

Metode Pemasangan Instrumen Keamanan Bendungan Lausimeme

Henu Satya Aliputa* , Sukamta, Hari Nugroho

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat metode pemasangan instrumen keamanan Bendungan Lausimeme sesuai gambar kerja (*shopdrawing*) dan keadaan di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 16 Piezometer Vibrating Wire (PVW), 4 Inklinometer, 4 Multilayer Settlement, dan 8 Open Standpipe Piezometer dipasang dengan pengeboran. Total kedalaman pengeboran untuk pemasangan instrumen adalah 438,92 m. Sebanyak 42 PVW, 9 Crest Settlement Survey Point, dan 21 Surface Settlement Survey Point dipasang bersamaan tubuh bendungan. Sebanyak 1 Seepage Measuring Device, 1 Seismograf dan 1 Observation Well dipasang diluar tubuh bendungan. Tahapan umum pemasangan dengan pengeboran dimulai dengan persiapan instrumen, marking titik pengeboran, pengeboran, pemasangan instrumen, pembacaan instrumen, pengisian lubang bor, dan penempatan pipa/kabel. Pemasangan instrumen bersamaan dengan tubuh bendungan dimulai dengan persiapan instrumen, marking titik, pemasangan instrumen, dan pembacaan instrumen. Instrumen observation well yang dipasang diluar tubuh bendungan memiliki tahap yang sama seperti pisometer pipa terbuka. Seepage measuring device dan seismograf memiliki tahap pekerjaan yang bervariasi. Sumber daya utama yang diperlukan untuk pengeboran adalah tim pengeboran, material pengisi lubang bor, dan 1 set alat bor kering. Sumber daya utama untuk pemasangan bersamaan dengan tubuh bendungan adalah waterpass dan handtamper. Kontraktor harus menyiapkan sumberdaya yang dibutuhkan 1 bulan sebelum pekerjaan dimulai.

Kata kunci: instrumen keamanan bendungan; bendungan lausimeme; metode pemasangan; tahapan pelaksanaan; sumber daya

Abstract

[Title: Installation Method for Safety Instruments In Lausimeme Dam]. This research aims to create a method for installing safety instruments for the Lausimeme Dam according to shop drawings and conditions in the field. The research results showed that there were 16 Vibrating Wire Piezometers (PVW), 4 Inclinometers, 4 Multilayer Settlements, and 8 Open Standpipe Piezometers installed by drilling. The total drilling depth for instrument installation was 438.92 m. A total of 42 PVW, 9 Crest Settlement Survey Points, and 21 Surface Settlement Survey Points were installed along the dam body. A total of 1 Seepage Measuring Device, 1 Seismograph and 1 Observation Well are installed outside the dam body. The general stages of installation with drilling start with instrument preparation, drilling point marking, drilling, instrument installation, instrument reading, drilling hole filling, and pipe/cable placement. Installation of instruments together with the dam body begins with instrument preparation, point marking, instrument installation, and instrument reading. The observation well instrument installed outside the dam body has the same stages as the open pipe piezometer. Seepage measuring devices and seismographs have varying stages of work. The main resources required for drilling are a drilling team, drill hole filling material, and 1 set of dry drilling tools. The main resources for installation along with the dam body are waterpass and hand tamper. Contractor must prepare the required resources 1 month before work begins

^{*)} Penulis Korespondensi.
E-mail: satyaliputa@gmail.com

Keywords: dam safety instruments; lausimeme dam; installation method; stages of implementation; resource

1. Pendahuluan

Bendungan selain memberikan banyak manfaat juga memiliki risiko potensi bahaya yang dapat menimbulkan bencana apabila bendungan tersebut mengalami kegagalan atau keruntuhan (Buldan R. et al., 2021). Berdasarkan penelitian para ahli, lebih kurang 85% kerusakan bendungan disebabkan oleh pengaruh hidraulik dan rembesan air, yang biasanya sulit dihitung secara teliti, hal ini berarti bahwa desain suatu bendungan tidak semuanya dapat dihitung secara teoritis (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017). Pemantauan secara detail perlu dilakukan dengan instrumen geoteknik (keamanan) bendungan agar kegagalan bendungan dapat dicegah.

