

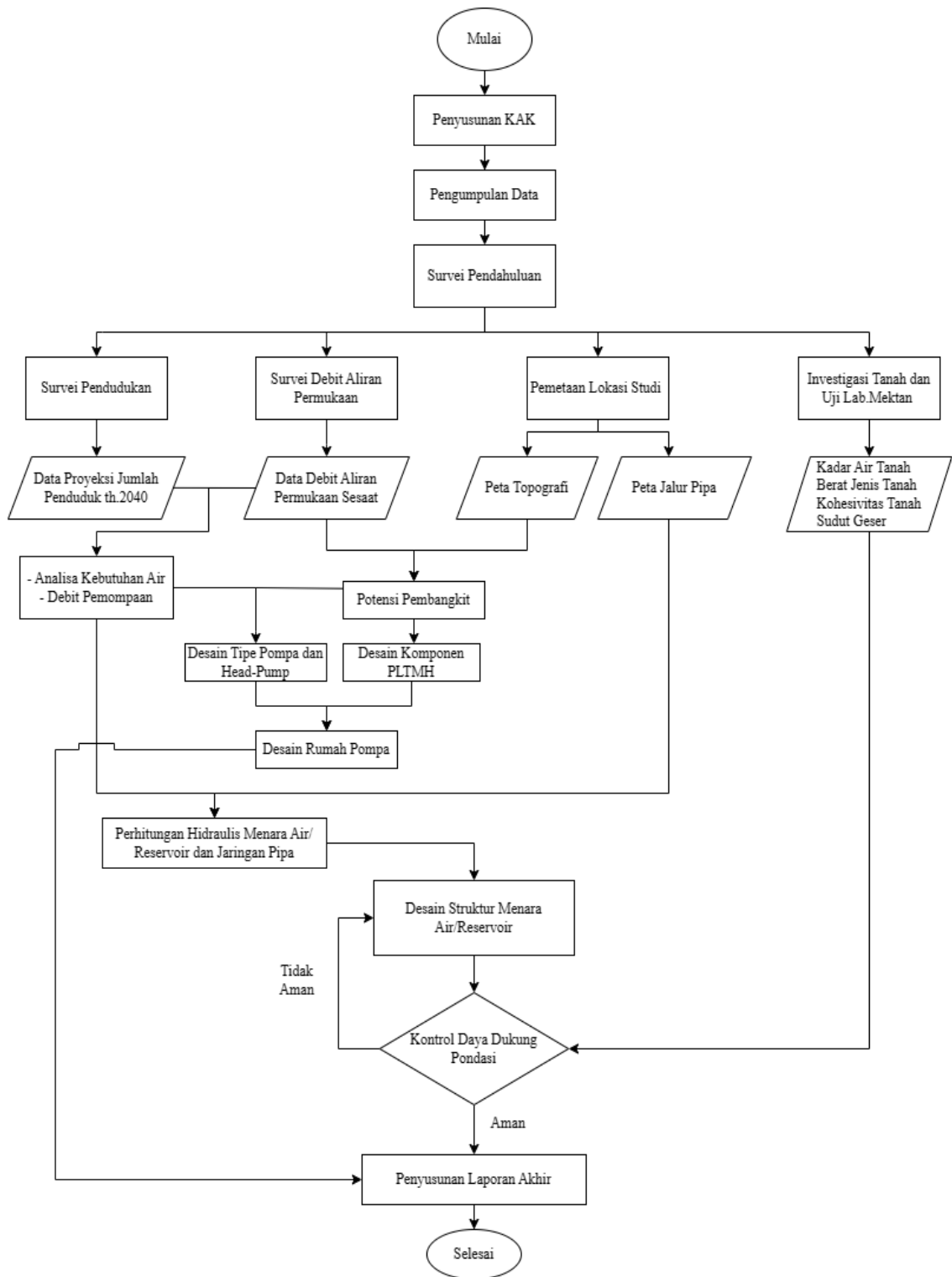
## BAB IV METODOLOGI

### 4.1 METODE PELAKSANAAN

Dalam metode pelaksanaan kegiatan studi “Sistem Penyediaan Air Baku (SPAB) Kecamatan Pagak dengan Pompa dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro”, terdiri dari beberapa tahap :

1. Kegiatan Pengumpulan Data
  - Survei Pendahuluan
  - Survei Debit Aliran Permukaan
  - Investigasi dan Uji Lab. Mektan
  - Survei Data Kependudukan
  - Pemetaan Lokasi Studi Daerah yang Dilayani
2. Analisa Data
  - Proyeksi Data Penduduk
  - Analisa Topografi
  - Analisa Potensi Debit Pembangkit dan Kebutuhan Air
  - Mekanika Tanah
  - Jalur Perpipaan (*mapping*)
3. Perencanaan Teknis
  - Desain PLTMH
  - Desain Pompa dan Rumah Pompa
  - Desain Jaringan Pipa Transmisi
  - Desain Menara Air

Berikut metode pelaksanaan seluruh kegiatan studi disajikan pada Diagram Alir Metode Pelaksanaan Kegiatan Studi pada Gambar 4.1, berikut ini :



Gambar 4. 1 Bagan Alir Metode Pelaksanaan Kegiatan Studi

## 4.2 KEGIATAN PENGUMPULAN DATA

### 4.2.1 Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan ini meliputi :

#### 1. Persiapan Administrasi

Melakukan koordinasi dan memberitahukan kepada pemberi tugas mengenai pembentukan kelompok studi meliputi tanggal dimulai pekerjaan sampai dengan tanggal survei ke lapangan, melakukan persiapan administrasi seperti surat permohonan data untuk surat pengantar memenuhi kebutuhan survei lapangan maupun pengumpulan data, menyusun metode kerja dan jadwal pelaksanaan, dan yang terakhir melakukan penyusunan kerangka acuan kerja (KAK).

#### 2. Koordinasi Dengan Instansi Terkait

Dalam pelaksanaan studi ini dilakukan koordinasi dengan berbagai instansi yang berwenang dan berkaitan, agar hasil yang didapatkan bisa maksimal dan mencapai tujuan yang diharapkan serta bermanfaat bagi semua pihak. Instansi yang dilakukan koordinasi antara lain Desa Karangsono, Desa Sempol, Desa Pagak, Desa Sumberejo, Desa Gampingan, Desa Tlogorejo, Perumda Pagak.

#### 3. Pengumpulan Data Sekunder dan Evaluasi Data Sementara

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan laporan perencanaan, hasil studi terkait, pemetaan melalui *google earth*. Data sekunder yang didapatkan meliputi :

##### a. Data kependudukan

Meliputi jumlah distribusi penduduk di setiap desa, fasilitas infrastruktur, perekonomian penduduk, pola penggunaan lahan, sarana dan prasarana penyediaan air baku dan lain-lain. Data tersebut didasarkan pada laporan statistik kecamatan yang diperoleh dari kantor kecamatan dan biro pusat statistik.

##### b. Kajian/studi terdahulu

Kelompok melakukan kajian pendekatan dengan kajian atau studi terdahulu dan serupa dengan pembahasan yang kami ambil.

##### c. Data sistem penyediaan air minum/air baku

#### 4.2.2 Survei Debit Aliran Permukaan

Pada dasarnya pengukuran debit aliran permukaan adalah pengukuran luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air. Dimungkinkan untuk memantau debit aliran permukaan secara langsung atau tidak langsung. Ketika meter arus, pelampung, atau pewarna (pengenceran) digunakan untuk mengukur laju aliran secara langsung, maka pengukuran debit langsung disebut pengukuran debit langsung. Pengukuran debit dianggap tidak langsung jika laju aliran tidak diukur secara langsung, tetapi didekati menggunakan rumus seperti *Manning*, *Chezy*, dan *Darcy Weisbach*. (Soewarno, Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri), 1991)

Untuk mendapatkan kurva debit yang menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dan debit secara akurat, perlu memenuhi banyak persyaratan saat melakukan pengukuran debit menggunakan alat ukur arus. Persyaratan ini harus diikuti dari debit terkecil hingga debit terbesar. Kriteria yang dimaksud mencakup berbagai aspek seperti tempat pengukuran yang spesifik, kuantitas dan waktu pengukuran, peralatan yang diperlukan, staf, dan sumber daya keuangan. (Soewarno, Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri), 1991).

1. Lokasi Pengukuran Debit

Siapa pun yang bertanggung jawab untuk mengambil pembacaan debit dengan pengukur aliran perlu memahami sepenuhnya berbagai kondisi hidrolis yang ada di lokasi pengukuran, dari debit serendah mungkin hingga yang tertinggi memungkinkan. Pada kondisi debit rendah, debit sungai dapat ditentukan secara akurat. (Soewarno, Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri), 1991).

2. Jumlah dan Waktu Pengukuran Debit

Selama pengukuran debit, hasil pengukuran harus secara akurat menggambarkan kurva aliran untuk penampang basah tertentu. Untuk mencapai hal ini, minimal 10 pengukuran debit harus dilakukan, yang mencakup berbagai kondisi aliran dari yang terendah hingga tertinggi. Untuk jumlah pengukuran

debitnya tergantung dari banyak faktor, antara lain (Soewarno, Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri), 1991) :

- Interval keadaan tinggi muka air untuk debit terkecil dan terbesar
- Stabilitas penampang kendali
- Tujuan penggunaan data
- Frekuensi terjadinya banjir
- Ketelitian pengukuran data pengukuran debit yang diperoleh
- Kemungkinan mengkalibrasi alat ukur arus

Untuk membuat kurva debit guna menghitung debit aliran rendah, pengukuran laju aliran dilakukan dua kali dalam satu pengukuran. Pengukuran debit dilakukan dua arah dalam penampang basah yang identik. Selama periode banjir, satu pengukuran pada level air tertentu sudah cukup. Selanjutnya, laju aliran diukur jika terjadi perubahan level air selama banjir. Tujuannya adalah untuk mengumpulkan beberapa titik data debit selama periode banjir, di bawah berbagai level level air yang diasumsikan stabil. Sebaliknya, durasi implementasi bergantung pada waktu dalam setahun.

Selama musim kemarau, cukup untuk melakukan tugas tersebut satu atau dua kali, asalkan kondisi aliran tetap pada level minimum. Selama musim hujan, perlu untuk mengukur debit lebih sering, khususnya setidaknya tiga kali per bulan. Setiap pengukuran harus dilakukan selama kejadian banjir, dan debit harus diukur pada berbagai level air yang dianggap stabil. Ini termasuk pengukuran dari kondisi banjir puncak hingga air kembali ke kondisi aliran normal. (Soewarno, Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri), 1991).

### 3. Peralatan, Tenaga, dan Dana

Sangat penting untuk memastikan bahwa peralatan dirawat dengan baik agar dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Karena merupakan instrumen utama dan perlu dikalibrasi secara berkala, alat ukur arus juga berfungsi sebagai alat ukur kecepatan aliran. Alat ukur kecepatan aliran dan alat untuk mengukur kedalaman dan lebar aliran merupakan peralatan yang digunakan untuk mengukur debit menggunakan alat ukur arus. Setidaknya diperlukan tiga orang

untuk mengukur debit menggunakan alat ukur arus. Mereka harus menguasai pos estimasi air, pengukuran debit, dan cara menjaga peralatan pengukur debit agar berfungsi dengan baik.

Sangat penting untuk memiliki dana yang mudah diakses setiap saat untuk melakukan pengukuran debit sesuai kebutuhan. Kekurangan dana dapat menghambat perolehan kurva debit yang akurat, terutama saat ada kebutuhan untuk pengukuran debit yang cepat, terutama selama periode banjir. (Soewarno, Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri), 1991).

Untuk pengukuran debit yang akurat di sungai dan saluran terbuka, instrumen pengukuran arus dan apung harus mematuhi protokol yang diuraikan dalam SNI 8066-2015. Perangkat pengukuran luas penampang basah dan instrumen pengukuran kecepatan aliran merupakan peralatan yang digunakan untuk mengukur debit. Perlengkapan pengukuran debit yang digunakan, antara lain :

- a. Alat ukur kecepatan arus (*current meter*) dan pemberat
- b. *Stopwatch*
- c. Meteran minimal 3 meter dengan ketelitian 1 mm
- d. Kalkulator
- e. Formulir isian perhitungan debit
- f. Alat tulis

Prosedur pengukuran debit dengan alat ukur arus tipe baling-baling :

- a. Pilih segmen sungai atau saluran terbuka di tempat yang ditentukan dengan memeriksa sifat aliran selama survei awal.
- b. Rentangkan tali/kabel melintasi sungai/saluran pada posisi yang ditentukan.
- c. Tentukan lebar area penampang basah.
- d. Verifikasi dan rakit alat ukur.
- e. Catat level air awal dan waktu yang sesuai pada formulir pengukuran yang ditentukan.
- f. Turunkan alat ukur arus hingga alasnya menyentuh permukaan sungai. Biarkan alat berada pada posisi yang tepat, sejajar dengan arah aliran. Ambil dan dokumentasikan nilai numerik yang ditampilkan pada alat ukur saat ini, khususnya meteran gantung (gulungan pengukur).

- g. Benamkan alat ukur arus ke dasar sungai. Periksa dan dokumentasikan nilai numerik yang ditampilkan pada alat ukur arus, yaitu meteran gantung.
- h. Hitung kedalaman sungai dengan mengurangi perbedaan data antara titik 6 dan 7.
- i. Posisikan alat ukur saat ini pada kedalaman yang setara dengan 0,2 kali diameter atau 0,8 kali diameter.
- j. Pertama, verifikasi orientasi alat ukur untuk memastikan keakuratannya. Selain itu, pastikan sudut yang dibentuk oleh tali tidak melebihi 10° relatif terhadap garis vertikal. Jika sudut tali melebihi 10 derajat, lakukan penyesuaian sesuai tabel yang tersedia. Selanjutnya, verifikasi fungsionalitas perekam putaran baling-baling (penghitung) pengukur kecepatan saat ini.
- k. Pada posisi kedalaman yang disebutkan pada poin 9, catat kecepatan aliran dan jumlah putaran baling-baling pada formulir pengukuran terpisah.
- l. Tentukan laju aliran menggunakan persamaan aliran maju dan aliran balik yang khusus untuk baling-baling alat ukur saat ini.
- m. Ulangi kegiatan dari butir 5 sampai dengan butir 12 untuk setiap jalur vertikal pada seluruh penampang melintang.
- n. Hitung luas penampang dengan rumus 4.1 dan 4.2

$$a_x = \frac{b_{(x+1)} - b_{(x-1)}}{2} d_x \dots\dots\dots (4.1)$$

$$A = \sum_{x=1}^n a_x \dots\dots\dots (4.2)$$

Keterangan :

- $a_x$  : luas penampang basah pada bagian ke x, (m<sup>2</sup>)
- $b_{(x+1)}$  : jarak titik vertikal sesudah titik vertikal ke x dari titik tetap, (m)
- $b_{(x-1)}$  : jarak titik vertikal sebelum titik vertikal ke x dari titik tetap, (m)
- $d_x$  : kedalaman pada titik vertikal ke x, (m)
- A : luas seluruh penampang basah, (m<sup>2</sup>)

- o. Hitung kecepatan rata-rata penampang dengan rumus 4.3, 4.4 dan 4.5 tergantung dari jumlah titik pengukuran.

i. Apabila menggunakan cara satu titik :

$$\underline{V} = V_{0,6} \dots \dots \dots (4.3)$$

ii. Apabila menggunakan cara dua titik :

$$\underline{V} = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \dots \dots \dots (4.4)$$

iii. Apabila menggunakan cara tiga titik :

$$\underline{V} = \left[ \left( \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \right) + V_{0,6} \right] \times \frac{1}{2} \dots \dots \dots (4.5)$$

Keterangan :

$\underline{V}$  : kecepatan aliran rata - rata pada suatu vertikal, (m/s)

$V_{0,2}$  : kecepatan aliran pada titik 0,2 d, (m/s)

$V_{0,6}$  : kecepatan aliran pada titik 0,6 d, (m/s)

$V_{0,8}$  : kecepatan aliran pada titik 0,8 d, (m/s)

p. p. Kalikan luas penampang pusat dengan kecepatan rata-rata penampang di setiap lintasan pengukuran untuk memperoleh debit penampang besar (rumus 4.6).

