

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Rencana Anggaran Biaya

Estimasi biaya/anggaran biaya (RAB) merupakan perkiraan/perhitungan biaya-biaya yang diperlukan untuk tiap pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi, sehingga diperoleh biaya total yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek tersebut (Yuliana, 2019: 165).

Rencana anggaran biaya dibuat sebelum proyek dilaksanakan, jadi masih merupakan anggaran perkiraan, bukan anggaran yang sebenarnya berdasarkan pelaksanaan (*actual cost*). Rencana anggaran biaya biasanya dibuat oleh:

- a. Dinas/instansi pemerintah,
- b. Perencana,
- c. Kontraktor.

Rencana anggaran biaya dihitung berdasarkan gambar-gambar rencana dan spesifikasi yang sudah ditentukan, upah tenaga kerja, harga bahan, dan alat. Orang yang mengerjakan perhitungan dan pembuatan RAB disebut estimator atau “*Quantity Engineer*” (QE) atau “*Quantity Surveyor*” (QS) (Yuliana, 2019: 166).

$$\text{RAB} = \sum(\text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}) \dots\dots\dots (2-1)$$

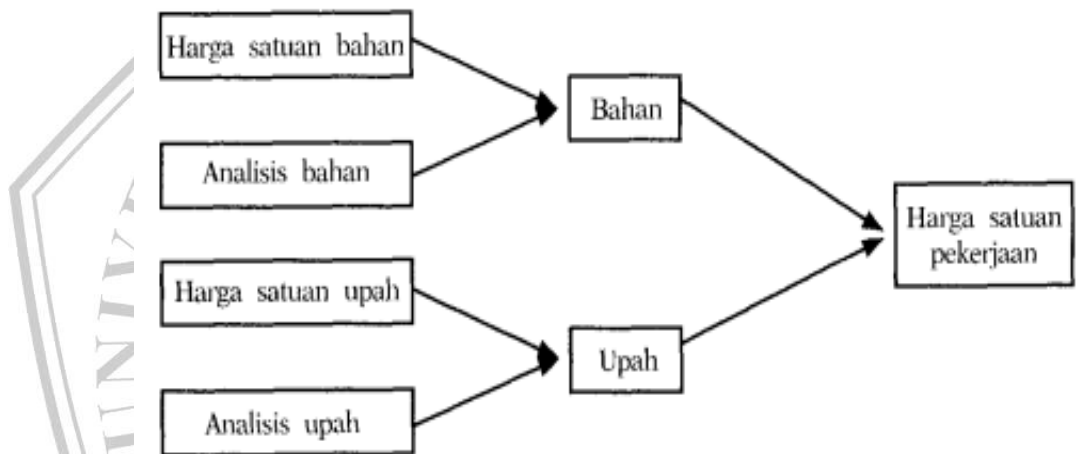
2.2. Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan adalah biaya yang dihitung dalam suatu analisis harga satuan pekerjaan, yang terdiri atas biaya langsung (Tenaga Kerja, bahan dan alat), dan biaya tidak langsung (biaya umum atau *Overhead* dan keuntungan) sebagai mata pembayaran suatu jenis pekerjaan tertentu (Kementrian Pekerjaan Umum, 2012: 5).

Analisis harga satuan ini menguraikan suatu perhitungan harga satuan upah, tenaga kerja, dan bahan. Serta pekerjaan yang secara teknis dirinci secara detail berdasarkan suatu metode kerja dan asumsi-asumsi yang sesuai dengan yang

diuraikan dalam suatu spesifikasi teknik, gambar desain dan komponen harga satuan. Baik untuk kegiatan rehabilitasi/ pemeliharaan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2012: 8).

Harga satuan pekerjaan terdiri atas biaya langsung dan biaya tidak langsung. Komponen biaya langsung terdiri atas upah. Bahan dan alat. Komponen biaya tidak langsung terdiri atas biaya umum atau overhead dan keuntungan. Biaya overhead dan keuntungan belum termasuk pajak-pajak yang harus dibayar, besarnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Skema Harga Satuan Pekerjaan dapat dilihat pada **Gambar 2.1** (Kementerian Pekerjaan Umum, 2012: 8).



Gambar 2.1 Skema Harga Satuan Pekerjaan
(Sumber: Widiyanti & Lenggogeni, 2013: 127)

$$\text{Presentase Bobot Pekerjaan} = \frac{v \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}}{\text{Harga Bangunan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2-2)$$

2.3. Manajemen Biaya Proyek

Manajemen biaya proyek (*project cost management*) adalah pengendalian proyek untuk memastikan penyelesaian proyek sesuai dengan anggaran biaya yang telah disetujui. Soemardi (2007) memberikan uraian yang berkaitan dengan hal-hal utama yang perlu diperhatikan dalam manajemen biaya proyek adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan Sumber Daya

Perencanaan sumber daya merupakan proses untuk menentukan sumber daya dalam bentuk fisik (manusia, peralatan, material) dan kuantitasnya yang diperlukan untuk melaksanakan aktivitas proyek. Proses ini sangat berkaitan erat dengan proses estimasi biaya (Sugiyanto M, 2020: 35).