Instrumen geoteknik adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur parameter geoteknik yang terjadi pada bendungan (Ishbaev A. et al., 2014). Parameter geoteknik tersebut terjadi pada saat konstruksi, pengisian awal, dan saat pengoperasian air waduk. Gejala bahaya pada bendungan dapat dideteksi dengan instrumen (Nala I M. A. et al., 2021). Parameter geoteknik yang diukur pada bendungan dapat mengetahui perilaku bendungan dan memperkirakan perilaku yang akan terjadi (Pramudawati M. A. H. et al., 2020). Interpretasi instrumentasi pada bendungan urugan tanah yang ada di Indonesia sedikit yang telah dilakukan dimana kondisi ini sangat mengkhawatirkan. (Siregar G. G. P. & Kurniawan F. A., 2021).

Pemasangan instrumen geoteknik selama konstruksi proyek atau pada struktur eksisting, memerlukan perhatian khusus. Kesalahan pemasangan instrumen tidak hanya menghasilkan data salah dan penampilan data yang tidak baik, tetapi juga dapat mempengaruhi kestabilan struktur. Metode pelaksanaan pemasangan tergantung pada parameter yang dipantau, kondisi lapangan, dan instrumen yang dipilih (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017).

Metode pelaksanaan adalah bagian yang sangat penting dalam proyek konstruksi untuk mendapatkan tujuan dari proyek, yaitu biaya, kualitas dan waktu (Adinegoro C. et al., 2021). Metode pelaksanaan dapat diartikan sebagai kegiatan pembangunan dengan cara yang telah diketahui untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan (Bangun S. et al., 2022). Salah satu faktor yang mempengaruhi keterlambatan waktu pelaksanaan adalah peralatan yang digunakan kurang memadai selain itu juga sering terjadi kerusakan (Onibala E. C. et al., 2018). Maka dari itu metode pelaksanaan perlu disiapkan sebelum memulai pekerjaan agar sumber daya yang digunakan bisa disiapkan sebaik mungkin.

Bendungan Lausimeme merupakan bendungan urugan yang dalam proses pembangunan. Bendungan ini akan dipasang beberapa unit instrumen keamanan bendungan. Instrumen tersebut adalah 58 *Piezometer*

Vibrating Wire, 4 *Inklinometer*, 4 *Multilayer Settlement*, 9 *Crest Settlement Survey Point*, 21 *Surface Settlement Survey Point*, 8 *Open Standpipe Piezometer*, 1 *Seepage Measuring Device*, dan 1 *Observation Well*. Selain instrumen keamanan bendungan, Bendungan Lausimeme juga akan dipasang 2 unit instrumen Hidrometeorologi, yaitu 1 *Automatic Water Level Recorder* dan 1 *Automatic Rainfall Recorder*. Metode pelaksanaan pemasangan instrumen keamanan pada Bendungan Lausimeme harus direncanakan sedetail mungkin agar tidak mengganggu waktu pelaksanaan proyek dan instrumen dapat berfungsi dengan baik.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Bendungan Lausimeme yang terletak di Sungai Percut Desa Kuala Dekah Kecamatan Sibiru-Biru Kabupaten Deli Serdang. Metode penelitian yang digunakan adalah metode observasi dengan pengamatan langsung kondisi lapangan dan membandingkannya dengan referensi yang digunakan. Tahapan penelitian ini adalah (1) inventarisasi data, (2) metode pemasangan instrumen, (3) sumber daya yang dibutuhkan. Penelitian ini

Data yang dikumpulkan dan digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sumatera II. Data-data tersebut adalah *shopdrawing* dan spesifikasi teknis instrumen, Data-data yang dikumpulkan digunakan untuk membuat metode pemasangan instrumen.

Instrumen geoteknik bendungan adalah segala jenis peralatan yang dipasang pada tubuh maupun fondasi bendungan untuk memantau kinerja atau perilaku bendungan selama masa konstruksi maupun pada tahap operasinya (Sutisna N. et al., 2021). Data *shopdrawing* dapat menjelaskan lokasi instrumen yang terdapat di fondasi atau tubuh bendungan.

Sebelum instrumen dipasang perlu dilakukan kalibrasi untuk dapat memastikan keabsahan data. Pemasangan instrumentasi dilakukan dengan mematuhi prosedur pemasangan alat sesuai spesifikasi teknis yang telah ada (Zaky F. et al., 2023). Penyusunan metode pemasangan harus memperhatikan spesifikasi teknis instrumen dan data *shopdrawing* instrumen tersebut.