Debit dapat dihitung dengan rumus :

$$q_x = V_x a_x \dots \dots \dots (4.6)$$

$$Q = \sum_{x=1}^n q_x \dots \dots \dots (4.7)$$

Keterangan :

$q_x$  : debit pada bagian ke x, (m<sup>3</sup>/s)

$V_x$  : kecepatan aliran rata - rata pada bagian penampang ke x, (m/s)

$a_x$  : luas penampang basah pada bagian ke x, (m<sup>2</sup>)

Q : debit seluruh peampang, (m<sup>2</sup>/s)

n : banyaknya penampang bagian

q. Jumlahkan seluruh debit bagian penampang.

r. Catat kembali tinggi muka air dan waktu saat berakhirnya pengukuran pada formulir yang tersedia.

s. Jumlahkan debit bagian untuk mendapatkan debit total pada penampang tersebut.

t. Jumlahkan seluruh luas penampang bagian.

u. Tentukan kecepatan rata-rata seluruh penampang dengan rumus 4.8.



Kecepatan aliran rata - rata dihitung dengan rumus :

$$\underline{V} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(4.8)$$

Keterangan :

$\underline{V}$  : kecepatan aliran rata - rata pada seluruh penampang, (m/s)

A : luas seluruh penampang basah, (m<sup>2</sup>)

Q : debit seluruh penampang, (m<sup>3</sup>/s)

v. Tentukan tinggi muka air rata-rata dengan rumus 4.9

$$\underline{H} = \frac{q_1h_1 + q_2h_2 + \dots\dots\dots q_nh_n}{Q} \dots\dots\dots(4.9)$$

Keterangan :

$\underline{H}$  : rata - rata tinggi muka air pengukuran, (m)

$H_a$  : tinggi muka air pada saat mulai pengukuran, (m)

$H_z$  : tinggi muka air pada saat akhir pengukuran, (m)

$q_1, q_2, \dots, q_n$  : debit interval waktu, 1,2,...,n, (m<sup>3</sup>/s)

$h_1, h_2, \dots, h_n$  : tinggi muka air rata - rata pada interval waktu 1,2,...,n, (m)

w. Periksa kembali semua peralatan dan perlengkapan setelah selesai pengukuran.

### 4.2.3 Investigasi dan Uji Lab. Mektan

Investigasi tanah untuk konstruksi utama dan analisis sampel tanah laboratorium terdiri dari penilaian uji kadar air, uji geser langsung, dan konsolidasi. Pengambilan sampel tanah dapat dilakukan dalam dua kondisi yaitu tanah terganggu dan tanah tidak terganggu. Kondisi tanah tidak terganggu adalah contoh tanah yang masih menunjukkan sifat asli tanah, sedangkan tanah terganggu adalah sampel tanah yang diambil tanpa ada usaha yang dilakukan untuk melindungi struktur asli tanah tersebut (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021).

#### 1. Pengambilan sampel tanah terganggu

Sampel *undisturbed* (tidak terganggu) ini secara ideal tidak mengalami perubahan struktur, kadar air, dan susunan kimia. Mendapatkan sampel tanah yang benar-benar asli tidaklah memungkinkan, namun, kerusakan pada sampel tanah

dapat diminimalkan. Tujuan pengambilan sampel adalah untuk mendapatkan data geoteknik, termasuk kekuatan geser dan sifat deformasi, yang penting untuk desain struktur yang aman dan hemat biaya, melalui pengujian laboratorium berikutnya. Sampel diperoleh menggunakan instrumen yang dapat mengubah makrostruktur tanah tetapi tidak mengganggu kandungan mineraloginya, dan dapat diperoleh menggunakan beberapa teknik. Sifat pemadatan tanah, ukuran butiran, batas Atterberg, dan keseluruhan litologi endapan tanah dapat dipelajari dari spesimen ini, yang juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkategorikan komponen tanah.

## 2. Pengambilan sampel tanah tak terganggu

Setiap lubang bor teknik biasanya memiliki sampel yang tidak terganggu yang diambil pada interval 5,0 meter dan diuji di laboratorium. Tanpa mengganggu sampel dengan cara apa pun, kami mengumpulkannya sesuai dengan pedoman yang ditetapkan dalam ASTM D-1587-83. Studi laboratorium akan dilakukan menggunakan sampel tanah utuh yang diekstraksi dari lapisan tanah liat untuk memastikan sifat teknik tanah. Sampel tanah yang tidak terganggu dari tanah berbutir kasar dapat diperoleh menggunakan proses khusus seperti pembekuan atau pengisian lilin dalam tabung blok atau tabung inti. Struktur tanah dan kadar air dipertahankan selama pengambilan sampel dengan menggunakan peralatan khusus. Parameter teknik tanah seperti kekuatan, stratifikasi, permeabilitas air, kepadatan, konsolidasi, dan kualitas dinamis dapat dinilai menggunakan sampel tanah yang tidak terganggu.

Berikut ini adalah temuan dari analisis sampel :

### a. Kadar Air (*Moustore Content*)

Kadar air adalah rasio berat sampel tanah atau agregat saat kering dengan berat sampel saat jenuh air. Persentase adalah cara umum untuk menyatakan pengukuran kadar air. Faktor 0,01 diterapkan pada hasil pengujian jika tidak ada persentase untuk satuan nilai kadar air. Menentukan kadar air tanah—rasio air menurut berat terhadap berat tanah kering (%)—merupakan tujuan utama pengujian kadar air.

### b. Berat Jenis (*Spesific Gravity*)

Cari tahu berapa berat jenis tanah dengan uji ini. Pada suhu  $4^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 1,0 atmosfer, berat jenis tanah dihitung sebagai berat partikel tanah dibagi dengan berat air. Labu Erlenmeyer digunakan untuk melakukan percobaan. Berat jenis tanah adalah ukuran hubungan fungsional antara partikel tanah, air, dan udara. Untuk menemukan indeks tanah yang merupakan kependekan dari indeks sifat tanah uji ini diperlukan. Metode pengujian berat jenis mengikuti pedoman ASTM D854-92, yang melibatkan perhitungan berat jenis tanah yang dapat melewati saringan no. 4 menggunakan labu kaca. ASTM C127 menyediakan prosedur terperinci untuk menguji berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

c. Uji Kuat Geser Tanah Langsung

Dengan melakukan eksperimen geser langsung UU, pengujian ini bertujuan untuk memastikan kekuatan geser tanah. Dengan memanipulasi tegangan aksial/normal pada sejumlah sampel tanah, seseorang dapat memastikan amplitudo tegangan geser. Stabilitas lereng, daya dukung pondasi, analisis dinding penahan, dan bidang relevan lainnya dapat memperoleh manfaat dari hasil uji geser langsung untuk analisis stabilitas dalam domain geoteknik.

d. Uji Konsolidasi (*Consolidation Test*)

Terdapat tiga jenis penurunan yang terjadi ketika tanah liat jenuh mengalami beban: penurunan primer, kompresi sekunder, dan konsolidasi. Variasi volume yang disebabkan oleh disipasi tekanan pori yang berlebihan menyebabkan penurunan konsolidasi. Ketika tegangan efektif tetap sama dan volume berubah, kompresi sekunder terjadi, terutama setelah tekanan pori tambahan telah hilang. Dalam pengaturan laboratorium, uji odometer prosedur konsolidasi satu dimensi sering digunakan untuk mengevaluasi kompresi sekunder dan penurunan konsolidasi. Kualitas kompresif tanah dan karakteristik konsolidasi, yang dipengaruhi oleh permeabilitasnya, dapat dipastikan dengan uji konsolidasi. Dua ukuran kualitas kompresif tanah adalah indeks kompresif ( $C_c$ ) dan koefisien kompresi tanah ( $MV$ ). Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) mengukur kualitas konsolidasi tanah dengan mengukur laju kompresi dari waktu ke waktu. Permeabilitas tanah ( $k$ ) dan penurunan (sebagai akibat dari konsolidasi) dapat ditentukan secara tidak

langsung menggunakan temuan uji konsolidasi ini. Lebih jauh, laju penurunan juga dapat ditentukan. Kelompok yang dikendalikan oleh tegangan mencakup uji ini.

#### **4.2.4 Survei Data Kependudukan**

Survei data kependudukan dilakukan dengan survei langsung ke desa-desa yang ada di Kecamatan Pagak. Ada 8 desa, tetapi hanya di survei pada 5 desa prioritas. Melakukan wawancara mengenai data kependudukan serta meminta data perhitungan yang telah di update desa setiap tahunnya. Selain itu kami juga mencocokkan dengan data yang didapat dari BPS (Badan Pusat Statistik).

#### **4.2.5 Pemetaan Lokasi Studi Daerah Yang Dilayani**

Pemetaan adalah tindakan menghasilkan gambaran visual dari suatu area atau wilayah tertentu. Biasanya, gambaran ini berbentuk peta, yang mencakup rincian mengenai posisi, dimensi, konfigurasi, dan karakteristik geografis entitas dalam suatu wilayah. Pemetaan berupaya untuk menggambarkan informasi spasial dengan cara yang mudah dipahami dan praktis untuk digunakan oleh setiap orang. Proses atau teknik untuk mengidentifikasi posisi geografis atau koordinat suatu wilayah bertujuan untuk memudahkan pemahaman yang jelas tentang letak geografis suatu entitas atau fitur dalam konteks geospasial yang lebih besar. Pemetaan lokasi dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk menggunakan teknologi *GPS (Global Positioning System)*, peta, citra satelit, dan perangkat pemetaan lainnya (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2023).

### **4.3 ANALISA DATA**

#### **4.3.1 Analisa Proyeksi Data Penduduk**

Kondisi populasi, termasuk ukuran populasi, distribusi, dan campuran usia, sangat penting untuk perencanaan pembangunan di semua sektor. Informasi yang tersedia tidak hanya mencakup kondisi saat ini pada saat perencanaan, tetapi juga data historis dan terkini yang diperoleh dari sensus dan survei. Lebih jauh, perlu untuk memperkirakan ukuran populasi masa depan dan susunan demografinya. Perkiraan populasi dilakukan untuk memastikan pertumbuhan populasi tahunan, dengan tujuan memperkirakan kebutuhan air di masa depan. Keakuratan atau ketepatan prediksi populasi sangat bergantung pada ketepatan asumsi mengenai tren perubahan populasi.

Proyeksi angka kelahiran, kematian, dan migrasi di masa depan didasarkan pada analisis tren historis hingga saat ini dan tujuan yang diinginkan untuk masa depan. Berbagai faktor yang memengaruhi setiap komponen, termasuk pembangunan sosial, kondisi ekonomi, keberhasilan layanan kesehatan, dan keluarga berencana, antara lain. (Badan Pusat Statistik, 2010).

Ketepatan proyeksi dipengaruhi oleh kualitas sumber data. Dalam hal proyeksi penduduk Indonesia, data yang dapat diandalkan diperoleh dari sensus penduduk (SP) yang dilakukan pada tahun yang berakhir pada tahun 0, sesuai dengan rekomendasi Perserikatan Bangsa-Bangsa. Memiliki data yang berkualitas sangat penting untuk memastikan cakupan yang dapat diandalkan dan komprehensif. Kriteria ini dapat dipenuhi dengan menggunakan data yang diperoleh dari sensus penduduk dan survei penduduk rutin lainnya yang dilakukan oleh BPS.

Proyeksi penduduk dilakukan dengan tiga metode yang berbeda: aritmatika, geometrik, dan eksponensial. (Badan Pusat Statistik, 2010).

1. Metode aritmatika

Metode ini juga disebut sebagai metode rata-rata yang hilang. Pendekatan ini digunakan ketika terjadi peningkatan populasi yang berulang dan konsisten. Prakiraan populasi berdasarkan teknik matematika menyiratkan peningkatan populasi tahunan yang konsisten. Fenomena peningkatan populasi biasanya terjadi di wilayah metropolitan yang dicirikan oleh kapasitas spasial yang terbatas, pertumbuhan ekonomi yang lambat, dan tingkat perluasan perkotaan yang moderat. Pendekatan proyeksi matematika menggunakan rumus khusus untuk memperkirakan pertumbuhan ini :

$$P_t = P_0 + a.n \dots\dots\dots(4.10)$$

Keterangan :

- P<sub>n</sub> = jumlah penduduk tahun proyeksi
- P<sub>0</sub> = jumlah penduduk awal tahun dasar
- a = rata - rata penambahan penduduk (Juta/tahun)
- n = kurun waktu proyeksi

2. Metode geometrik

Metode proyeksi populasi secara geometris mengasumsikan bahwa populasi akan tumbuh secara eksponensial, berdasarkan prinsip perhitungan bunga majemuk. Diharapkan bahwa laju pertumbuhan populasi tetap konstan setiap tahun.

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \text{ dengan } r = \left( \frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \dots\dots\dots(4.11)$$

Dimana :

- $P_t$  = jumlah penduduk pada tahun t
- $P_0$  = jumlah penduduk pada tahun dasar
- r = laju pertumbuhan penduduk
- t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

3. Metode eksponensial

Berbeda dengan metode geometrik, yang menyatakan bahwa populasi tumbuh sekali setiap periode waktu tertentu, metode eksponensial menggambarkan peningkatan berkelanjutan yang terjadi sepanjang tahun. Metode eksponensial bergantung pada persamaan tertentu :

$$P_t = P_0 e^{rt} \text{ dengan } r = \frac{1}{t} \ln \left( \frac{P_t}{P_0} \right) \dots\dots\dots(4.12)$$

Dimana :

- $P_t$  = jumlah penduduk pada tahun t
- $P_0$  = jumlah penduduk pada tahun dasar
- r = laju pertumbuhan penduduk
- t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)
- e = bilangan pokok dari sistem logaritma natural(ln) yang besarnya adalah 2,7182818

4. Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Pertumbuhan penduduk tahunan dihitung menggunakan tiga metode: aritmatika, geometrik, dan eksponensial. Pemeriksaan kesalahan proyeksi diperlukan untuk menentukan strategi yang paling tepat untuk estimasi pertumbuhan penduduk.

a. *Mean Absolute Deviation* (MAD)

*Mean Absolute Deviation* (MAD) merupakan nilai rata-rata kesalahan mutlak. MAD cukup mudah dihitung dan menimbang kesalahan secara

linear. Akurasi peramalan akan tinggi jika nilai MAD, persentase kesalahan rata-rata absolut oleh karena itu kesalah kuadrat rata-rata menjadi lebih kecil.