2. Estimasi Biaya

Estimasi biaya adalah proses untuk memperkirakan biaya dari sumber daya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Bila proyek dilaksanakan melalui sebuah kontrak, perlu dibedakan antara estimasi biaya dengan nilai kontrak. Estimasi biaya melibatkan perhitungan kuantitatif dari biaya-biaya yang muncul untuk menyelesaikan proyek. Adapun nilai kontrak merupakan keputusan dari segi bisnis dimana perkiraan biaya yang didapat dari proses estimasi merupakan salah satu pertimbangan dari keputusan yang diambil (Sugiyanto M, 2020: 35).

3. Penganggaran Biaya

Penganggaran biaya adalah proses membuat alokasi biaya untuk masing-masing aktivitas dari keseluruhan biaya yang muncul pada proses estimasi. Dari proses ini didapatkan standar biaya (cost baseline) yang digunakan untuk menilai kinerja proyek (Sugiyanto M, 2020: 36).

4. Pengendalian Biaya

Pengendalian biaya dilakukan selama proyek berlangsung untuk mendeteksi apakah biaya aktual pelaksanaan proyek menyimpang dari rencana atau tidak. Semua penyebab penyimpangan biaya harus terdokumentasi dengan baik sehingga langkah-langkah perbaikan dapat dilakukan (Sugiyanto M, 2020: 36).

2.4. Hidrologi

Ilmu hidrologi berhubungan dengan keterpadatan dan pergerakan air di atas dan melalui permukaan bumi. Ilmu itu berhubungan dengan berbagai bentuk

kelengkapan yang ada, dan beralihnya wujud zat cair, zat padat dan bentuk gas itu di udara dan di lapisan permukaan daratan (Wilson, 1993: 1).

Pada dasarnya hidrologi adalah suatu ilmu yang bersifat menafsirkan. Melakukan percobaan dibatasi oleh ukuran kejadian di alam; yang diteliti sederhana saja dengan akibat yang bersifat khusus. Persyaratannya mendasarnya berupa data yang diamati dan diukur mengenai semua segi pencurahan, pelimpasan, penelusan, pengaliran sungai, penguapan, dan seterusnya (Wilson, 1993: 1).

2.5. Tanah

Dalam ilmu mekanika tanah yang disebut "tanah" ialah semua endapan alam yang berhubungan dengan teknik sipil, kecuali batuan tetap. Batuan tetap menjadi ilmu tersendiri yaitu mekanika batuan (*rock mechanics*). Endapan alam tersebut mencakup semua bahan, dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (*boulder*). Rekayasa tanah, mekanika tanah atau geoteknik merupakan salah satu ilmu termuda perkembangannya dalam teknik sipil (Soedarmo & Purnomo, 1993: 11).

Pada tahun 1948 (*Karl Von Terzaghi*) seorang sarjana teknik sipil Jerman/Austria berpendapat bahwa: Mekanika tanah adalah pengetahuan yang menerapkan kaidah mekanika dan hidrolika untuk memecahkan persoalan-persoalan teknik sipil yang berhubungan dengan edapan dan kumpulan butir-butir padat yang terurai/tidak terpadu (*unconsolidated*) yang dihasilkan oleh proses penghancuran (*disintegration*) secara alami dan kimiawi batu-batuan. Oleh karena itu, *Terzaghi* disebut sebagai Bapak mekanika tanah (Soedarmo & Purnomo, 1993: 11).

Ilmu Mekanika Tanah khususnya dapat membantu memecahkan problem-problema dalam teknik sipil antara lain:

1. Perencanaan dan pelaksanaan fondasi.

Fondasi merupakan unsur penting untuk semua bangunan teknik sipil. Setiap bangunan: Gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, kanal atau bendungan dibangun di atas permukaan tanah. Dalam hal ini perlu mengetahui daya dukung tanah, pola distribusi tegangan dalam tanah di

bawah daerah pembebanan, kemungkinan penurunan fondasi, pengaruh/dampak air tanah dan getaran dan lain-lain.

Macam-macam bentuk fondasi yang sesuai antara lain:

- a. Fondasi dangkal
- b. Fondasi tiang
- c. Fondasi sumuran dll.

Yang tergantung dari tanah dasar, beban dan air tanah yang terdapat pada tanah tersebut. Pengetahuan tentang penyusutan dan pengembangan tanah di bawah fondasi juga sangat perlu (Soedarmo & Purnomo, 1993: 13).

2. Perencanaan perkerasan

Perkerasan lentur maupun perkerasan kaku dalam pelaksanaannya tergantung tanah dasar yang bersangkutan. Tebal perkerasan dan komponennya tergantung sifat-sifat tanah dasar yang akan ditetapkan sebelum perencanaan dibuat. Pengetahuan teknik perbaikan tanah seperti kekuatan dan stabilitas tanah sangat banyak membantu dalam melaksanakan perkerasan pada tanah jelek. Untuk mengetahui kekuatan tanah biasanya digunakan data-data: C.B.R., pemadatan dan daya dukung (Soedarmo & Purnomo, 1993: 13).