Kebutuhan sumber daya seperti alat, bahan, dan personel ditentukan dari metode pelaksanaan pemasangan instrumen. Misalnya suatu instrumen dipasang dengan cara mengebor tubuh bendungan, maka alat yang dibutuhkan adalah alat bor. Namun jika instrumen dipasang bersamaan dengan pekerjaan timbunan tanah, maka alat bor tidak dibutuhkan.

Kondisi pemasangan instrumen di lapangan berkaitan dengan pekerjaan lain, misalnya mobilisasi alat berat dan pekerjaan timbunan tubuh bendungan. Observasi langsung di lapangan dapat mencegah hambatan atau kerusakan yang akan terjadi. Penyusunan

metode pemasangan harus dilakukan dengan observasi langsung di lapangan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Metode Pemasangan Instrumen

Menurut Pusdiklat SDA dan Konstruksi (2017) Pada umumnya metode pemasangan instrumen dapat dibagi menjadi 4 kategori, yaitu dipasang dengan pengeboran, dipasang bersamaan timbunan tubuh bendungan, dipasang diluar tubuh bendungan dan dipasang di dalam galeri. Bendungan Lausimeme merupakan bendungan yang tidak memiliki galeri di tubuh bendungannya. Berdasarkan hal tersebut, maka pengelompokan instrumen hanya menjadi 3 kategori (tanpa kategori dipasang dalam galeri).

3.1.1 Pemasangan dengan Pengeboran

Metode bor kering adalah metode pengeboran yang tidak menyebabkan longsor pada dinding lubang bor. Bor kering dilakukan pada tanah lempung kaku yang homogen. Bor kering, juga memungkinkan untuk dilakukan pada bawah permukaan air tanah. (Jali A. & Wibowo P. H., 2023).

Total jumlah lubang bor yang harus dikerjakan adalah 20 titik lubang bor. Total kedalaman pengeboran dari 20 titik tersebut adalah 438,92 m. Instrumen yang memiliki kedalaman pengeboran terdalam adalah instrumen pisometer pipa terbuka.

Letak beberapa instrumen ada yang dalam satu lubang bor . Contohnya adalah pisometer *vibrating wire* dengan label instrumen 3.1 dan 3.3 di dalam lubang bor LB.A14.U/S yang dapat dilihat pada tabel 1. Pada lubang bor LB.A14.U/S, kedalaman pengeborannya adalah dari permukaan *caping* beton sampai pada elevasi instrumen yang terdalam yaitu elevasi 166 m (instrumen P3.1) ditambah 0,25 cm kebawah (untuk pasir saring).

3.1.1.1 Pisometer *Vibrating Wire* dan Pipa Terbuka

Tahapan pemasangan pisometer *vibrating wire* dan pisometer pipa terbuka dengan cara pengeboran hampir sama. Tahapan pelaksanaan keduanya dapat dijadikan satu. Perbedaan keduanya adalah penyambung tranduser pisometer *vibrating wire* berupa kabel sedangkan pisometer pipa tegak terbuka berupa pipa. Tahapan pelaksanaan pemasangan dapat dilihat pada Gambar 1.

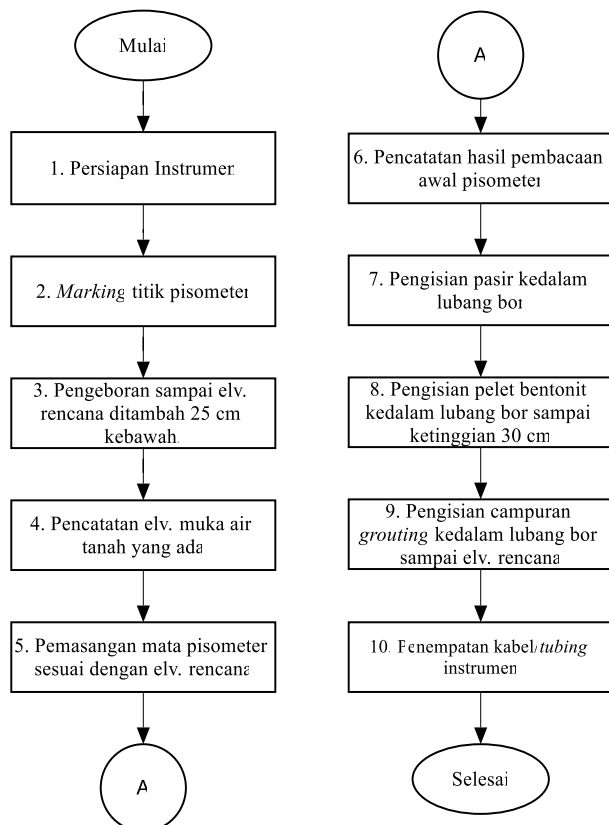
Kegiatan persiapan instrumen pisometer *vibrating wire* berupa pemeriksaan kelengkapan, kalibrasi dan penjujukan mata pisometer. Hal-hal yang diperiksa dan dibuat *checklist* adalah kesesuaian spesifikasi, berfungsinya instrumen, kelengkapan instrumen, dan kelengkapan pemasangan. Pendetangan dan pemeriksaan instrumen lebih baik 1 bulan sebelum jadwal pemasangan agar jika instrumen tidak berfungsi maka bisa dilakukan pengiriman unit baru atau perbaikan.