Rumus perhitungan MAD adalah sebagai berikut :

$$MAD = \frac{\sum |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \dots\dots\dots (4.13)$$

Dimana :

- $Y_i$  = nilai aktual
- $\hat{Y}_i$  = nilai ramalan
- $n$  = banyaknya data

b. *Mean Squared Error* (MSE)

*Mean Squared Error* adalah nilai rata-rata kesalahan berpangkat, kaerena MSE merupakan kesalahan yang dipangkatkan dua maka beban lebih untuk kesalahan yang lebih besar.kesalahan kuadrat rata-rata memperkuat efek tingkat kesalahan yang sangat besar, tetapi mengurangi tingkat kesalahan perkiraan kurang dari satu unit. Rumus perhitungan MSE sebagai berikut :

$$MSE = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \dots\dots\dots (4.14)$$

Dimana :

- $Y_i$  = nilai aktual
- $\hat{Y}_i$  = nilai ramalan
- $n$  = banyaknya data

c. *Mean Absolute Percent Error* (MAPE)

*Mean Absolute Percent Error* merupakan nilai rata-rata persentase kesalahan mutlak. MAPE menempatkab kesalahan-kesalahan berdasarkan penyebabnya. MAPE biasanya lebih baik dari pada MAD karena dapat memberikan informasi persentase kesalahan terlalu tinggi atau terlalu rendah. Kuadrat dari persentase kesalahan rata-rata dapat menjadi ukuran ketepatan menggunakan persentase kesalahan absolut. Rumus perhitungan MAPE sebagai berikut :

$$MAPE = \frac{\sum |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} * 100\% \dots\dots\dots (4.15)$$

Dimana :

$Y_i$  = nilai aktual

$\hat{Y}_i$  = nilai ramalan

$n$  = banyaknya data

#### **4.3.2 Analisa Topografi dan Pemetaan Lokasi menggunakan Program *Google Earth Pro* dan *Global Mapper***

*Google Earth Pro* merupakan Aplikasi kartografi yang dibuat oleh Google. Google telah mengembangkan alat pemetaan interaktif yang menyajikan representasi tiga dimensi permukaan Bumi, termasuk fitur topografi dan citra satelit. Program ini memungkinkan pengguna untuk melapisi informasi tambahan seperti jalan raya, gedung, dan lokasi tertentu. Awalnya disebut sebagai penampil bumi. *Google Earth* memungkinkan pengguna untuk melakukan pencarian alamat yang sangat terperinci, memasukkan koordinat, atau mencari area tertentu. *Google Earth* tetap menjadi kekuatan dominan dalam bidang pemetaan digital karena kemampuannya yang tak tertandingi untuk menampilkan keseluruhan permukaan Bumi secara real-time. Beberapa fitur utama dari *Google Earth Pro* sebagai berikut :

1. Kemampuan untuk mencetak gambar resolusi tinggi
2. Alat pengukuran yang dapat digunakan untuk mengukur jarak, area, dan volume dengan lebih akurat.
3. Import data *GIS*, dapat mengimpor data geografis informasi sistem (*GIS*) ke *Google Earth Pro*.
4. Kemampuan untuk mengimpor gambar beresolusi tinggi.
5. Dapat mengakses gambar satelit historis, sehingga dapat dilihat bagaimana suatu lokasi telah berubah selama waktu.

Terdapat tiga jenis model permukaan di Bumi: geoid, ellipsoid, dan permukaan topografi. Dalam penjelasan Nugraha (2012), ia mendefinisikan geoid sebagai representasi bentuk fisik permukaan Bumi yang dimodelkan secara matematis, yang sangat rumit. Dalam praktiknya, geoid dianggap identik dengan permukaan laut rata-rata (MSL), sehingga diyakini memiliki elevasi dasar 0 meter.



Elipsoid adalah model matematika yang digunakan untuk melakukan perhitungan dan menentukan lokasi suatu tempat di Bumi.

Permukaan topografi mengacu pada permukaan fisik Bumi yang tampak. Google Earth Pro menggunakan sistem koordinat geografis internal yang direpresentasikan oleh World Geodetic System 1984 (WGS1984) tunggal. WGS 1984 adalah standar yang diterima secara luas di bidang pemetaan, geodesi, dan navigasi. Ini mencakup sistem koordinat standar untuk Bumi, elipsoid referensi untuk data elevasi, dan geoid yang mendefinisikan permukaan laut rata-rata. Sederhananya, sistem ketinggian yang digunakan oleh Google Earth Pro dapat dipahami sebagai sistem ketinggian elipsoid.

#### **4.3.3 Analisa Potensi Debit Pembangkit dan Kebutuhan Air**

Debit (*discharge*), Besarnya aliran sungai, juga dikenal sebagai aliran sungai, mengacu pada volume air yang melewati penampang melintang tertentu dari sungai dalam jangka waktu tertentu. Meter kubik per detik ( $m^3/s$ ) dan liter per detik (l/s) merupakan satuan pengukuran yang umum. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) menggunakan laju aliran melalui penampang tertentu untuk menghasilkan energi; ini disebut Debit Pembangkit Listrik.

Untuk memenuhi proyeksi kebutuhan air minum di masa mendatang, jumlah air yang sama dengan permintaan air harus tersedia. Ada standar yang ditetapkan yang digunakan untuk memperkirakan permintaan air tawar di masa mendatang. Bisnis yang berhubungan dengan masyarakat atau ekonomi harus menilai kebutuhan air mereka secara individual, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kapasitas produksi, tingkat kebocoran, dan layanan yang mereka tawarkan. Total permintaan air memperhitungkan penggunaan perumahan dan komersial serta kebocoran apa pun. (Kalensun, 2016).

##### **4.3.3.1 Perhitungan Kebutuhan Air**

Kebutuhan air merujuk pada persyaratan air yang dibutuhkan untuk menopang berbagai aktivitas manusia, meliputi penyediaan air bersih untuk keperluan rumah tangga dan non-rumah tangga, irigasi tanaman dan perikanan, dan penyediaan air untuk sanitasi perkotaan. (Robert J. Kodoatie, 2008).

Perhitungan kebutuhan air penduduk mempertimbangkan berbagai kategori

kebutuhan, seperti :

1. Kebutuhan air bersih di rumah tangga dan tempat penampungan air umum
2. Kebutuhan air untuk keperluan non-domestik, seperti untuk lembaga keagamaan dan tempat penampungan air umum, diperkirakan sebesar 20% dari kebutuhan air untuk keperluan rumah tangga.
3. Dehidrasi.
4. Kebutuhan harian maksimum ditentukan dengan mengalikan kebutuhan air bersih dengan faktor 1,1.
5. Kebutuhan air yang dibutuhkan selama jam sibuk ditentukan dengan mengalikan kebutuhan air bersih dengan faktor 1,5.

#### **4.3.3.2 Kebutuhan Air Domestik dan Non Domestik**

##### **1. Kebutuhan Air Domestik**

Istilah "kebutuhan air rumah tangga" menggambarkan jumlah air yang dibutuhkan oleh rumah tangga untuk memenuhi aktivitas dasar manusia termasuk minum, memasak, mencuci, dan menyiram toilet (MCK). Kategorisasi kota dan jumlah penduduk menentukan standar penggunaan air rumah tangga. Saat mencoba memperkirakan berapa banyak air yang akan digunakan rumah di masa mendatang, proyeksi jumlah penduduk sangat penting. Liter per orang, setiap hari, adalah satuan ukuran standar. Tabel berikut menampilkan kebutuhan air dari Direktorat Jenderal Cipta Karya :

Tabel 4. 1 Kebutuhan Minum Air Bersih (Domestik dan Nondomestik)

No	Parameter	Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil
1	<b>Target Layanan</b>	100%	100%	100%	20%
2	<b>Pemakaian Air (l/org/hari)</b>				
	Sambungan Rumah	190	170	150	130
	Hidran Umum (HU)	30	30	30	30
3	<b>Kebutuhan Nondomestik</b>				
	Industri Berat (l/s)	0,5-1,00			
	Industri Sedang (l/s)	0,25-0,5			
	Industri Ringan (l/s)	0,15-0,25			
	<b>Komersil</b>				
	Pasar	0,1-1,00			
	Hotel Lokal (l/km/hari)	400			
	Hotel Internasional	1000			
	<b>Sosial</b>				
	Universitas (l/org/hari)	22			
	Sekolahs	15			
	Masjid (l/hari)	1000-2000			
	Rumah sakit (l/kamar/hari)	400			
	Puskesmas (l/hari)	1000-2000			
	Kantor (l/detik)	0.01			
	Militer (l/hari/ha)	10000			
4	<b>Kebutuhan Air Maksimum</b>	Kebutuhan rerata x 1.1			
5	<b>Kehilangan Air Sistem Baru</b>	15% kebutuhan rerata			
	<b>Kehilangan Air Sistem Lama</b>	30%-40% kebutuhan rerata			
6	<b>Kebutuhan jam puncak</b>	1,2			

(Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 1998)

Menentukan kebutuhan air untuk keperluan domestik dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_{\text{domestik}} = P_t \times U_n \times \% \text{ pelayanan} \dots\dots\dots (4.19)$$

Dengan :

- $Q_{\text{domestik}}$  = Jumlah kebutuhan air penduduk (liter/detik)
- $P_t$  = Jumlah penduduk pada tahun yang bersangkutan (jiwa)
- $U_n$  = Nilai kebutuhan air perkapita per tahun (liter/jiwa/hari)

## 2. Kebutuhan Air Non Domestik

Bisnis, sekolah, dan pabrik semuanya memiliki kebutuhan air yang tidak dapat dipenuhi oleh rumah tangga. Dalam kebanyakan kasus, perubahan penggunaan lahan dan kepadatan penduduk menyebabkan peningkatan permintaan air di lokasi tertentu. Permintaan ini berpotensi menghabiskan 20–25% pasokan air tawar dunia. (Robert J. Kodoatie, 2008).

#### 4.3.3.3 Kebutuhan Air Jam Puncak dan Harian Maksimum

Jumlah maksimum air yang dikonsumsi dalam satu jam dalam jangka waktu 24 jam disebut permintaan air pada jam puncak. Dengan membandingkan permintaan harian rata-rata dengan permintaan pada jam puncak, kita dapat menemukan besarnya faktor jam puncak ini. Faktor jam puncak biasanya bervariasi antara 1,5 dan 1,75, seperti yang ditunjukkan oleh Hadisoebroto et al. (2007). Maksimum harian mengacu pada jumlah air tertinggi yang dikonsumsi dalam jangka waktu 24 jam selama satu minggu. Faktor jam puncak, sebagaimana ditentukan oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum, memiliki nilai standar 1,5. Nilai faktor harian tertinggi adalah 1,1.

#### 4.3.3.4 Perhitungan Debit Pemompaan

Kapasitas daya yang besar dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dihasilkan oleh turbin ditentukan oleh debit air, ketinggian (juga dikenal sebagai tinggi jatuh atau head), dan efisiensi. Tinggi jatuh, yang sering dikenal sebagai head, mengacu pada jarak vertikal antara area aliran dan titik pemasangan. (IMIDAP, 2009)

Pembangkitan daya mengacu pada kapasitas daya maksimum yang dapat dihasilkan turbin, yang ditentukan oleh besarnya jarak vertikal jatuhnya air. Tinggi jatuhnya air, yang sering disebut sebagai head, mengacu pada jarak vertikal antara area aliran dan titik pemasangan. (IMIDAP, 2009)

Perhitungan potensi daya pembangkitan listrik dapat diperoleh dari persamaan :

$$P_s = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{\eta} \dots\dots\dots(4.20)$$

Dimana :

$P_s$  : daya yang diberikan pada poros pompa (Watt)

$\eta$  : efisiensi pompa yang diharapkan

$g$  : percepatan gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>)

$Q$  : kapasitas pompa (m<sup>3</sup>/det)

$H$  : tinggi energi total pemompaan/ *head* (m)

$\rho$  : massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.3.4 Investigasi dan Uji Lab. Mektan

Analisa perhitungan investigasi dan uji lab mekanika tanah dari sampel tanah adalah sebagai berikut :

##### 4.3.4.1 Kadar Air (*Moustrure Content*), ASTM D2216-80

(Team Soil Mechanics Laboratory, 2018)

$$w = \frac{\text{massa air}}{\text{massa tanah kering}} \times 100\% \dots\dots\dots (4.21)$$

$$w = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \dots\dots\dots (4.22)$$

Dengan :

- w = kadar air (%)
- a = berat cawan kosong (gram)
- b = berat cawan + tanah basah (gram)
- c = berat cawan + tanah kering oven (gram)

##### 4.3.4.2 Berat Jenis (*Spesific Gravity*), ASTM D 854-83

(Team Soil Mechanics Laboratory, 2018)

$$G_s = \frac{\text{Massa butiran}}{\text{Massa air dengan volume yang sama}} = \frac{M_s}{M_w} \dots\dots\dots (4.23)$$

$$G_s = \frac{c-a}{(b-a)T_1 - (d-c)T_2} \dots\dots\dots (4.24)$$

Dengan :

- G<sub>s</sub> = specific gravity
- a = berat piknometer kosong (gram)
- b = berat piknometer + sampel jenuh (gram)
- c = berat piknometer + sampel kering (gram)
- d = berat piknometer + sampel aquades (gram)
- t<sub>1</sub> = suhu pada saat piknometer berisi aquades (°C)
- t<sub>2</sub> = suhu pada aquades setelah piknometer didiamkan selama 24 jam (°C)
- T<sub>1</sub> = faktor koreksi pada suhu t<sub>1</sub>
- T<sub>2</sub> = faktor koreksi pada suhu t<sub>2</sub>

##### 4.3.4.3 Uji Kuat Geser Tanah Langsung

Kekuatan geser tanah digunakan dalam beberapa aplikasi seperti analisis stabilitas lereng dan penentuan daya dukung tanah pondasi. Nilai kekuatan geser ditentukan oleh Coloumb dan Mohr menggunakan persamaan berikut:

$$S = c + \sigma_n \tan \phi \dots\dots\dots(4.25)$$

Dimana:

$S$  = kekuatan geser maksimum ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$c$  = kohesi ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$\sigma_n$  = tegangan normal ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$\phi$  = sudut geser dalam ( $^\circ$ )

Dalam pelaksanaannya, percobaan geser langsung dapat dilaksanakan dalam tiga cara :

1. *Consolidated Drained Test*

Percobaan ini melibatkan penerapan gaya horizontal secara bertahap, yang memperlancar aliran air dan memastikan bahwa tekanan air pori tetap konsisten selama pengujian. Parameter  $c$  dan  $\phi$  digunakan untuk perhitungan stabilitas lereng.

2. *Consolidated Undrained Test*

Proses konsolidasi harus ditunggu hingga selesai sebelum memindahkan benda uji yang telah diberi beban vertikal (beban normal). Langkah selanjutnya adalah pembebanan horizontal yang dilakukan secara cepat.

3. *Unconsolidated Undrained Test*

Setelah balok vertikal diaplikasikan pada objek uji, balok horizontal segera diaplikasikan dalam percobaan ini. Parameter  $C_u$  dan  $\phi_u$  ditentukan oleh percobaan ini.

Uji gel sangat cocok untuk uji Drainase Konsolidasi karena kekuatan relatifnya lebih tinggi daripada uji triaksial, yang pada dasarnya adalah hal yang sama.

**4.3.4.4 Uji Konsolidasi (*Consolidation Test*), ASTM D 2345 - 90**

(Team Soil Mechanics Laboratory, 2018)

Ada dua cara penggambaran hasil percobaan konsolidasi yaitu :

1. Dengan membuat grafik hubungan antara penurunan dengan tekanan
2. Dengan membuat grafik hubungan antara angka pori dengan tekanan
  - a. Tinggi efektif benda uji

$$Ht = \frac{B_k}{(A \times G_s)} \dots\dots\dots(4.26)$$

Dimana :

$H_t$  = tinggi efektif benda uji / tinggi butiran tanah (satu kesatuan)

$A$  = luas benda uji

$G_s$  = berat jenis tanah

$B_k$  = berat tanah kering

b. Besar penurunan total ( $H$ ) yang terjadi pada pembebanan

$H$  = selisih antara pembacaan arloji pada permulaan percobaan dengan pembacaan arlojo sesudah pembebanan

c. Angka pori semula (angka pori asli)

$$e_o = \frac{(H_o - H_t)}{H_t} \dots\dots\dots (4.27)$$

Dimana :

$H_o$  = tinggi contoh semula

$H_t$  = tinggi efektif benda uji / tinggi butiran tanah (satu kesatuan)

d. Perubahan angka pori ( $e$ ) pada setiap pembebanan

$$e = \frac{H}{H_t} \dots\dots\dots (4.28)$$

Dimana :

$H$  = tinggi contoh

$H_t$  = tinggi efektif benda uji / tinggi butiran tanah (satu kesatuan)

e. Angka pori ( $e$ ) pada setiap pembebanan

$$e = e_o - e \dots\dots\dots (4.29)$$

f. Menggambarkan harga angka-angka pori pada grafik hubungan angka pori dengan tekanan menggunakan skala logaritma untuk tekanan.