3. Perencanaan bangunan dibawah tanah dan dinding penahan

Perencanaan dan pembangunan bangunan dibawah tanah dan dinding penahan tanah adalah salah satu kontuksi penting untuk teknik sipil. Salah satu contohnya adalah terowongan dan jaringan pipa. Untuk dinding penahan seperti kontruksi untuk dinding penahan tanah gravitasi, sekat penahan tanah berjangkar dan bendungan pengelak (Soedarmo & Purnomo, 1993: 13).

4. Perencanaan penggalian dan penimbunan

Jika tanah dalam kondisi tidak datar, komponen berat tanah condong bergerakke bawah yang menyebabkan stabilitas struktur tanah terganggu. Pengetahuan tentang kuat geser dan hubungan sifat-sifat tanah sangat membantu dalam merencanakan kemiringan dan tinggi timbunan atau

galian. Kemungkinan rembesan air tanah akan mengurangi kekuatan tanah ketika sedang dilakukan penggalian. Terkadang memungkinkan untuk dilakukan pengeringan air tanah untuk mempertahankan kekuatan tanah yang ada dan mengurangi gaya rembesan. Untuk menjaga keruntuhan tanah galian juga diperlukan dinding penguat lateral atau turap-turap pada kedalaman galian tertentu (Soedarmo & Purnomo, 1993: 14).

5. Perencanaan bendungan tanah

Untuk membangun bendungan tanah memerlukan sangat banyak pengetahuan mekanika tanah. Hal-hal yang perlu diketahui ialah sifat-sifat tanah alami antara lain: Indeks kepadatan, sifat-sifat plastisitas dan berat spesifik, distribusi ukuran butir (gradasi) tanah, rembesan, konsolidasi dan sifat-sifat pemadatan serta parameter kuat geser dalam kondisi bermacam-macam pengeringan tanah (Soedarmo & Purnomo, 1993: 14).

Menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum pada proses pemadatan, sangat penting bagi aspek perencanaan. Sifat sifat konsolidasi membantu meramalkan penurunan bendungan dengan konsekuensi mereduksi tegangan air pori. Pengaruh rembesan penting diketahui untuk mengamankan kemantapan lereng tubuh bendungan (Soedarmo & Purnomo, 1993: 14).

2.6. Klasifikasi Tanah

Pada umumnya tanah diklasifikasikan sebagai tanah yang kohesif dan tidak kohesif atau sebagai tanah yang berbutir kasar dan halus. Dari hasil penyelidikan di laboratorium dan/atau di lapangan, diketahui sifat-sifat alami dan teknis tanah-tanah tersebut serta dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu dalam bidang teknik sipil, antara lain: (Soedarmo & Purnomo, 1993: 59).

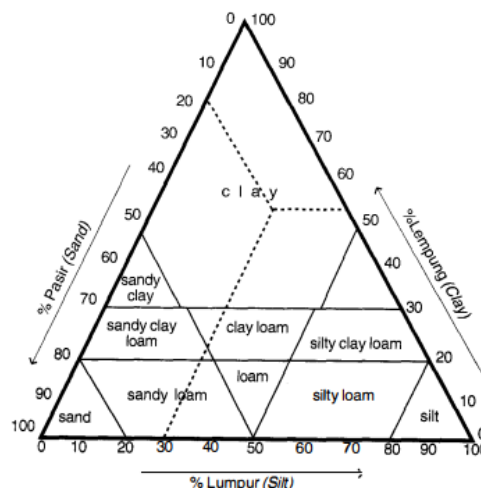
1. Menentukan rembesan, daya rembes dan kecepatan rembesan air yang melalui penampang tanah serta koefisien rembesannya.

2. Menentukan pemampatan tanah yang berdasarkan teori konsolidasi Terzaghi dan penurunan, maka dapat digunakan untuk mengevaluasi penurunan konstruksi.
3. Menentukan kuat geser tanah, untuk mengevaluasi kemantapan lereng bendungan, tanggul dan lain-lain.

Klasifikasi tanah sangat membantu perencana dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang lalu. Namun tidak mutlak, karena perilaku tanah sukar diduga. Banyak kegagalan konstruksi disebabkan masalah tanah, seperti menara Pisa di Italia yang terkenal itu dan lain-lain (Soedarmo & Purnomo, 1993: 59).

Ada tiga macam sistem klasifikasi tanah, yaitu:

1. Sistem klasifikasi tanah berdasarkan persentase susunan butir tanah (*textural classification system*), klasifikasi ini dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (U.S. Department of Agriculture) dan deskripsi batas-batas susunan butir tanah dibawah system U.S.D.A. Diagram Klasifikasi tekstur dapat dilihat pada **Gambar 2.2**, kemudian dikembangkan lebih lanjut dan digunakan untuk pekerjaan jalan raya (Soedarmo & Purnomo, 1993: 60).



