <https://spada.uns.ac.id>, tanggal akses 13 Maret 2023.

Analisis Isu Strategis Kota Bogor. sumber: <https://disparbud.kotabogor.go.id>, tanggal akses 27 Februari 2023.

Arbaningrum, R. 2018. Desain polder yang ekonomis di Wilayah Semarang Timur. JURNAL PERKOTAAN DESEMBER 2018 VOL. 10 NO. 2.

Arbaningrum, R. 2018. Pemodelan pola operasi sistem pompa pada desain polder guna mitigasi banjir dan rob di wilayah Semarang Timur. TEKNIK, 39 (2), 2018, 137-143.

Ardiyana, M dkk. 2016. Studi penerapan *ecodrain* pada sistem drainase perkotaan (studi kasus: Perumahan Sawojajar Kota Malang). *Jurnal Teknik Pengairan, Volume 7, Nomor 2, Desember 2016, hlm. 295 – 309.*

Asdak, C. 2012. Konsep dan prinsip-prinsip Kajian Lingkungan Hidup Strategis [KLHS]: Pelatihan Kajian Lingkungan Hidup Strategis. PPSDAL-LPPM, Universitas Padjadjaran

Ayu, A.W dan Andajani, S. 2022. Penerapan konsep *zero delta run-off* pada Perumahan Tataca Puri, Kabupaten Tangerang. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil Vol. 08 | No. 01 | Hal. 1-12, Maret 2022. ISSN [e]: 2477-2569 | DOI: <https://doi.org/10.26760/rekaracana>.