**4.3.4.5 Menghitung derajat kejenuhan sebelum dan sesudah percobaan**

(Team Soil Mechanics Laboratory, 2018)

$$S_r = \frac{(w \times G_s)}{e} \dots\dots\dots (4.30)$$

Dimana :

$S_r$  = derajat kejenuhan

$w$  = kadar air

$G_s$  = berat jeni tanah

$e$  = angka pori

#### 4.3.4.6 Menghitung nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ )

(Team Soil Mechanics Laboratory, 2018)

$$C_v = \frac{(0,848 Hm^2)}{t_{90}} \dots\dots\dots(4.31)$$

Dimana :

$C_v$  = koefisien konsolidasi

$H_m$  = tinggi benda uji rata-rata

$T_{90}$  = waktu untuk mencapai konsolidasi 90%

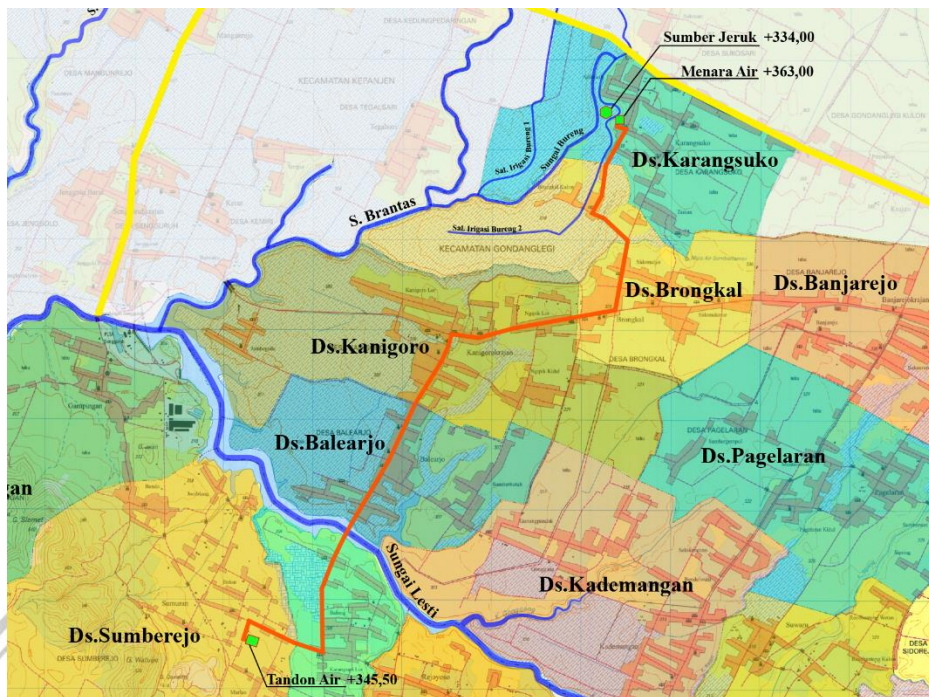
#### 4.3.4.7 Menggambar grafik hubungan antara $C_v$ dan beban.

Langkah - langkah penggambaran grafik konsolidasi sebagai berikut :

1. Absis =  $\sqrt{waktu}$  ; ordinat = penurunan
2. Titik koordinat hasil pembacaan dihubungkan sehingga didapat grafik
3. Kurva diperpanjang hingga memotong sumbu Y (titik A)
4. Kemudian buat garis singgung yang berimpit dengan permulaan kurva
5. Dicari titik singgung akhir kurva dimana kurva dan garis singgung mulai memisah (titik P)
6. Ditarik garis tegak lurus sumbu ordinat Y sampai dengan memotong titik P, diukur panjangnya
7. Kemudian dibuat garis himpit dengan garis nomor 6 (titik Q)
8. Dibuat garis A sampai tegak lurus absis melalui B
9. Membuat garis tegak lurus absis melalui B
10. Didapat  $\sqrt{t_{90}}$  = titik potong antara garis no.9) dengan sumbu absis X



#### 4.3.5 Jalur Pipa Transmisi



Gambar 4. 2 Mapping Jalur Pipa Transmisi

Dalam perencanaan atau *mapping* jalur pipa transmisi seperti gambar di atas, perlu untuk memperhatikan beberapa hal seperti kondisi topografi, kondisi lingkungan, metode pelaksanaan, serta kemudahan dalam operasional dan pemeliharaan pasca konstruksi. Pipa berbentuk lingkaran pada penampang melintang, merupakan saluran tertutup yang memindahkan fluida ke seluruh wilayah alirannya. Bergantung pada kondisinya, fluida yang bergerak melalui pipa dapat berupa gas atau cairan, dan tekanannya dapat lebih tinggi atau lebih rendah daripada tekanan udara di sekitarnya. Jika level cairan dalam pipa di bawah kapasitas, maka aliran tersebut dianggap sebagai bagian dari aliran saluran terbuka. Fluida yang mengalir adalah cairan karena adanya permukaan bebas. Tekanan permukaan cairan di dalam tabung terbuka setara dengan tekanan udara. (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, Hidraulika II, 1995).

##### 4.3.5.1 Debit Aliran

Volume fluida yang mengalir melalui suatu area penampang tertentu per satuan waktu disebut laju aliran dan dilambangkan dengan simbol  $Q$ . Laju aliran biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik ( $m^3/s$ ) atau satuan pengukuran

lainnya dan didefinisikan sebagai jumlah fluida yang mengalir di suatu lokasi dalam periode tertentu (l/dt, l/mnt, dsb). (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, Hidraulika I, 1995), dengan rumus debit sebagai berikut :

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(4.32)$$

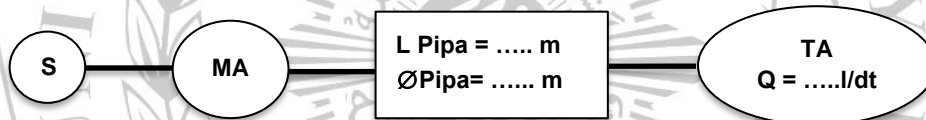
$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot V \dots\dots\dots(4.33)$$

Dengan :

- Q = debit aliran dalam pipa (m<sup>3</sup>/dt).
- V = kecepatan aliran dalam pipa (m/dt)
- A = luas penampang pipa (m).
- D = diameter pipa (m)

#### 4.3.5.2 Sistem dan Jaringan Pipa Air Baku

Arsitektur jaringan perpipaan dimulai dari sumber air dan meluas ke menara air melalui pipa kotak roda gigi, dan akhirnya mencapai tangki air. Tangki air berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara air yang akan dialirkan ke area layanan melalui pipa kotak roda gigi dengan cara berikut :



Rumus yang digunakan untuk menentukan diameter pipa air bersih sepanjang proses desain adalah sebagai berikut :

$$Q = A \times v \dots\dots\dots(4.34)$$

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots\dots\dots(4.35)$$

Perhitungan Head Pressure Loss didasarkan pada tegangan geser dan variasi kecepatan aliran yang dialami oleh fluida yang mengalir melalui pipa. Rumus yang digunakan adalah :

$$D = \frac{2,63 \sqrt{(1,67)(C)I^{0,54}}}{Q} \dots\dots\dots(4.36)$$

$$H_f = \left( \frac{Q}{0,278 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \dots\dots\dots(4.37)$$

Perhitungan tinggi energi berdasarkan rumus Bernoulli yaitu :

$$H_1 + \frac{v^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = H_2 + \frac{v^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_f \dots\dots\dots(4.38)$$

Keterangan :

- Q = Debit Aliran Pipa (l/dt)
- A = Luas Penampang Pipa (m<sup>2</sup>)
- D = Diameter Pipa (m)
- H<sub>f</sub> = Sisa Tekan
- H<sub>1,2</sub> = Elevasi Pipa
- v = Kecepatan Aliran
- P = Tekanan Air
- γ = Berat Jenis Air
- C = Kekasaran Pipa
- I = Kemiringan Hidrolis

#### 4.3.5.3 Hukum Kontinuitas

Dalam kasus aliran kontinu suatu fluida tak termampatkan melalui sebuah pipa atau saluran, tanpa memperhatikan apakah penampang alirannya konstan atau bervariasi, volume fluida yang mengalir per satuan waktu tetap konstan di semua penampang. (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, Hidraulika I, 1995). Persamaan hukum kontinuitas yang digunakan yaitu :

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$A \times V = A \times V \dots\dots\dots(4.39)$$

dimana :

- Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/dt)
- A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- V = kecepatan aliran (m/det)

#### 4.3.5.4 Kehilangan Tenaga Aliran Melalui Pipa

Setiap kali suatu fluida bergerak mendekati batas pipa, saluran terbuka, atau permukaan datar viskositasnya menciptakan tegangan geser dan gradien kecepatan di seluruh medan aliran. Tegangan geser akan mengakibatkan disipasi energi selama aliran. (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, Hidraulika II, 1995). Persamaan Bernoulli yang digunakan yaitu :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + hf \dots\dots\dots(4.40)$$

Dimana :

- $h_1$  = Elevasi pipa 1 dari datum (m)
- $h_2$  = Elevasi pipa 2 dari datum (m)
- $P_1$  = Tekanan di titik 1 ( $\text{Kg/m}^2$ )
- $V$  = Kecepatan aliran (m/det)
- $g$  = Gravitasi ( $\text{m/det}^2$ )
- $\gamma_w$  = Berat jenis air ( $\text{Kg/m}^3$ )
- $H_f$  = Head Loss (m)

#### 4.3.5.5 Kehilangan Energi Utama (*Mayor Losses*)

Alasan utama hilangnya energi yang signifikan disebabkan oleh gesekan antara cairan atau fluida dan dinding pipa, yang terjadi karena viskositas fluida yang melekat dan kehalusan dinding pipa yang tidak sempurna. Bahkan pada dinding dengan tingkat kehalusan yang tinggi, masih dapat terjadi kehilangan energi, betapapun minimalnya. Dalam kasus dinding yang sepenuhnya halus, tidak ada disipasi energi. (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, Hidraulika II, 1995).

##### 1. Persamaan *Darcy Wesbach*

Disipasi energi primer dalam pipa yang diakibatkan oleh gesekan, seperti yang dijelaskan oleh persamaan *Darcy-Weisbach*, dapat dinyatakan sebagai :

$$h_f = f \frac{L.V^2}{D.2g} \dots\dots\dots(4.41)$$

Dimana :

- $H_f$  = kehilangan energi (m)
- $f$  = Koefisien gesek (Darcy)
- $V$  = Kecepatan aliran air (m/detik)
- $g$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/dt}^2$ )
- $D$  = Diameter Pipa (m)
- $L$  = Panjang Pipa (m)

##### 2. Persamaan *Hazen Williams*

Persamaan ini dikenal luas di Amerika Serikat. Persamaan kehilangan energi kurang kompleks dibandingkan Persamaan Darcy Wesbach karena koefisien

kehilangan ( $C_{HW}$ ) tetap konstan terlepas dari bilangan Reynolds. Persamaan ini hanya berlaku untuk air.

$$Q = C_u \times C_{HW} \times d^{2.63} \times i^{0.54} \dots\dots\dots(4.42)$$

Dari turunan rumus di atas di dapat persamaan :

$$H_f = \frac{Q^{1.85}}{(0,2785 \cdot D^{2.63} \cdot C)^{1.85}} \times L \dots\dots\dots(4.43)$$

Dimana :

$C_u = 0,2785$

$C_{HW}$  = Koefisien Hazen Williams

$I$  = Kemiringan atau *slope* garis tenaga ( $i = \frac{H_f}{L}$ )

$Q$  = Debit ( $m^3/dt$ )

$D$  = Diameter Pipa (m)

$H_f$  = Kehilangan Energi (m)

$L$  = Panjang Pipa (m)

Tabel 4. 2 Koefisien Hazen – William

Nilai $C_H$	Jenis Pipa
140	Pipa sangat halus
130	Pipa halus, semen, besi tuang baru
120	Pipa baja dilas baru
110	Pipa baja dikeling baru
100	Pipa besi tuang tua
95	Pipa baja dikeling tua
60 – 80	Pipa tua

Sumber : Buku Hidraulika II

#### 4.3.5.6 Kehilangan Tenaga Sekunder Dalam Pipa

Kehilangan daya dalam pipa disebabkan oleh variasi penampang pipa, sambungan, lengkungan, dan katup. (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, Hidraulika II, 1995). Rumus kehilangan tenaga sekunder dalam pipa tertera :

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(4.44)$$

Dimana :

$K$  = Konstanta kontraksi (sudah tertentu)

$V$  = Kecepatan Aliran Air (m/det)

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>)

#### 4.3.5.7 Persamaan Pada Jaringan Perpipaan Dengan Metode Hardy-Cross (HC)

Menemukan distribusi laju aliran dalam jaringan pipa dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan Hardy-Cross. Dengan menggunakan model komputer iteratif berdasarkan persamaan dasar kontinuitas aliran, teknik Hardy Cross digunakan untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan jaringan pipa dan kehilangan energi (*head loss*). (Pane, 2021). Oleh karena itu, metode HC harus memenuhi :

1. Jumlah antara aliran masuk dan keluar pada satu node harus sama

$$\sum Q_i = q_j \text{ ..... (4.45)}$$

Dimana :

$Q_i$  = Debit aliran air pada setiap jaringan pipa  $i$  bertemu pada node  $j$ , dan

$q_j$  = Debit aliran air dari setiap node  $j$  (debit aliran air untuk konsumsi/permintaan).

2. Jumlah total kehilangan energi (*head loss*) dalam suatu loop jaringan pipa harus sama dengan nol

$$\sum K_i Q_i |Q_i| = 0 \text{ untuk semua loop ..... (4.46)}$$

#### 4.3.5.8 Aliran Perpipaan

1. Jenis - jenis aliran melalui pipa dibagi beberapa jenis, (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, Hidraulika II, 1995) antara lain :

- a. Aliran Invisid

Aliran invisid adalah aliran dimana kekentalan zat cair,  $\mu$ , dianggap nol (zat cair ideal).

- b. Aliran Viskos

Aliran viskos adalah Aliran yang memperhitungkan efek viskositas, khususnya untuk fluida aktual. Fenomena ini mengakibatkan timbulnya tegangan geser antara partikel fluida yang mengalami kecepatan berbeda.