Gambar 2.2 Diagram klasifikasi tekstur

(Soedarmo & Purnomo, 1993: 60)

2. Klasifikasi sistem kesatuan tanah (*Unified Soil Classification System*), yaitu sistem berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas. Analisa laboratorium yang dimaksud adalah analisa ukuran butir dan batas-batas atterberg. Semua tanah diberi dua huruf penunjuk berdasarkan hasil percobaan ini. Ada dua golongan besar tanah yaitu tanah berbutir kasar < 50 %, dan tanah berbutir halus > 50 % melalui ayakan no.200. Sistem ini pada awalnya dikembangkan untuk pembangunan lapangan terbang, diuraikan oleh Casagrande (1948), dan pada tahun 1952 sistem ini terpakai pada konstruksi bendungan dan konstruksi-konstruksi lainnya. Dengan mengkombinasikan huruf pertama dan kedua, maka enam kelompok yaitu: OH, OL, CH, CL, MH dan ML. Klasifikasi kedalam golongan dilakukan dengan menggunakan diagram plastis (Soedarmo & Purnomo, 1993: 61).
3. Klasifikasi sistem AASHTO (*AASHTO Classification System*), dikembangkan pada tahun 1929 oleh *Public Road Administration Classification System*. Dengan beberapa kali perubahan dan dianjurkan oleh Committee on Classification of Material for Subgrade and granular type Roads of the Highway Research Board pada tahun 1945. (ASTM menggunakan kode D-3282 dan AASHTO dengan metode M145) (Soedarmo & Purnomo, 1993: 63).

2.7. Stabilitas dan Pemadatan Tanah

Berhubung sifat-sifat tanah di lapangan tidak selalu memenuhi harapan dalam merencanakan suatu konstruksi, maka apabila dijumpai tanah yang sifat-sifatnya sangat jelek, tanah tersebut harus distabilisasikan sehingga dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan (Soedarmo & Purnomo, 1993: 101).

1. Tujuan:

Untuk memperbaiki kondisi tanah tersebut, kemudian mengambil tindakan yang tepat terhadap masalah-masalah yang kita hadapi.

2. Stabilitas dapat berupa tindakan-tindakan sebagai berikut:

- Menambah kepadatan tanah.
- Menambah material yang tidak aktif, sehingga mempertinggi kohesi dan/atau tahanan geser yang timbul.
- Menambah material agar dapat mengadakan perubahan-perubahan alami dan kimiawi material tanah.'
- Merendahkan permukaan air tanah (*drainase*).
- Mengganti tanah-tanah yang buruk.

2.8. Stabilitas Tanah

Stabilitas tanah lunak dengan bahan pencampur seperti semen, kapur atau bahan kimia lainnya dengan maksud untuk meningkatkan kekuatan tanah, sifat tegangan dan regangan, masa guna bangunan dan menurunkan sifat rembesan serta pemampatan tanah ini termasuk mengurangi sifat pengembangan dan penyusutannya. Peningkatan kekuatan dan penurunan rembesan pengembangan dan penyusutan (Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Parameter Bangunan, 2013: 231).

1. Dengan bahan organik seperti *acrylamides, resins, polyurethanes*,
2. Dengan bahan anorganik yang sering digunakan semen dan kapur. Umumnya variasi penggunaan bahan campuran kapur dengan perbandingan berat kering antara 3% - 8% kapur dari berat kering tanah. Jika menggunakan semen perbandingan antara 3% - 10% semen dari berat kering tanah.

2.9. Perkuatan Tanah Dengan Kolom Kapur atau Semen

Untuk penyempurnaan dan peningkatan tanah lunak pada sistem poin (1) diatas oleh Okumura & Terashi (1975), Brom S & Browman (1976) serta Sokolovik es (1976) mengenalkan sistem pembuatan kolom kapur atau semen. Kolom kapur atau semen dibuat dengan mencampur atau semen langsung pada kedalaman lapisan tanah lunak yang diinginkan melalui alat pemampur yang bermata pengaduk dan dilengkapi dengan lubang mata bor, pengeluaran campuran semen

sehingga tanah lunak akan bercampur dengan kapur atau semen hingga diperoleh kolom kapur atau semen. Dimensi kolom kapur atau semen berdiameter antara 8 em sampai 50 em, kedalaman antara 10 meter sampai 60 meter dan jarak kolom adalah 0,50 m- 3,0 m. Proses ikatan yang baik antara tanah lunak dengan kapur atau semen diperoleh selang waktu lebih dari satu bulan (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Parameter Bangunan, 2013: 31).

2.10. Geotextile

Penulangan tanah dengan geotextile sebagai usaha peningkatan tanah yang dikembangkan oleh Vidal seorang warga Negara Perancis pada tahun 1960. Mekanisme peningkatan kekuatan tanah dengan penulangan ini adalah terjadi interaksi antara tanah dan bahan penulangan seperti geotextile, jadi melalui kekuatan geser tanah yang bekerja dan bahan geotextile ini maka kekuatan tanah akan meningkat. Bahan penulangan dapat berupa strip baja atau aluminium dan geotextile. Metode geotextile ini mempunyai kelebihan antara lain murah dan pelaksanaan pembangunan singkat serta meningkatkan daya dukung tanah lunak dan perkuatan lereng serta dinding permukaan tanah. Pemasangan geotextile ditentukan oleh dimensi bangunan sendiri serta data tanah lunak yang ada (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Parameter Bangunan, 2013: 32).