- c. Aliran Mantap

Aliran fluida dianggap stabil apabila kuantitas fluida yang mengalir tetap konsisten dari waktu ke waktu.

d. Aliran Tak Mantap

Aliran fluida dianggap tidak stabil apabila laju aliran fluida per satuan waktu tidak konsisten.

e. Aliran Beraturan

Aliran fluida dikatakan seragam ketika kecepatan partikel fluida tetap konstan di semua bagian.

f. Aliran Tak Beraturan

Aliran fluida tidak teratur terjadi ketika kecepatan partikel fluida bervariasi di berbagai wilayah.

g. Aliran Laminar

Aliran laminar mengacu pada pergerakan partikel fluida sepanjang rute tertentu yang tidak bersilangan atau bertabrakan satu sama lain.

h. Aliran Turbulen

Aliran turbulen merujuk pada pergerakan partikel fluida di mana partikel-partikel individualnya tidak memiliki lintasan yang pasti dan jalur-jalurnya saling tumpang tindih satu dengan yang lain.

i. Aliran Berdimensi Satu

Aliran fluida dikatakan satu dimensi apabila kecepatan pada setiap lokasi dalam fluida sama dalam besaran dan arah.

j. Aliran Berdimensi Dua

Aliran fluida dianggap berdimensi dua apabila kecepatan alirannya bervariasi pada berbagai titik dan alirannya memiliki komponen kecepatan pada dua arah yang saling tegak lurus.

k. Aliran Berdimensi Tiga

Aliran fluida tergolong tiga dimensi ketika kecepatan alirannya bervariasi di berbagai titik dan alirannya menunjukkan komponen kecepatan dalam tiga arah yang saling tegak lurus.

2. Jenis - jenis garis aliran

- a. Garis lintasan adalah lintasan yang diikuti oleh partikel fluida selama interval waktu tertentu.
- b. Garis arus adalah garis hipotetis yang, pada setiap titik, mewakili arah pergerakan partikel fluida di tempat tertentu. Karakteristik aliran arus adalah sebagai berikut :
  - 1) Jarak antara garis arus paling akurat ditentukan oleh kecepatan.
  - 2) Garis arus hanya berpotongan di tempat-tempat yang berhenti dan lokasi-lokasi yang kecepatannya dibatasi.
  - 3) Garis arus akan mengalami penurunan kecepatan dan sebaliknya.
- c. Garis Lintasan (*Streak Line*), adalah lintasan partikel yang telah melewati titik referensi tertentu pada saat tertentu. Garis-garis ini juga disebut garis flamet.
- d. Garis ekuipotensial adalah garis yang selalu tegak lurus terhadap garis arus dan memiliki kecepatan potensial yang sama. Dengan menghubungkan titik-titik dengan nilai kecepatan potensial yang sama, garis ini terbentuk.

#### **4.4 PERENCANAAN TEKNIS**

##### **4.4.1 Desain PLTMH**

##### **4.4.1.1 Tinjauan Umum Tentang PLTMH**

Pembangkit listrik tenaga air dapat diklasifikasikan berdasarkan kapasitas pembangkitan dayanya. Badan Energi Severn Wye (SWEA) telah memberikan kategorisasi pembangkit listrik tenaga air, yang disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4. 3 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro

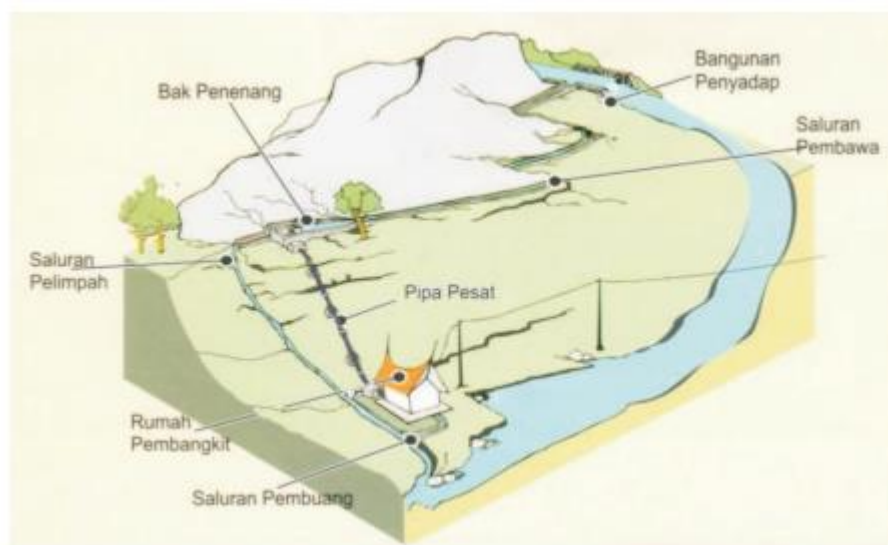
No.	JENIS	DAYA/KAPASITAS
1.	PLTA	> 5MW (5.000 Kw)
2.	PLTM	100 kW < PLTM < 5.000 kW
3.	PLTMH	< 100 kW

Sumber : (www.swea.co.uk)

Sistem mikrohidro pada dasarnya terdiri dari reservoir air berbentuk bendungan kecil. Di ujung reservoir ini dibangun pipa yang dilengkapi dengan filter untuk mencegah masuknya kotoran ke dalam pipa dan turbin. (IMIDAP, 2009). Air



dalam reservoir diarahkan ke pipa penstock, yang mengarah ke turbin. Katup yang terletak di hulu turbin digunakan untuk mengatur pasokan air ke turbin, khususnya selama operasi pemeliharaan terjadwal. Aliran air dari pipa penstock diarahkan melalui katup untuk mengendalikan jumlah air yang masuk ke turbin. Akibatnya, energi potensial air yang terletak di sudut-sudut turbin akan menyebabkan poros turbin berputar. Poros ini langsung terhubung ke generator listrik. Generator akan menghasilkan energi listrik, sementara air limbah diarahkan ke saluran pembuangan dan kemudian dikembalikan ke sungai. (IMIDAP, 2009).



Gambar 4. 3 Skema Pembangkit Listrik Mikrohidro

1. Bangunan Pengambil (*Intake*)

Bendung (*weir*) didefinisikan sebagai bangunan yang berada melintang sungai yang berfungsi untuk membelokan arah aliran air. Konstruksi bendung (*weir*) bertujuan untuk menaikkan dan mengontol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga elevasi muka air cukup untuk dialihkan ke dalam intake pembangkit mikrohidro. Konstruksi bendung dilengkapi dengan bangunan pengambilan (*intake*) yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa (*headrace channel*). Konstruksi *intake* bertujuan mengambil air dari sungai atau kolam untuk dialirkan ke saluran, bak penampung dan pipa pesat.

Kehati-hatian harus dilakukan saat merancang struktur intake untuk pembangkit listrik tenaga air skala kecil, karena biasanya menggunakan saluran

terbuka. Sangat penting untuk merencanakan dengan saksama dan mencegah aliran air yang berlebihan yang berpotensi menyebabkan kerusakan. Beberapa teknik menyarankan pengelolaan aliran air banjir tanpa bergantung pada pintu air atau mekanisme serupa. Saat merancang, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

- a. Perlu menempatkan objek tegak lurus dengan arah aliran sungai untuk mengurangi kecepatan aliran air saat terjadi banjir.
  - b. Katup penutup sangat penting sebagai pengganti katup terbuka untuk mengatur tekanan saat terjadi peningkatan muka air sungai.
  - c. Jika terjadi banjir dengan debit air melebihi volume yang diharapkan, saluran luapan di bak sedimentasi atau titik awal saluran air harus memiliki kapasitas yang cukup.
2. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Bangunan saluran pembawa air (*headrace channel*) adalah untuk mengalirkan air dari *intake* ke bak penenang dan untuk mempertahankan kestabilan debit air. Saluran air untuk sebuah pembangkit skala kecil cenderung untuk memiliki bangunan yang terbuka. Saluran pembawa untuk suatu PLTMH dapat merupakan atau memiliki tipe saluran terbuka dan saluran tertutup. Saluran pembawa air, kecuali dan, harus mampu menampung debit air 10% lebih besar dari debit rancangan. Hal ini ditujukan agar pada saat operasi maksimal muka air di tidak turun dari ketinggian dan terhindar dari pelimpasan apabila terjadi kelebihan debit.

Ketentuan perencanaan saluran adalah sebagai berikut :

- a. Tidak disarankan menggunakan saluran alami dari tanah, karena aliran yang fluktuatif akan berakibat terhadap dan sedimentasi.
- b. Acian dinding saluran pembawa menggunakan adukan semen dengan perbandingan minimum campuran 1:3 (1 semen dan 3 pasir).
- c. Penguatan tanah perlu dilakukan disesuaikan dengan kebutuhan lokasi.
- d. Pipa bisa dipergunakan untuk saluran pembawa. Jika dipergunakan pipa (PVC) atau (HDPE) maka pipa harus dipendam dengan kedalaman minimum 60 cm.

- e. Jembatan pipa atau talang dapat dipakai pada daerah yang rawan longsor.
  - f. Apabila saluran pembawa sangat panjang dan melalui tebing yang terjal, saluran pembuang air harus diarahkan ke saluran alami sehingga aman bagi kekuatan tanah.
  - g. Apabila diperlukan, pada saluran pembawa yang menggunakan pipa dipasangkan pipa pelepas udara di lokasi-lokasi tikungan tajam.
  - h. Tinggi muka air minimal berjarak 25 cm dari bibir saluran pada saat beban maksimal di saluran pembawa tersebut
3. Bak Pengendap (Settling Basin)
- Fungsi dan karakteristik bangunan ini adalah sebagai berikut :
- a. Bangunan yang menghubungkan intake dengan bak pengendap sehingga panjangnya harus dibatasi
  - b. Pengatur aliran air dari saluran penyalur sehingga harus mencegah terjadinya aliran turbulen serta mengurangi kecepatan aliran air masuk ke bak pengendap sehingga perlu bagian yang melebar
  - c. Bangunan untuk mengendapkan sedimen dimana untuk desainnya perlu dihitung dengan formulasi hubungan panjang bak, kedalaman bak antara kecepatan pengendapan, dan kecepatan aliran.
  - d. Tempat penimbun sedimen, sehingga harus didesain mudah dalam pembuangan sedimen.
  - e. Sebagai bangunan pelimpah (*spillway*) yang mengalirkan aliran masuk ke bagian bawah dimana mengalir dari intake

Desain bangunan ini mengikuti ketentuan sebagai berikut :

- a. Bak pengendap harus mampu mengendapkan material sedimen seperti tanah, pasir dan bebatuan.
- b. Aliran air harus tidak menimbulkan olakan di dalam bak pengendap sehingga material sedimen bisa dengan mudah diendapkan.
- c. Bak pengendap harus dibuat dari konstruksi yang kuat menahan beban hidrostatis seperti beton bertulang, pasangan batu dengan campuran 1:2 (1 semen dan 2 pasir) atau komposit.

- d. Sistem pembuangan sedimen harus tersedia dan dapat berbentuk pintu air atau bangunan sejenis lainnya. Jika laju aliran yang digunakan oleh pembangkit listrik bebas dari material sedimen, maka pemasangan tangki pengendapan tidak diperlukan.
- e. Jika kualitas air untuk pembangkit listrik dianggap berkualitas rendah dan mengandung sejumlah besar sedimen, maka perlu untuk memasang tangki pengendapan setelah pembangunan pembangkit.
- f. Kemiringan lantai tangki pengendapan harus minimal 1:20 untuk aliran lateral atau 1:10 untuk aliran masuk.
- g. Bentuk tangki harus dirancang sedemikian rupa sehingga memungkinkan lumpur terkumpul di ujung tangki dan bergerak menuju sistem pembuangan atau pintu pembuangan.
- h. Pintu pembuangan harus memiliki kapasitas yang cukup untuk memungkinkan air di tangki pengendapan dibuang sambil tetap terbuka penuh untuk masuknya air pembuangan.
- i. Spillway yang dimaksud yang terhubung ke tangki pengendapan harus diposisikan di sepanjang tangki, berdekatan dengan sungai, untuk memfasilitasi pembuangan luapan langsung ke sungai.

#### 4. Bak Penenang (*forebay*)

Tujuan bangunan bak penenang (*forebay*) adalah untuk menyediakan ruang bagi air agar tenang dan untuk pembuangan sedimen terakhir. Berfungsi sebagai filter terakhir setelah bak pengendapan, yang menyaring sisa-sisa benda yang masih ada di saluran air. Forebay berfungsi sebagai titik awal penstock, mengatur aliran minimum untuk mengantisipasi laju aliran tinggi di turbin. Mencegah penurunan permukaan air yang berlebihan dan aliran balik di saluran. Terkait fungsi ini, desain harus mempertimbangkan banyak faktor :

- a. Pemeliharaan tangki penenang sangat penting untuk mengendalikan laju aliran dan mengelola pembuangan limbah.
- b. Saat merencanakan kapasitas tangki penenang, penting untuk mempertimbangkan dua jenis skenario: beban terkendali dan beban meningkat. Desain harus memperhitungkan kedalaman air dan tingginya

dari pipa penstock untuk mencegah aliran turbulen. Biasanya, diameter pipa penstock digunakan sebagai referensi.

- c. Kesesuaian ruang filter dengan jenis, model, dan spesifikasi turbin tertentu
- d. Dipasang dengan pipa ventilasi

Mengenai peran dan atribut struktur ini, rencananya adalah sebagai berikut :

- 1) Bangunan harus memiliki konstruksi yang kedap air dan tahan bocor, serta harus dirancang agar terhubung dengan saluran pembawa.
- 2) Struktur yang menyerupai tangki dapat dibangun menggunakan pasangan batu atau beton bertulang. Ketebalan beton minimal 25 cm.
- 3) Bangunan harus memiliki perlengkapan yang diperlukan, meliputi:
- 4) Tempat sampah yang lebih baik untuk pengoperasian yang lebih lancar.
- 5) Bangunan dengan kelebihan kapasitas sebesar 120% dibandingkan dengan laju pembuangan yang dimaksudkan
- 6) Sebaiknya memiliki saluran drainase terpisah untuk pembuangan lumpur, terpisah dari saluran air utama.
- 7) Saluran drainase air dilengkapi dengan mekanisme yang memecah energi air.
- 8) Lebar bangunan harus sama atau lebih besar dari panjangnya.
- 9) Pipa penstock harus terendam seluruhnya dalam air, dengan kedalaman minimal dua kali diameter pipa. Selain itu, jarak antara dasar bangunan forebay dan pipa minimal 30 cm.
- 10) Sedimen dicegah secara strategis agar tidak masuk ke pipa penstock.
- 11) Perlu disediakan tangga untuk keperluan pembersihan tangki bangunan forebay.

5. pipa pesat (*penstock tunnel*)

Air mengalir menuju turbin yang ditempatkan di rumah pembangkit melalui saluran penstock, saluran tertutup. Turbin dan perangkat mekanis lainnya akan dihubungkan ke saluran ini. Jenis pipa pesat dipengaruhi oleh keadaan topografi dan pilihan sistem PLTMH. Biasanya, saluran harus dibangun dengan tepat berdasarkan elevasi (head) sistem PLTMH. (IMIDAP, 2009)

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam desain pipa pesat adalah :

a. Bahan Pipa Pesat

Berbagai macam material kini digunakan, masing-masing dengan serangkaian karakteristik yang diinginkan. Material-material ini harus dapat bekerja, memiliki toleransi tekanan, dan tahan terhadap kebocoran agar dapat dipertimbangkan. Anda dapat menemukan analisis komprehensif mengenai berbagai material yang digunakan untuk pipa penstock pada Tabel 4.4 dan 4.5.

b. Diameter dan Tebal Pipa Pesat

Kecukupan diameter ditentukan dengan menggunakan teknik formulasi yang mempertimbangkan desain aliran dan hilangnya kemiringan pada pipa penstock. Setelah kisaran diameter yang sesuai ditentukan, pemilihan material yang tepat mempertimbangkan faktor-faktor seperti kemampuan kerja dan kemampuan beradaptasi terhadap tekanan.

c. Sangat penting untuk mencegah korosi pada pipa penstock karena masalah keselamatan.

d. *Pipa penstock* yang terbuat dari material HDPE atau PVC harus dikubur di bawah tanah atau dilindungi dari sinar matahari langsung dengan dibungkus.

e. *Pipa penstock* harus dibuat untuk memastikan bahwa kehilangan tekanan di dalam pipa tidak melebihi 10% dari total head. Pipa penstock dapat memiliki panjang hingga lima kali tinggi head, namun tetap dapat mentolerir kehilangan tekanan maksimum sebesar 15%.

Tabel 4. 4 Perbandingan Bahan Pipa Pesat

Material	Gesekan Dinding Pipa	Berat	Ketahanan Karat	Biaya Pipa/Konstruksi	Sambungan	Ketahanan Tekanan
				★★★★	★★★★	★ ★
Mild Steel	★★★★	★★★★	★★★★	★	★	★★★★

	★ ★	★ ★	★ ★			★ ★
HDPE <sup>1)</sup>	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★★★★
PVC <sup>2)</sup>	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★	★	★★★★
Beton	★	★	★ ★	★★★★	★★★★	★

Catatan : 1) HDPE = *High Density Polyethylene*, Pipa *Polyethylene* dengan kelenturan tinggi

2) uPVC = *Unplastified Polyvinyl Chloride*, pipa PVC tanpa kandungan plastik

★ = Penilaian paling rendah

★★★★★ = Penilaian paling tinggi

Sumber : Fraenkel, Peter et.al 1991 dalam CANMET *Energy Technology Center, Natural Resource Canada (NRCan)*,2004

Tabel 4. 5 Perbandingan Bahan Pipa Pesat Resin dan Baja

Bahan Pipa	Penilaian	Tipe		
		Pipa Hard Vinyl Chloride	Pipa Howell	Pipa FRP
	Karakteristik	Ø Bahan populer untuk perpipaan untuk jaringan suplai air Ø Efektif untuk jaringan dengan pipa dengan debit kecil Ø Banyak jenis pipa siap pakai Ø Resistensi lemah dan koefisien linier besar	Ø Resistensi terhadap eksternal Ø Siap pakai terhadap tekanan internal Ø Relatif mudah pelaksanaan konstruksi/pe masangan karena mudah dilas Ø Pemasangan dengan cara dipendam dalam tanah	Ø Pipa plastic diperkuat dengan fiberglass
Pipa Resin	Diameter Maksimum (mm)	Ø Pipa Tebal Ø 300 Ø Pipa tipis Ø 800	Ø 2.000	Ø 3.000

	Tekanan Ijin (kgf/cm <sup>2</sup> ) <b>Hydraulics Property</b>	Ø Pipa tebal 10 Ø Pipa tipis 6 0,009 – 0,010	2,0 – 3,0 0,010 - 0,011	Class A : 22,5 0,010 – 0,012
	Kemampuan Kerja	Ø Desan dan operasi mudah Ø Beban ringan Ø Berbagai macam variasi ukuran	Ø Kemampuan operasi bagus Ø Bobot ringan	Ø Kemampuan operasi bagus Ø Tidak perlu pengelasan Ø Sambungan menggunakan cincin karet Ø Pipa baja digunakan pada bagian khusus
	Tingkat Kebocoran	Kerapatan bagus memungkinkan sebagai pengikat sambungan	Tidak ada masalah kebocoran pada sambungan	Tidak ada masalah kebocoran pada sambungan
Pipa Baja	Tingkat Kebocoran	Kerapatan bagus memungkinkan sebagai pengikat sambungan	Tidak ada masalah kebocoran pada sambungan	Tidak ada masalah kebocoran pada sambungan
	Diameter Maksimum (mm)	Ø 3.000	Ø 2.600	Ø 2.500
	Tekanan Ijin (kgf/cm <sup>2</sup> )	133	~ 40	15
	<b>Hydraulics Property</b>	0,010 – 0,014	0,011 – 0,015	Ø
	Kemampuan Kerja	Kurang bagus dibandingkan Pipa FRP	Kurang bagus dibandingkan Pipa FRP	Kurang bagus dibandingkan Pipa FRP
	Tingkat Kebocoran	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah

- f. Desain pipa penstock harus memperhitungkan tekanan maksimum yang akan dialaminya, yang meliputi perubahan mendadak, tekanan statis, dan tekanan yang dihasilkan saat baling-baling pemandu ditutup. Spesifikasi tekanan harus berlaku secara universal untuk semua bagian pipa penstock.
- g. Tata bahasa. Palu air dapat menyebabkan tekanan terbentuk di dalam pipa penstock, jadi penting untuk memiliki pipa pernafasan di bagian paling atas. Dalam kebanyakan kasus, diameter tabung pernafasan akan 1% hingga 2% lebih kecil dari diameter tabung penstock. Pada titik-titik di mana arah aliran berubah secara signifikan, katup udara dipasang, seperti tikungan, jika



dianggap perlu. Spesifikasi katup udara dikalibrasi agar sesuai dengan tingkat tekanan yang diantisipasi di lokasi tersebut.

- h. Masalah yang terkait dengan fabrikasi dan konstruksi pipa penstock dapat diamati di bagian terkait yang dikhususkan untuk fabrikasi dan konstruksi.

#### 6. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Bangunan pembangkit listrik berfungsi sebagai struktur pelindung bagi peralatan listrik dan mekanik, termasuk turbin, generator, dan panel kontrol, serta melindunginya dari gangguan apa pun. Gangguan yang dimaksud adalah cuaca buruk, akses tanpa izin, dan pencurian peralatan. (IMIDAP, 2009)

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan ketika memilih lokasi dan membangun fasilitas listrik ini adalah :

- a. Lokasi pembangunan harus memiliki struktur tanah yang sangat stabil; tidak boleh ada lereng yang curam; dan, idealnya, lokasi tersebut harus berada di tepi sungai yang rendah dan datar sehingga aliran air limbah dapat lancar.
- b. Pastikan ada akses jalan yang cukup untuk mengangkut peralatan mekanik dan listrik untuk pemasangan dan perbaikan.
- c. Tempat yang luas, datar, dan kering yang ideal untuk bekerja pada mesin dan peralatan lainnya.
- d. Lantai rumah pembangkit listrik harus berada di atas permukaan air yang terlihat selama banjir besar terakhir.
- e. Jendela di rumah pembangkit listrik harus dapat membiarkan cahaya dan udara masuk, tetapi juga perlu ada kasa untuk mencegah serangga masuk.
- f. Ada cukup ruang di area yang dibangun untuk menampung komponen servis dan/atau penggantian mesin mekanik dan listrik.
- g. Tidak perlu khawatir tentang pemasangan mesin berat karena fondasinya benar-benar kokoh.

Desain rumah pembangkit mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Lantai rumah pembangkit, tempat peralatan PLTMH berada, harus mengutamakan kenyamanan dalam pengoperasian, pengelolaan, pemeliharaan, serta proses pembongkaran dan pemasangan peralatan.
- 2) Pastikan pencahayaan dan sirkulasi udara cukup pada siang hari.

- 3) Pastikan kenyamanan operator saat melakukan kontrol manual atau tugas perekaman di dalamnya.
7. Saluran Pembuang (*tail race*)  
Saluran pembuang (*tail race*) Air dapat lebih mudah dibuang dari pembangkit listrik dan digunakan untuk mengoperasikan turbin melalui kanal ini. Sungai yang mengalir deras dan sumber air yang kuat terhubung ke saluran air ini. Dalam menentukan posisi jalur saluran drainase, berbagai faktor penting harus diperhatikan :
  - a. Prediksi kenaikan muka air di gardu induk saat terjadi banjir besar
  - b. Pencegahan terjadinya banjir di bantaran sungai dan lahan lain di sekitar gardu induk
  - c. Variasi dasar sungai di wilayah saluran drainase
  - d. Saluran drainase harus searah dengan arus sungai.

#### **4.4.2 Desain Pompa dan Rumah Pompa**

##### **4.4.2.1 Tinjauan Umum Tentang Pompa**

###### **1. Pengertian Pompa Air**

Pompa adalah perangkat mekanis yang memindahkan cairan (fluida) dari satu lokasi ke lokasi lain dengan mendorong cairan secara mekanis melalui pipa atau mengubah energi mekanis menjadi tekanan atau energi kinetik cairan. Selain itu, pompa juga dapat menarik cairan (fluida) dari satu lokasi dan mengangkutnya ke tujuan yang diinginkan. (Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum, 2013). Sebelum memilih pompa untuk aplikasi tertentu, penting untuk menentukan kapasitas aliran dan head yang diperlukan untuk memindahkan cairan yang akan didorong secara efektif. Untuk mencegah kavitasi pada pompa, penting untuk menentukan tekanan minimum pada saluran masuk pompa dalam instalasi. Rotasi pompa dapat ditentukan berdasarkan tekanan hisap. Kapasitas aliran, head, dan rotasi pompa dapat dipastikan.

###### **2. Komponen Sistem Pompa**

Komponen-komponen utama sistem pompa antaralain :

- a. Pompa banjir
- b. Ruang penampung (wet well)

- c. Rumah pompa (termasuk didalamnya: ventilasi, AC, peralatan tangga, *crane* dan *hoist*, peralatan keselamatan kerja/ K3, peralatan keamanan dan perlengkapan pemadam kebakaran, peralatan penangkal petir, pertanahan (*grounding*))
- d. Pipa penghisap (*suction pipe*)
- e. Pompa lumpur/ sedimen/ sampah (*sump pump*)
- f. Pipa buang (*discharge pipe*), digunakan untuk membawa fluida
- g. Kolam penampung (*storage pond*)
- h. Mesin penggerak (motor listrik, mesin bakar)
- i. Peralatan *control panel* pompa
- j. Sumber daya (PLN atau genset)
- k. Sarana pendukung lainnya seperti diantaranya pintu air, *trash rack* dan pengangkat sampah (*rake*), pos keamanan, akses jalan, instalasi penerangan dll).

### 3. Perencanaan Pompa

- a. Lingkup Analisa/Perhitungan Perencanaan stasiun Pompa  
Perencanaan sistem pompa memerlukan beberapa perhitungan/analisis dengan tahapannya, sebagai berikut :
  - 1) Perhitungan/analisis hidrologi, meliputi : pengujian data hujan, analisa curah hujan rencana, analisa debit banjir rencana, analisa elevasi muka air banjir (elevasi muka air banjir/HWL = *High Water Level* dan elevasi muka air minimum/LWL = *Low Water Level*), analisa pengaruh pasang – surut untuk Pantai/laut sebagai badan air penerima (*outlet*)
  - 2) Perhitungan perencanaan pompa :
    - a) Perhitungan tinggi energi hidrolik (*head*) pemompaan.
    - b) Perhitungan/analisa daya air dan daya pompa, sesuai besaran debit ( $Q, m^3/dt$ ) dan tinggi pemompaan/*head* (H,m).
    - c) Penentuan kecepatan spesifik pompa (Ns).
    - d) Perhitungan putaran pompa (n), dirumuskan dengan  $N_s = n \times (Q^{1/2}/H^{3/4})$ .
    - e) Perhitungan NPSH (*Net Positif Suction Head*) yang mana NPSH yang tersedia > NPSH yang diperlukan.

- f) Perhitungan daya pompa.
- 3) Perencanaan bangunan sipil
- 4) Pemilihan dan penentuan penggerak pompa
- 5) Pemilihan dan perencanaan alat pengangkat (*Crane*)
- 6) Perencanaan pekerjaan kelistrikan (elektrikal)
- 7) Menyusun spesifikasi peralatan utama
- 8) Menyusun pedoman/manual operasional dan pemeliharaan
- b. Metode dan Prosedur

Prosedur dan langkah-langkah perencanaan stasiun pompa diuraikan secara berurutan sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum, 2013):

- 1) Perhitungan/analisis debit banjir/debit saluran dan debit yang dipompa  
Debit banjir saluran drainase perkotaan dianalisa/diperhitungkan dengan metode hidrograf, sehingga dapat ditentukan debit puncak dan debit masuk (*inflow*) dalam interval waktu ke waktu. Apabila menggunakan tampungan detensi, maka perlu dilakukan analisa retensi untuk menentukan volume retensi dan debit pemompaan.
- 2) Perhitungan perencanaan pompa
  - a) Perhitungan tinggi energi hidrolis (*head*) pompa, menggunakan kebutuhan total tinggi tekanan (*head*) pompa dinamik ( $TDH = Total Dynamic Head$ ), yang merupakan kebutuhan energi total dari *intake* ke badan air penerima, terdiri dari faktor-faktor kehilangan tinggi tekanan yaitu :
    - Tinggi tekanan statik (*static head*,  $H_s$ )
    - Kehilangan tinggi akibat gesekan (*friction head*,  $H_f$ )
    - Kehilangan tinggi dari pengaruh kecepatan aliran (*velocity head*,  $H_v$ )
    - Kehilangan tinggi akibat beda tekanan air (*pressure head*,  $H_p$ )

Dirumuskan sebagai berikut :

$$TDH = H_s + H_f + H_v + H_p \dots\dots\dots(4.47)$$

$$H_f = h_b + h_f + h_p + h_e \dots\dots\dots(4.48)$$

$$H_f = \lambda \cdot L/D \cdot V^2/2g \dots\dots\dots(4.49)$$

Dimana :

- hb = Kehilangan tinggi energi pada belokan pipa, m
- hf = Kehilangan tinggi energi akibat gesekan dinding pipa  
(*major losses*), m
- hp = kehilangan tinggi energi di sambungan pipa, m
- he = kehilangan tinggi energi di keluaran (*outlet*) pipa, m



Gambar 4. 4 Ilustrasi perhitungan TDH (Total Head Dynamic)

b) Perhitungan atau analisa daya air dan daya pompa, sesuai besaran debit ( $Q, m^3/dt$ ) dan tinggi pemompaan / *head* (H,m)

- Perhitungan daya air

$$H_p = \frac{1}{60 \times 10^3} \times g \times Q_t \times H \times \rho \dots\dots\dots(4.50)$$

Dimana :

- Hp : daya air (kW)
- g : percepatan gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>)
- Qt : kapasitas air (m<sup>3</sup>/det)
- H<sub>tot</sub> : tinggi total pompa (m)
- ρ : massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

- Perhitungan daya pompa

$$BHP = \frac{H_p}{\eta_p} \dots\dots\dots(4.51)$$

Dimana :

- Hp : daya air (kW)

$\eta_p$  : efisiensi pompa

- Perhitungan kecepatan spesifik

Kecepatan spesifik merupakan faktor penting dalam menentukan jenis pompa yang tepat untuk digunakan. Pompa banjir sering kali memiliki kecepatan spesifik yang melebihi 600. Kecepatan spesifik, yang umumnya dikenal sebagai  $n_s$  atau NSI 7518:2009, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$n_s = \eta \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots(4.52)$$

Dimana :

- $n_s$  : kecepatan spesifik
- $\eta$  : kecepatan impeller (rad/det) =  $2\pi n$
- $Q_0$  : debit pada titik efisiensi terbaik ( $m^3/det$ )
- $H_0$  : tinggi angkat pompa pada titik efisiensi terbaik (m)

Berdasarkan perhitungan tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa pompa dengan head total tinggi dan laju aliran sedang umumnya menunjukkan nilai  $n_s$  rendah. Tabel di bawah ini menampilkan rentang kecepatan spesifik ( $n_s$ ) untuk setiap jenis pompa :

Tabel 4. 6 Range dari  $n_s$  untuk setiap tipe pompa

Tipe Pompa	$n_s$
Pompa Turbin/Difuser (Sentrifugal)	90 – 270
Pompa Volut (Sentrifugal)	90 – 700
Pompa Aliran Campuran	600 – 1000
Pompa Aksial	1300 – 1900