2.11. Cerucuk

Cara peningkatan tanah pondasi yang masih relatif murah sehubungan ketersediaan bambu yang digunakan sebagai tiang pancang dan bambu yang digunakan mempunyai diameter antara 4 em sampai 7 em. Jarak pemaneangan antara bambu adalah 30 em- 50 em tergantung dari sifat penggunaan di tanah lunak (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Parameter Bangunan, 2013: 32).

2.12. Batuan

Batuan adalah campuran dari satu atau lebih mineral yang berbeda, tidak mempunyai komposisi kimia tetap. Tetapi, batuan tidak sama dengan tanah. Tanah dikenal sebagai material yang “mobile”, rapuh dan letaknya dekat dengan permukaan bumi (Rai, Kramadibrata & Wattimena. 2014: 6).

2.13. Klasifikasi Batuan

Siklus pembentukan batuan dimulai dari magma keluar dan membeku dan terbentuk batuan beku. Setelah batuan beku terpapar di permukaan atau dekat permukaan, maka akan terjadi proses pelapukan dan hasilnya yang berupa material lapuk akan ter-transport dan diendapkan atau mengalami sedimentasi sehingga hasil akhirnya disebut sedimen. Jika material sedimen tersebut mengalami konsolidasi dan tegangan, maka material tersebut akan menjadi batuan sedimen. Secara jelas Siklus Pembentukan Batuan dapat dilihat pada **Gambar 2.3** (Rai, Kramadibrata & Wattimena. 2014: 7).

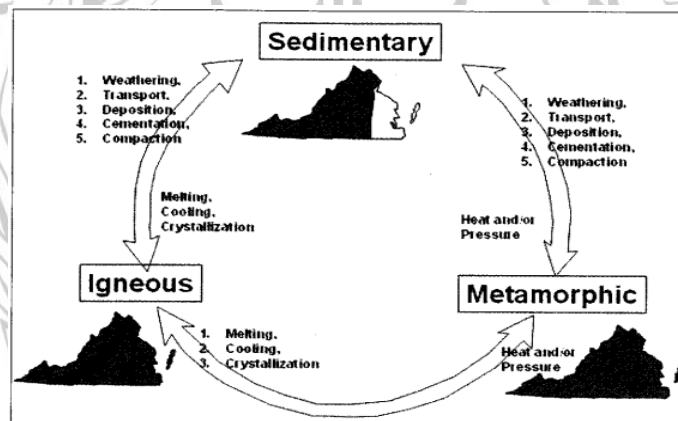
Dalam fungsi waktu dan jika batuan sedimen mengalami pembebanan dan temperatur di dalam bumi maka batuan tersebut akan mengalami metamorphose sehingga terbentuk batuan metamorf. Secara singkat dapat dikatakan bahwa batuan beku atau batuan sedimen atau batuan metamorf yang mengalami pelapukan dapat menjadi batuan sedimen baru (Rai, Kramadibrata & Wattimena. 2014: 7).

Beberapa ciri dari batuan beku (*igneous rocks*) adalah bahwa batuan tersebut berasal langsung dari pembekuan magma. Jika batuan beku tersebut diklasifikasikan sebagai batuan beku asam maka penampakannya berwarna terang dan kandungan SiO_2 akan lebih besar dari pada 55%. Sedangkan untuk batuan beku sedang akan berwarna agak terang, dan kandungan SiO_2 sekitar 50-55% dan batuan beku basa berwarna gelap dengan kandungan SiO_2 lebih kecil dari pada 50% (Rai, Kramadibrata & Wattimena. 2014: 7).

Beberapa ciri dari batuan sedimen (*sedimentary rocks*) adalah berlapis-lapis, yang merupakan hasil pelapukan dari batuan lain yang diendapkan bisa secara fisik atau kimia dan yang telah mengalami transportasi melalui air, atau angin dan

gravitasi. Sedangkan urutan per lapisannya selalu mengikuti hukum superposisi (tua ke muda). Ciri lainnya adalah bahwa batuan sedimen bisa terkonsolidasi atau tidak mengalami perlipatan seperti sinklin dan juga dapat tersesarkan yang baru sesar, kekar, tergeser (Rai, Kramadibrata & Wattimena. 2014: 7).

Proses pembentukan batuan metamorฟิก (*metamorphic rocks*) dapat berasal dari batuan lainnya yang mengalami tekanan dan panas yang tinggi. Pada proses pembentukannya tidak ada penambahan unsur baru, dan yang ada adalah proses rekristalisasi. Pada batuan metamorฟิก ini mempunyai tekstur khas seperti; *folit* (*halus dengan pola laminasi*), *sekis* (*berlapis*), *gnis* (*selang-seling dan butiran*) dan massif. Siklus Pembentukan Batuan dapat dilihat Pada **Gambar 2.3** (Rai, Kramadibrata & Wattimena. 2014: 7).



Gambar 2.3 Siklus Pembentukan Batuan
(Rai, Kramadibrata & Wattimena. 2014: 8)

2.14. Tanggul

Tanggul dipakai untuk melindungi daerah irigasi dari banjir yang disebabkan oleh sungai, pembuang yang besar atau laut. Biaya pembuatan tanggul banjir bisa menjadi sangat besar jika tanggul itu panjang dan tinggi. Karena fungsi lindungnya yang besar terhadap daerah irigasi dan penduduk yang tinggal di daerah-daerah ini, maka kekuatan dan keamanan tanggul harus benar-benar diselidiki dan direncana sebaik-baiknya. Tanggul biasanya dibangun dari material tanah yang dipadatkan, pasangan batu, pasangan bata, pasangan beton, turap baja,

atau material lain yang sesuai (Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 231).

2.15. Material Tanggul

Material yang dimaksud disini mengacu pada (KP-04-2013. Bangunan) adalah material yang digunakan untuk tanggul biasanya berasal dari bahan timbunan yang digali didekat atau sejajar dengan garis tanggul. Apabila galian dibuat sejajar dengan lokasi tanggul, maka penyelidikan untuk pondasi dan daerah galian dapat dilakukan sekaligus. Untuk tanggul-tanggul tertentu mungkin perlu membuka daerah sumber bahan timbunan khusus diluar lapangan dan mengangkutnya ke lokasi. Jika kondisi tanah tidak stabil mungkin akan lebih ekonomis untuk memindahkan lokasi tanggul daripada menerapkan metode pelaksanaan yang mahal (Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 222).

2.16. Trase

Tanggul di sepanjang sungai sebaiknya direncana pada trase pada jarak yang tepat dari dasar air rendah. Bila hal ini tidak mungkin, maka harus dibuat lindungi terhadap erosi di sepanjang tanggul (Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 232).

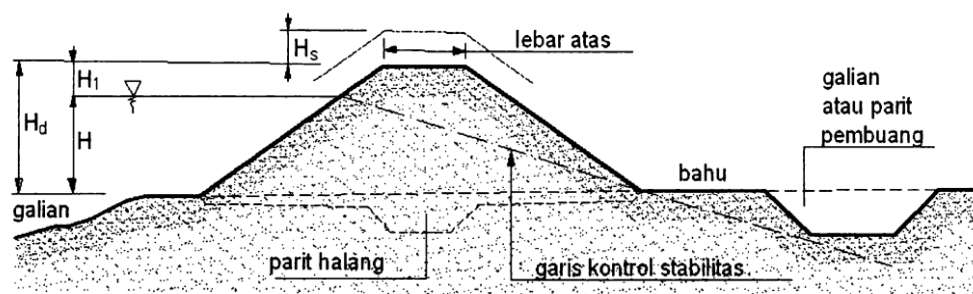
Adalah perlu untuk membuat penyelidikan pendahuluan mengenai lokasi tanggul guna menentukan: (Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 232).

1. Perkiraan muka air banjir (tinggi dan lainnya).
2. Elevasi tanah yang akan dilindungi.
3. Hak milik yang dilibatkan
4. Masalah-masalah fisik yang sangat mungkin dijumpai, terutama kondisi tanah karena ini erat hubungan dengan kebutuhan pondasi dan galian timbunan.
5. Tata guna tanah dan peningkatan tanah pertanian guna menilai arti peting daerah yang akan dilindungi dari segi ekomi.

2.17. Tinggi Jagaan

Tinggi rencana tanggul (H_d) akan merupakan jumlah tinggi muka air rencana (H) dan tinggi jagaan (H_f). Terdapat contoh potongan melalui tanggul dapat dilihat pada **Gambar 2.4**, ketinggian yang dibuat itu termasuk longgaran untuk kemungkinan penurunan (H_s), yang akan bergantung kepada pondasi serta bahan yang dipakai dalam pelaksanaan. Tinggi muka air rencana yang sebenarnya didasarkan pada profil permukaan air (Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 233).

Tinggi jagaan pada **Tabel 2.1** (H_f) merupakan longgaran yang ditambahkan untuk tinggi muka air yang diambil, termasuk atau tidak termasuk tinggi gelombang. Tinggi minimum jagaan tanggul sebaiknya diambil 0,60 m (Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 233).



Gambar 2.4 Potongan Melalui Tanggul

(Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 233)

Tabel 2.1 Tinggi Jagaan

Q (m ³ / dt)	Tinggi Jagaan (m)
< 0,5	0,40
0,5 – 1,5	0,50
1,5 – 5,0	0,60
5,0 – 10,0	0,75
10,0 – 15,0	0,85
>15,0	1,00

(Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP-03 Saluran, 2013:45)

2.18. Lebar Atas

Untuk tanggul tanah yang direncana guna mengontrol kedalaman air $\leq 1,50$ m, lebar atas minimum tanggul dapat diambil 1,50 m. Jika kedalaman air yang akan dikontrol lebih dari 1,50 m, maka lebar atas minimum sebaiknya diambil 3,0 m. Lebar atas diambil sekurang-kurangnya 3,0 m jika tanggul dipakai untuk jalur pemeliharaan (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 233).

2.19. Kemiringan Talut

Dibawah ini diberikan harga-harga kemiringan talut dapat dilihat pada **Tabel 2.2**. Penggunaan harga-harga itu dianjurkan untuk tanggul tanah homogen pada pondasi stabil yang tingginya kurang dari 5 m. Jika pondasi tanggul terdiri dari lapisan-lapisan lulus air atau lapisan yang rawan terhadap bahaya erosi bawah tanah (piping), maka harus dibuat parit halang (*cut-off trench*) yang dalamnya sampai 1/3 dari kedalaman air (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 233).