Sumber : Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, Sularso dan Haruo Tahara, PT. Pertja, 2000

- Perhitungan tinggi energi hisap (*suction head*) pompa

Perhitungan ketinggian (*suction head*) dari pompa digunakan persamaan berikut :

$$Z_s = \eta \frac{P_a - P_v}{\gamma_w - \sigma H - h_{ls}} \dots\dots\dots(4.53)$$

Dimana :

- $P_a$  : kecepatan atmosfer ( $N/m^2$ )
- $P_v$  : tekanan uap jenuh ( $N/m^2$ )
- $\gamma_w$  : berat jenis zat cair ( $N/m^3$ )
- $h_{ls}$  : kerugian head di sisi isap pompa (m)
- $\sigma$  : faktor kavitasi ( $(\frac{n_s}{560})^{4/3}$ )

- Perhitungan daya penggerak pompa

Daya yang diberikan pada poros pompa dihitung dengan persamaan :

$$P_s = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{\eta} \dots\dots\dots(4.54)$$

Dimana :

- $P_s$  : daya yang diberikan pada poros pompa (Watt)
- $\eta$  : efisiensi pompa yang diharapkan
- $g$  : percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/det}^2$ )
- $Q$  : kapasitas pompa ( $m^3/\text{det}$ )
- $H$  : tinggi energi total pemompaan/ *head* (m)
- $\rho$  : massa jenis air ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

- Perhitungan kebutuhan suplai daya penggerak pompa

Tidak disarankan untuk menjalankan penggerak pompa secara terus-menerus pada kapasitas penuh, tetapi pada beban 85 hingga 90%. Berikut ini adalah rumus untuk menentukan daya penggerak pompa :

$$P_d = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{\eta \times \eta_d \times \eta_{red}} \times \frac{(100+ac) \times fr}{100} \dots\dots\dots(4.55)$$

Dimana :

- $P_d$  : suplai daya yang dibutuhkan (Watt)

- $\eta$  : efisiensi pompa yang diharapkan (rad/det) =  $2\pi n$   
 $\eta_d$  : efisiensi penggerak pompa (m<sup>3</sup>/det)  
 $\eta_{red}$  : efisiensi reduksi (m)  
 $ac$  : persentase reduksi daya akibat ketinggian dan iklim  
 $fr$  : faktor/koefisien untuk mengurangi penggerak pompa  
bekerja maksimum terus-menerus = 1,10 s/d 1,20.

#### 4.4.2.2 Tinjauan Umum Tentang Rumah Pompa

Generator, panel, dan peralatan perawatan semuanya ditempatkan di rumah pompa, yang merupakan bangunan tambahan. Rumah pompa drainase dibangun terutama untuk menampung pompa itu sendiri dan semua komponen terkaitnya, seperti pipa pembuangan, pipa kolom, katup, flens pompa, roda gigi reduksi, mesin penggerak, dll. (Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum, 2013)

Dalam kebanyakan kasus, derek tersedia untuk digunakan selama pemasangan dan perbaikan. Bangunan rumah pompa sering kali memiliki bentuk dan jenis berikut :

1. Satu Lantai

Peralatan pompa drainase (tipe *centrifugal*, *submersible axial/mix* dari penggerak terpasang satu lantai)

2. Dua Lantai

Penggerak sering kali terletak di lantai dua, sedangkan peralatan pompa drainase biasanya dipasang di lantai satu. Ketika tipe poros aksial atau campuran vertikal lebih besar dari 5 m<sup>3</sup>/detik, pompa berkapasitas tinggi biasanya digunakan.

3. Out door

Rumah pompa adalah bangunan yang dirancang untuk menampung pompa berkapasitas besar, biasanya dengan atap terbuka dan penempatan pompa drainase di luar *type submersible axial flow*.

Perencanaan bangunan sipil rumah pompa drainase sesuai tipe/jenis :

1. Perhitungan tadah isap dan tadah keluar
2. Menentukan posisi pompa, pipa isap dan pipa buang dan *guide ribe*



3. Menentukan *slope* (kemiringan saluran masuk ruang pompa)
4. Menentukan elevasi dasar rumah pompa dll;

Berikut data-data yang digunakan untuk operasional rumah pompa, diantaranya :

1. Data hidrologi

Data hidrologi dibutuhkan sebagai acuan untuk perencanaan (*design*) dan operasional rumah pompa :

- a. Data debit air yang masuk kolam penampungan
- b. Data elevasi air (tinggi muka air)

2. Spesifikasi Peralatan

- a. Kapasitas Pompa, kapasitas penggerak mula/genset dll.
- b. Perencanaan (*design*) untuk menentukan kapasitas pompa yang terpasang dan ketinggian air yang dipompa.

3. Data Personil

- a. Pengetahuan (*knowledge*)
- b. Kemampuan (*skill*)
- c. Sikap (*attitude*)

#### 4.4.3 Desain Jaringan Pipa Transmisi

Tujuan dari sistem perpipaan kotak roda gigi ini adalah untuk mengangkut air dari sumber alami, seperti mata air, ke bangunan pengolahan, dan untuk mengangkut air yang telah diolah ke reservoir utama. Transmisi air bersih dapat dilakukan melalui berbagai metode, yang ditentukan oleh karakteristik topografi yang menghubungkan sumber air ke reservoir utama. Pilihan sistem perpipaan bergantung pada fitur dan lokasi geografis, dan dapat dilakukan dengan memanfaatkan gravitasi, pemompaan, atau campuran keduanya. (Rezky Ardillah, 2017)

Pastikan untuk mengamankan jangkar pipa di semua tikungan pada pemasangan pipa kotak roda gigi, baik yang horizontal maupun vertikal. Pengencang ini penting untuk menahan tekanan di dalam pipa dan energi kinetik dari aliran air. Kerusakan pipa atau kebocoran aliran air yang tinggi dapat terjadi akibat tidak memasang jangkar ini. Untuk mengendalikan water hammer, yang terjadi ketika pipa kotak roda gigi tiba-tiba tertutup dan kecepatan aliran berubah

secara tiba-tiba, sistem kotak roda gigi menggunakan suatu metode. (Menteri Pekerjaan Umum , 2007).

Perlengkapan penting dan pokok dalam sistem transmisi air baku antara lain :

1. Katup pelepas udara diposisikan pada titik tertentu di pipa kotak roda gigi untuk membuang udara yang terkumpul yang mungkin muncul di dalam pipa.
2. Katup pelepas tekanan dirancang untuk mengurangi atau menghilangkan tekanan berlebih yang mungkin muncul di dalam pipa kotak roda gigi.
3. Katup pembersih adalah perangkat yang biasanya diposisikan di titik terendah setiap bagian pipa kotak roda gigi. Tujuannya adalah untuk membuang lumpur atau pasir yang terkumpul dari pipa.
4. Katup ventilasi udara harus dipasang di lokasi tertentu untuk melindungi pipa dari potensi kerusakan jika terjadi tekanan negatif atau kondisi vakum udara.

Tabel 4. 7 Kriteria Pipa Transmisi

No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	Debit Perencanaan	Q Max	Kebutuhan air hari maksimum $Q \text{ Max} = F \text{ Max} \times Q \text{ rata-rata}$
2	Faktor Hari Maksimum	F.Max	1.10 – 1,50
3	Jenis Saluran	-	Pipa atau saluran terbuka*
Kecepatan aliran air dalam pipa			
4	a) Kecepatan Minimum	V min	0.3 - 0.6 m/det
	b) Kecepatan Maksimum		
	- Pipa PVC atau ACP	V . max	3,0 - 4.5 m/det
	- Pipa baja atau DCIP	V . max	6,0 m/det
Tekanan air dalam pipa			
5	a) Tekanan Minimum	h min	1 atm.
	b) Tekanan Maksimum		
	- Pipa PVC atau ACP	h max	6 - 8 atm
	- Pipa baja atau DCIP	h max	10 atm
	- Pipa PE 100	h max	12.4 MPa
	- Pipa PE 80	h max	9.0 MPa
Kecepatan saluran terbuka			
6	a) kecepatan minimum	V min	0,6 m/det
	b) kecepatan maksimum	V maks	1,5 m/det

7	Saluran terbuka	S	(0,5 – 1) 0/00
8	Tinggi bebas saluran terbuka	Hw	15 cm (minimum)
9	Kemiringan tebing terhadap dasar saluran	-	45 <sup>0</sup> (untuk bentuk trapesium)

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No: 18/PRT/M/2007

#### 4.4.3.1 Pipa Transmisi

##### 1. Jalur Pipa

Perencanaan jaringan pipa transmisi harus mematuhi kriteria teknis yang ditentukan :

- a. Pipa yang paling ringkas
- b. Memilih rute yang meminimalkan pembangunan yang menantang dan mahal
- c. Pipa harus memiliki ketinggian hidraulik minimal 5 meter di atasnya untuk memastikan katup udara berfungsi dengan baik.
- d. Meminimalkan variasi elevasi untuk memberikan keseragaman dalam kelas pipa.

##### 2. Dimensi Pipa

Penentuan dimensi pipa harus memenuhi ketentuan teknis sebagai berikut :

- a. Pipa harus dirancang untuk menampung volume pembuangan harian tertinggi.
- b. Penurunan tekanan dalam pipa tidak melebihi 30% dari total tekanan statis (static head) dalam sistem kotak roda gigi dengan pemompaan. Kehilangan tekanan maksimum untuk sistem gravitasi adalah 5 m/1000 m, sebagaimana ditentukan dalam spesifikasi teknis pipa.

##### 3. Bahan Pipa

Pemilihan bahan pipa harus memenuhi persyaratan teknis dalam SNI, antara lain :

- a. Spesifikasi pipa PVC mengikuti standar SNI 03-6419-2000 tentang Spesifikasi Pipa PVC Bertekanan Berdiameter 110-315 mm untuk Air

Bersih dan SK SNI S-20-1990-2003 tentang Spesifikasi Pipa PVC untuk Air Minum

- b. SNI 06-4829-2005 tentang Pipa Polietilena untuk Air Minum
- c. Standar BS 1387-67 untuk Pipa Baja Kelas Medium
- d. Fabrikasi pipa baja harus sesuai dengan AWWA C 200 atau SNI 07-0822-1989 atau SII 2527-90 atau JIS G 3452 dan JIS G 3457
- e. Standar untuk pipa *ductile* menggunakan standar dari ISO 2531 dan BS 4772

Standar nasional atau internasional lain yang relevan dapat digunakan untuk persyaratan material pipa.

4. Data yang diperlukan

Desain rekayasa untuk pipa dan peralatan yang digunakan untuk mengangkut air minum sering kali menyertakan kumpulan data berikut :

- a. Hasil survei dan pengkajian potensi dan kebutuhan air minum
- b. Hasil survei dan pengkajian topografi berupa :
  - 1) Peta yang menggambarkan jalur pipa transmisi yang direncanakan, dengan skala 1:1000.
  - 2) Bagian memanjang dari rute pipa transmisi yang diusulkan digambarkan pada skala vertikal 1:500 dan skala horizontal 1:2500.
  - 3) Representasi penampang rute pipa transmisi yang diusulkan pada skala 1:100
  - 4) Peta yang menggambarkan penempatan struktur penyeberangan yang diusulkan, berskala 1:100 dengan interval vertikal 1 meter.

#### 4.4.4 Desain Struktur Menara Air

Konstruksi menara atau menara adalah bangunan yang terdiri dari beberapa rangka terbuat dari bahan beton atau baja dan disusun dalam desain tertentu. Strukturnya disebut menara karena sangat tinggi, bahkan pemasangannya sering di ketinggian. Menara air adalah wadah penyimpanan air di ketinggian yang dirancang harus mengandung cukup air untuk menciptakan tekanan dalam sistem distribusi air. Menara air berfungsi sebagai sarana penyimpanan darurat bagi petugas pemadam kebakaran. Menara air mampu menyediakan air selama pemadaman

listrik karena mengandalkan gravitasi. Namun, menara air tidak dapat menyediakan air untuk jangka waktu lama tanpa listrik karena pompa biasanya diperlukan untuk mengisi menara. Terdapat 3 bagian sistem kerja menara air yakni stasiun pompa, *reservoir*, dan pengguna air (Matani et. al. 2013).

Menara air dapat dibangun dari beton atau baja untuk berbagai bentuk dan ukuran. Silinder dengan dasar melengkung atau datar adalah bentuk terbaik untuk struktur menara beton. Tangki baja dapat dibangun berbentuk bola atau kubah. Umumnya, pemilihan bentuk dilakukan dengan memperhatikan aspek fungsi, konstruksi, biaya pemeliharaan, dan estetika.

Dalam membangun *water tower*, perlu direncanakan konstruksi yang akan digunakan pada lokasi yang sesuai. Diperlukan perhitungan kebutuhan air yang akan ditampung, kekuatan konstruksi, serta ketinggian dari *water tower* agar tidak terjadi hambatan dalam pengaliran air. Selain itu, perlu dilakukan pengawasan atau pendampingan agar tidak terjadi kesalahan dalam pelaksanaan pembuatan water tower (Diah Rahmawati, 2021).

#### 4.4.4.1. Persyaratan Struktur Bangunan

Peraturan berikut, antara lain, memastikan bahwa semua rencana bangunan mematuhi standar dan persyaratan Indonesia. (PT. Indra Karya, 2016) :

1. Struktur Atap
  - a. Umum
    - 1) Perhitungan awal untuk atap harus mematuhi standar ilmiah yang tepat.
    - 2) Agar atap kedap air, kemiringannya harus sesuai dengan bahan penutup yang dipilih.
  - b. Struktur Rangka Atap Beton Bertulang
    - 1) Bahan dan kekuatan harus memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI.
2. Struktur Lantai
  - a. Struktur lantai beton
    - 1) Lapisan pasir setebal 5 cm harus diletakkan di bawah lantai beton yang akan dipasang langsung di tanah. Untuk lantai kerja, juga harus digunakan tiang pancang beton masif setebal 5 cm.

- 2) Kecuali dinyatakan lain dalam perhitungan struktur, pelat lantai beton bertulang yang tebalnya lebih dari 10 cm dan bentang  $\frac{1}{2}$  dari luas balok harus memiliki tulangan ganda.
  - 3) SNI yang diperlukan menentukan bahan, tegangan maksimum, dan persyaratan lendutan.
3. Struktur Kolom
- a. Struktur kolom praktis dan balok pasangan
    - 1) Satu set empat besi beton 8 mm dengan jarak antar sengkang maksimum dua puluh sentimeter merupakan persyaratan minimum untuk tulangan kolom fungsional.
    - 2) Campuran satu bagian semen dengan tiga bagian pasir, yang dikenal sebagai 1 PC: 3 PS, harus setidaknya sama kuatnya dengan mortar pasangan bata, jika tidak lebih kuat.
    - 3) Kekuatan dan kualitas material yang digunakan harus sesuai dengan kriteria SNI yang relevan.
  - b. Struktur kolom beton bertulang
    - 1) Kolom beton bertulang yang dicor di tempat harus memenuhi persyaratan tertentu: ketebalan minimum 15 cm, jarak maksimum antara sengkang 15 cm, dan empat batang tulangan dengan diameter minimum 12 mm.
    - 2) Tebal selimut beton bertulang minimal 2,5 cm.
    - 3) Material yang digunakan harus memenuhi standar SNI terkait dari segi mutu dan kekuatan.
4. Struktur Pondasi
- Struktur pondasi harus dihitung secara akurat untuk memastikan kinerja bangunan sesuai dengan fungsi yang dimaksudkan dan untuk memastikan kestabilan bangunan terhadap berbagai gaya, seperti beratnya sendiri, beban hidup, tekanan angin, gempa bumi, dan stabilitas lereng jika dibangun di lokasi miring. Di wilayah yang bercirikan tanah berpasir atau lereng curam dengan gradien melebihi  $15^\circ$ , desain pondasi dimodifikasi agar sesuai dengan konfigurasi bangunan untuk mencegah likuifaksi jika terjadi gempa bumi.