Tabel 2.2 Harga-harga Kemiringan Samping yang dianjurkan untuk Tanggul Tanah Homogen (menurut USBR, 1978)

Klasifikasi tanah	Kemiringan hulu	Kemiringan hilir
GW,GP,SW,SP	Tak kedip air, tak cocok	
GC,GM,SC,SM	1 : 2,5	1 : 2
CL,ML	1 : 3	1 : 2,5
CH,MH	1 : 3,5	1 : 2,5

(Kementrian pekerjaan umum direktorat jenderal sumber daya air, KP-04 Bangunan utama 2013: 234)

2.20. Lindungan

Lindungan lereng terhadap erosi oleh aliran air, baik yang berasal dari hujan maupun sungai, bisa berupa tipe-tipe berikut:

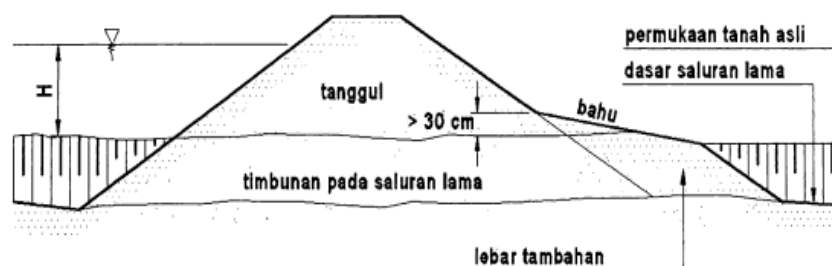
1. Rumput
2. Pasngan batu kosong
3. Pasangan (*lining*)
4. Bronjong

Rumput pelindung yang memadai hendaknya diberikan pada permukaan-permukaan tanggul untuk melindunginya dari bahaya erosi akibat limpasan air hujan pada tanggul. Sedangkan jenis-jenis lindungan lainnya dipakai untuk lindungan terhadap aliran air di sungai atau saluran. Karena ketiga jenis yang lain ini cukup mahal, mereka hanya digunakan untuk bentang pendek (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 237).

2.21. Stabilitas Tanggul

Tanggul yang tingginya lebih dari 5 m harus dicek stabilitasnya dengan metode stabilitas tanggul yang dianggap sesuai. Metode yang disarankan dijelaskan dalam bagian KP-06 Parameter Bangunan (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 234).

Apabila tanggul melintas saluran lama, maka dasar tanggul harus diperlebar di bagian samping luar, contoh pada **Gambar 2.5**, lebar tambahan ini sekurang-kurangnya sama dengan tinggi tanggul (H_d) diatas elevasi asli tanah. Bagian atas dasar yang diperlebar sebaiknya tidak kurang dari 0,30 m diatas elevasi asli tanah serta kemiringannya harus cukup agar air dapat melipas dari tanggul. (Kementrian pekerjaan umum direktorat jenderal sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 234)



Gambar 2.5 Dasar yang diperlebar pada lintasan saluran

(Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 235)

Jika tanggul mempunyai lebar atas yang kecil/ sempit, maka bahu (berm) bagian tambahan harus cukup lebar guna mengakomodasi jalur pemeliharaan selama muka air mencapai ketinggian kritis. Fasilitas ini harus disediakan di semua potongan jika bagian atas tanggul tidak dipakai sebagai jalur pemeliharaan (Kementrian pekerjaan umum sumber daya air, KP 04 Bangunan, 2013: 235).

2.22. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dapat dicari dengan rumus Terzaghi,

(sumber : Mekanika Tanah 2- Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar: 122)

$$q_{ult} = c N_c + q N_q + \gamma \cdot B N_\gamma \dots\dots\dots (2-3)$$

keterangan :

q_{ult} = daya dukung tanah (Kn/m²)

c = kohesi, tegangan kohesif (Kn/m²)

N_c, N_q, N_γ = faktor-faktor daya dukung tanah

γ = berat volume tanah (Kn/m³)

B = lebar Bangunan (m)

Beberapa daftar harga S_c dan S_γ sesuai bentuk potongan melintang pondasi dapat dilihat pada **Tabel 2.3**, faktor-faktor daya dukung untuk metode Terzaghi **Tabel 2.4** dan harga perkiraan daya dukung izin pada **Tabel 2.5**

Tabel 2.3 Daftar Harga S_c dan S_γ sesuai bentuk potonga melintang pondasi

Parameter	Bentuk pondasi		
	Menerus	Bundar	Bujur sangkar
S_c	1,0	1,3	1,3
S_γ	1,0	0,6	0,8