Pondasi bangunan disesuaikan dengan kondisi tanah, kapasitas beban, dan klasifikasi bangunan.

Ketika membangun struktur di tanah dengan keadaan unik yang memerlukan pekerjaan pondasi khusus, setiap biaya tambahan yang dikeluarkan dapat dikategorikan sebagai biaya pekerjaan pondasi non-standar, yang terpisah dari biaya konstruksi normal. Untuk membangun gedung bertingkat dengan lebih dari 3 lantai atau di daerah dengan keadaan unik, sangat penting untuk melakukan analisis komprehensif terhadap kondisi tanah dan lahan untuk memastikan perhitungan pondasi yang akurat.

#### 4.4.4.2 Standar dan Peraturan

Perencanaan bangunan gedung harus berpegang pada norma dan ketentuan yang berlaku di Indonesia, khususnya yang ditetapkan dalam peraturan berikut :

- 1) SNI 2847-2019: Metode Penentuan Kekuatan Beton untuk Proyek Konstruksi
- 2) SNI 1727-2020, yang menetapkan beban minimum untuk desain bangunan dan struktur lainnya
- 3) Metode perencanaan ketahanan bangunan dan struktur nonbangunan terhadap gempa bumi (SNI 1726-2019)
- 4) Bagian 1 dan 2 dari Standar ASTM 1986 dalam Kode Bangunan diterbitkan oleh American Society for Testing and Materials.
- 5) Aturan dan pedoman tambahan yang berlaku.

##### a. Sistem Pembebanan Struktur

Faktor-faktor di luar kendali struktur adalah apa yang dikenal sebagai bebannya. Memprediksi jumlah tekanan yang akan dialami bangunan selama keberadaannya bukanlah hal yang mudah. Merupakan praktik umum untuk memperkirakan ukuran beban. Meskipun memungkinkan untuk menghitung beban pada wilayah tertentu dari suatu bangunan, cara beban didistribusikan dari satu bagian ke bagian lain biasanya bergantung pada asumsi dan metode.

#### 4.4.4.3 Jenis Pembebanan

Ada berbagai kategori beban yang digunakan dalam desain menara air, yaitu sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2020):

##### 1. Beban Mati

Beban mati mengacu pada berat total semua komponen permanen suatu struktur, termasuk elemen tambahan, solusi, mesin, dan peralatan tetap yang merupakan fitur penting dari struktur tersebut. Untuk merancang menara air ini, beban mati, yang meliputi berat bahan dan komponen konstruksi, harus mematuhi spesifikasi yang diuraikan dalam SNI 1727-2020.

Tabel 4. 8 Beban Mati

<b>Beban Bangunan</b>	
Beton Bertulang	$2400 \frac{kg}{m^3}$
Pasir	$1800 \frac{kg}{m^3}$
Beton tumbuk	$2200 \frac{kg}{m^3}$
Dinding batubata	$1700 \frac{kg}{m^3}$
<b>Komponen Gedung</b>	
Plafon dan penggantung	$20 \frac{kg}{m^2}$
Mekanikal dan Elektrikal	$60 \frac{kg}{m^2}$
Penutup lantai keramik	$24 \frac{kg}{m^2}$
Spesi	$21 \frac{kg}{m^2}$
Dinding pasangan batubata 1/2 bata	$250 \frac{kg}{m^2}$
Tandon	$1025 \frac{kg}{m^2}$
Penutup atap genteng(termasuk usuk dan reng baja ringan)	$75 \frac{kg}{m^2}$

##### 2. Beban Hidup

Beban hidup mengacu pada setiap tekanan yang diberikan pada elemen struktur akibat aktivitas dan hunian struktur yang sedang dirancang. Beban hidup seragam minimum yang ditentukan dalam SNI 1727-2020 harus dipatuhi saat menentukan beban hidup untuk desain bangunan. Maka beban hidup yang digunakan untuk Menara air yaitu  $400 \frac{kg}{m^2}$ .



### 3. Beban Angin

Saat memilih beban angin, penting untuk mempertimbangkan keberadaan tekanan positif dan tekanan negatif (hisap). Tekanan ini bekerja dalam arah yang tegak lurus terhadap elemen struktural yang dipertimbangkan. Tekanan positif minimum yang tercatat adalah minimal 25 kilogram per meter persegi, dengan variasi tergantung pada kedekatan bangunan dengan laut dalam radius 5 kilometer dari pantai. Jika bangunan terletak di posisi tersebut, maka tekanan hisap minimum yang diperlukan adalah 40 kilogram per meter persegi. Jika kecepatan angin berpotensi menghasilkan tekanan yang lebih tinggi, maka rumus tersebut dapat diterapkan :

$$p = \frac{v^2}{16} \dots\dots\dots (4.52)$$

Dimana:

P = Tekanan angin dalam  $\frac{kg}{m^2}$

V = kecepatan angin dalam m/s

Langkah-langkah untuk menentukan beban angin yang terjadi pada gedung terdapat pada SNI 1726-2019.

### 4. Beban Gempa

Penilaian aktivitas seismik yang diantisipasi harus dipertimbangkan saat merencanakan dan mengevaluasi konstruksi arsitektur dan non-arsitektur, serta berbagai komponen dan mesin secara umum. Mengenai spesifikasi yang diuraikan dalam SNI 1726-2019, gempa bumi yang direncanakan mengacu pada gempa bumi yang memiliki peluang 2% untuk melampaui magnitudo tertentu dalam jangka waktu 50 tahun dari umur struktur bangunan.

#### a. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2019, Kategori resiko struktur bangunan Gedung dan non Gedung sesuai tabel 3 , Menara air termasuk kategori I seperti berikut :

Tabel 4. 9 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur lainnya untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Katagori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan masala terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak batasi untuk: Pusat pembangkit listrik biasa Fasilitas penanganan air Fasilitas penanganan limbah Pusat telekomunikasi	III

Tabel 4. 10 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

b. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019, semua struktur harus ditetapkan desain seismiknya dengan mengacau tabel berikut :

Tabel 4. 11 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode

Nilai $S_{D,S}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D,S} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D,S} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{D,S} < 0,5$	C	D
$0,20 \leq S_{D,S}$	D	D

pendek

Tabel 4. 12 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai $S_{D,1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D,1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D,1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D,1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D,1}$	D	D

c. Spektrum Respon Desain

Berdasarkan SNI 1726-2019, Bila sprektrum respons desain diperlukan dan prosuder gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, mengikut ketentuan sebagai berikut :

- 1) Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (4.53)$$

2) Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ ;

3) Untuk periode lebih besar dari  $T_S$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (4.54)$$

4) Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (4.55)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

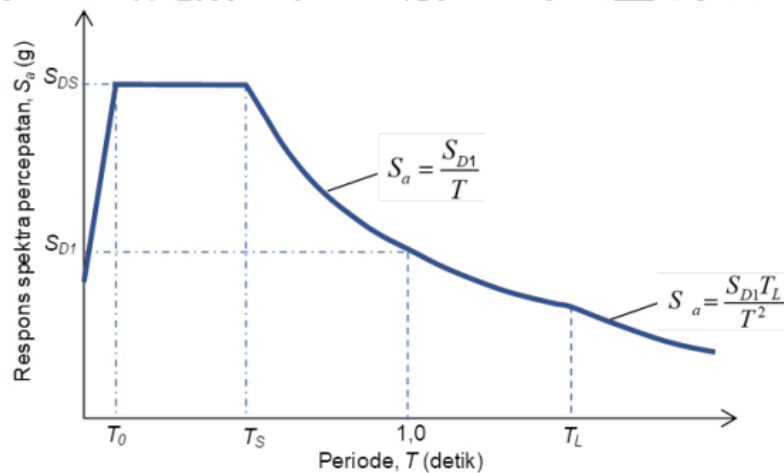
$S_{D1}$  : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  : Periode getar fundamental struktur

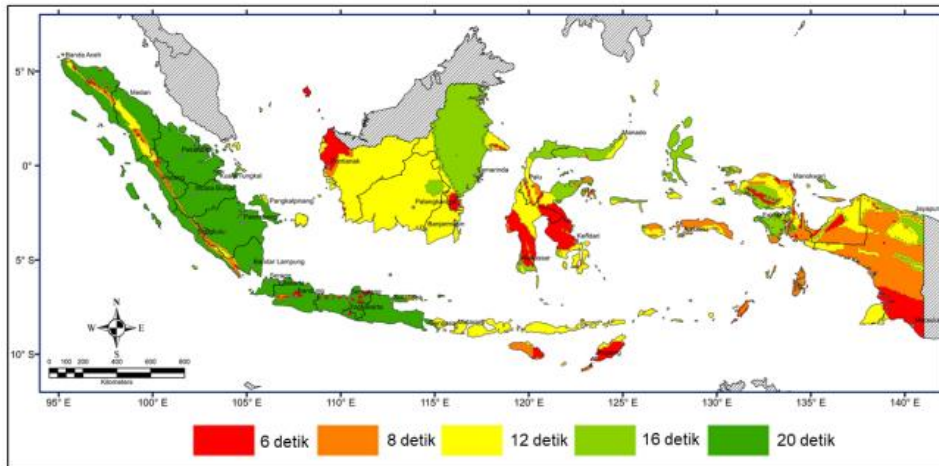
$T_L$  : Peta transisi periode panjang

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (4.56)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (4.57)$$



Gambar 4. 5 Spektrum respons desain



Gambar 4. 6 Peta transisi periode Panjang,  $T_L$ , wilayah Indonesia

d. Periode Fundamental Struktur T

Berdasarkan SNI 1726-2019, Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2019) :

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (4.58)$$

Keterangan :

$h_n$  adalah Ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentu dari tabel berikut :

Parameter Percepatan Respon	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,4
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 4. 13 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Tabel 4. 14 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$\alpha$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

e. Penentuan dan Batasan simpangan antar lantai

Disarankan untuk menghitung lendutan antar lantai desain ( $\square$ ) sebagai perbedaan lendutan pada pusat massa di atas dan di bawah lantai yang diperiksa.

Untuk setiap  $x$ , lendutan pusat massa ( $\delta x$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan di atas:

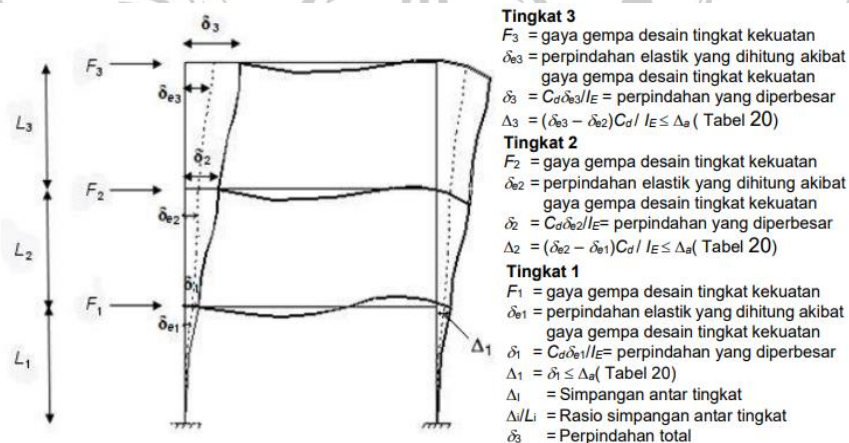
$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \quad (4.59)$$

Keterangan:

$C_d$  : Faktor pembesaran defleksi

$\delta x_e$  : Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastik

$I_e$  : Faktor keutamaan gempa



Gambar 4. 7 Penentuan simpangan antar tingkat

Anda dapat menemukan level yang diizinkan ( $\Delta_a$ ) dalam tabel terlampir, dan variasi antara level tersebut dan nilai desain ( $\Delta$ ), yang bisa bernilai 0 atau 0, tidak boleh lebih dari itu :

Tabel 4. 15 Simpangan antar tingkat izin  $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025 h_{sx}$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Keterangan:

$h_{sx}$  : Tinggi tingkat di bawah tingkat x

#### 5. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1727-2020, kombinasi beban yang dapat digunakan pada gedung dengan menggunakan metode LRFD adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2020):

- a.  $1.4 D$
- b.  $1.2 D + 1.6 L + 0.5(Lr \text{ atau } R)$
- c.  $1.2 D \pm 1.6 (Lr \text{ atau } R) + (1.0 L \text{ atau } 0.5W)$
- d.  $1.2 D \pm 1.6 W + 1.0 L + 0.5 (Lr \text{ atau } R)$
- e.  $1.2 D \pm 1.0 E + 1.0 L$
- f.  $0.9 D \pm 1.0 W$
- g.  $0.9 D \pm 1.0 E$



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2010). *Pedoman Penghitungan Proyeksi Penduduk Dan Angkatan Kerja*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standar Nasional. (2015). *SNI 8066-2015 "Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka"*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung"*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *SNI 1727-2020 "Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain"*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Diah Rahmawati, W. G. (2021). *Pendampingan Pembuatan Tower Air Perumahan Royal RT 05*.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). *Tata Cara Perencanaan, Pelaksanaan, Operasi Dan Pemeliharaan Sistem Pompa*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum.
- DIREKTORAT JENDERAL LISTRIK DAN PEMANFAATAN ENERGI. (2009). *IMIDAP Buku 2b Pedoman Studi Kelayakan Sipil*.
- Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, C. D. (1995). *Hidraulika II*. Yogyakarta.
- Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, C. D. (1995). *Hidraulika I*. Yogyakarta .
- IMIDAP. (2009). *Pedoman Studi Kelayakan Sipil Buku 2B*. Jakarta.
- IMIDAP. (2009). *Studi Kelayakan Mekaniakl dan Elektrikal Buku 2C*. Jakarta.
- Indarto. (2018). *Hidrologi Metode Analisis Dan Tool Untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Kalensun, H. (2016). *Perencanaan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih Di Kelurahan Pangolombian Kecamatan Tomohon Selatan*. From Repository UMS.



- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). *Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Menteri Pekerjaan Umum . (2007). *Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum* . Jakarta : Menteri Pekerjaan Umum .
- Pane, A. H. (2021). Studi Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Dengan Metode Hardy Cross.
- PT. Indra Karya. (2016). *DED Optimalisasi SPAM IKK Kepanjen Kabupaten Malang*. Kabupaten Malang: PT. Indra Karya.
- PT. Sarana Bhuana Jaya. (2017). *SID Penyediaan Air Baku Kabupaten Bolaang Mongondow dan Kota Kotamobagu*. Bandung: PT. Sarana Bhuana Jaya.
- Rezky Ardillah, S. T. (2017). Analisis Jaringan Pipa Transmisi Air Bersih Kecamatan Kandis.
- Robert J. Kodoatie, P. ., (2008). *Pengelolaan Sumber Daya Air*. Yogyakarta: Andi.
- Rossmann, L. A. (2000). EPANET 2 USERS MANUAL VERSI BHS INDONESIA. EKAMITRA ENGINEERING.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung: NOVA.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data, Jilid I*. Bandung: NOVA.
- Team Soil Mechanics Laboratory. (2018). *Buku Panduan Praktikum Mekanika Tanah* . Surakarta: Universitas 11 Maret Surakarta.
- Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. (2023, Juli 20). *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*. From Fakultas Teknik: <https://fatek.umsu.ac.id/2023/07/20/apa-itu-pemetaan-metode-dan-unsurnya/>