Sumber : Analisa dan desain pondasi KP-06 Parameter Bangunan 2009

Tabel 2.4 Faktor-faktor daya dukung untuk metode Terzaghi

ϕ (°)	Nc	Nq	N_{γ}	$K_{p\gamma}$
0	5,7	1,0	0,0	10,8
5	7,3	1,6	0,5	12,2
10	9,6	2,7	1,2	14,7
15	12,9	4,4	2,5	18,6
20	17,7	7,4	5,0	25,0
25	25,1	12,7	9,7	35,0
30	37,2	22,5	18,7	52,0
34		36,5	36,0	
35	52,6	41,4	42,4	82,0
40	95,7	81,3	100,4	141,0
45	172,3	173,3	297,5	298,0
48	258,3	287,9	780,9	
50	347,5	415,1	1153,2	800,0

(Kementerian pekerjaan umum sumber daya air ,KP 6 Parameter Bangunan 2013: 33)

Faktor faktor daya dukung untuk persamaan terzaghi (nilai-nilai N_{γ} untuk ϕ sebesar 34° dan 48° adalah nilai Terzaghi asli untuk menghitung $k_{p\gamma}$ (sumber KP 06: 33)

Tabel 2.5 Harga-harga perkiraan daya dukung izin

jenis	Daya dukung	
	KN/m ²	Kgf/cm ²
Batu sangat keras	10.000	100
Batu kapur / batu pasir keras	4.000	40
Kerikil berkerapatan sedang atau pasir dan kerikil	200 – 600	2 – 6
Pasir berkerapatan sedang	100 – 300	1 – 3
Lempung kenyal	150 – 300	1,5 – 3
Lempung teguh	75 – 150	0,75 – 1,5
Lempung lunak dan lanau	< 75	< 0,75

(Kementerian pekerjaan umum sumber daya air, KP 6 Parameter Bangunan 2009 ; 31)

2.23. Kontrol Terhadap *Piping*

Rembesan melalui tubuh bendungan, fondasi, tumpuan, dan tepian/ bukit sekeliling waduk harus terkendali, sehingga tidak boleh terjadi gaya angkat (uplift) yang berlebihan, ketidak stabilan, longsoran, aliran buluh, terhanyutnya material karena pelarutan, atau erosi internal/ material terbawa aliran rembesan melalui

rekahan, kekar dan rongga. Tebing/dinding sekeliling waduk harus stabil pada segala kondisi operasi (severe operation), sehingga tidak boleh terjadi ketidak stabilan pada dinding tipis sekeliling waduk. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya longsoran besar yang masuk ke dalam waduk saat pengisian waduk (impounding) sehingga memicu timbulnya gelombang besar yang dapat mengakibatkan luapan air waduk. Keamanan bendungan urugan tanah terhadap piping dapat dihitung berdasarkan rumus berikut (Pusat Pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi, 2017: 62-63).

$$FK = \frac{I_c}{I_e} \geq 4 \dots \dots \dots (2-4)$$

$$I_c = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \dots \dots \dots (2-5)$$

Keterangan:

FK = faktor keamanan (tanpa dimensi) = 4,00

I_c = gradient keluaran kritis (tanpa dimensi)

I_e = gradient keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan intrumen pisometer (tanpa dimensi)

γ = berat volume efektif (terendam) (t/m^3)

γ_w = berat volume air (t/m^3)

G_s = gravity spesifik (tanpa dimensi)

e = angka pori

2.24. Kontrol Terhadap Rembesan

Tahun 1856, Henry Darcy, seorang ahli hidraulika dari Perancis mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah. Karena aliran air dalam lapisan tanah mempunyai kecepatan yang kecil sekali, maka aliran tersebut dapat dianggap sebagai aliran laminar. *Darcy* mendapatkan bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun keluar dari lapisan tanah sebanding dengan gradien hidrauliknya (Pusat Pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi, 2017: 62-63).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada hukum *darcy*, adalah:

- Kecepatan aliran V_d adalah kecepatan aliran fluida dan didefinisikan sebagai jumlah kotor aliran yang mengalir melalui luas penampang massa tanah dalam satuan waktu tertentu. Karena aliran hanya terjadi melalui pori-pori tanah, aliran air yang riil atau kecepatan rembesan (V_s) untuk suatu molekul tunggal dari air yang melalui suatu alur unik dari pori-pori tanah adalah lebih besar dibandingkan dengan kecepatan debitnya. (Pusat Pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi, 2017: 62-63)
- Kecepatan rembesan secara kasar adalah sama dengan kecepatan debit dibagi dengan porositas tanah. (Pusat Pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi 2017: 62-63)
- Hukum *Darcy* hanya berlaku untuk aliran laminar (aliran-aliran air yang berdekatan saling sejajar dan lurus serta kecepatan aliran V_d adalah proporsional dengan gradien hidraulis, i). Hukum ini berlaku untuk kebanyakan tanah, tetapi aliran melalui kerikil kasar dan bukaan dalam batuan dapat berubah menjadi turbulen dan V_d akan proporsional dengan akar kuadrat dari i . (Pusat Pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi, 2017: 62-63)
- Hukum *Darcy* dibatasi untuk aliran melalui material yang jenuh. Aliran melalui material yang tak jenuh adalah dalam kondisi “*transient*” yang tergantung dari waktu (*time dependent*). (Pusat Pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi, 2017: 62-63)
- Hukum *Darcy* tidak cocok untuk aliran melalui retakan atau rekahan dari batu atau tanah.