Kalibrasi alat pisometer *vibrating wire* dapat dilakukan dengan memasukan mata pisometer yang sudah tersambung dengan alat baca ke kolam/tampungan yang cukup dalam. Penurunan instrumen kedalam kolam dilakukan secara bertahap dan dilakukan pembacaan. Setelah sampai kedalaman tertentu instrumen dinaikkan lagi secara bertahap dan dilakukan pembacaan.

Lakukan pengeboran dengan mesin bor putar atau alat bor auger dengan batang berlubang. Mata bor yang digunakan adalah berdiameter 6 inci agar lubang bor dapat dipasang beberapa pisometer dalam satu lubang bor. Pengeboran dilakukan dengan bor kering (tanpa penyemprotan air). Saat pengeboran diambil juga sampel tanah untuk dilakukan pengujian permeabilitas, *standart penetration test* dan sampel tanah tidak terganggu.

Kedalaman pengeboran harus sesuai dengan elevasi rencana mata pisometer dengan ditambah 25 cm kebawah. Kedalaman 25 cm ini digunakan untuk pengisian pasir saring yang mengelilingi mata pisometer. Lubang bor dibersihkan dari kotoran setelah pengeboran selesai.

Elevasi muka air tanah dalam lubang bor digunakan untuk pengecekan pembacaan instrumen. Elevasi muka air tanah diukur dengan alat *water level dip*



Gambar 1. Diagram alir pemasangan pisometer *vibrating wire* dan pipa terbuka dengan pengeboran

Tabel 1. Instrumen yang dipasang dengan pengeboran

Instrumen	Label Instrumen	Label Lubang Bor	Lokasi Instrumen		Elevasi Instrumen
			Kedalaman Bor (m)	Jarak Dari AS DAM	
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.1	LB.A14.U.6	16,30	6 m U/S	166,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.3			6 m U/S	178,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.2	LB.A14.D.6	16,30	6 m D/S	166,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.4			6 m D/S	178,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.1	LB.A10.U.6	16,25	6 m U/S	167,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.3			6 m U/S	179,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.2	LB.A10.D.6	16,25	6 m D/S	167,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.4			6 m D/S	179,50
<i>Multilayer Settlement</i>	S3	LB.A15.AS	3,00	AS DAM	179,31
Inklinometer	IN3			AS DAM	179,31
<i>Multilayer Settlement</i>	S2	LB.A12.AS	3,00	AS DAM	180,00
Inklinometer	IN2			AS DAM	180,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.1	LB.A18.U.6	16,20	6 m U/S	189,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.3			6 m U/S	201,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.2	LB.A18.D.6	16,20	6 m D/S	189,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.4			6 m D/S	201,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.1	LB.A6.U.6	16,46	6 m U/S	198,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.3			6 m U/S	210,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.2	LB.A6.D.6	16,46	6 m D/S	198,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.4			6 m D/S	210,50
<i>Multilayer Settlement</i>	S1	LB.A7.AS	3,00	AS DAM	204,70
Inklinometer	IN1			AS DAM	204,70
<i>Multilayer Settlement</i>	S4	LB.A19.AS	3,00	AS DAM	213,50
Inklinometer	IN4			AS DAM	213,50
Pisometer Pipa Terbuka	D/S	LB.A18.D.4	42,60	4 m D/S	210,90
Pisometer Pipa Terbuka	D/S	LB.A14.D.4	42,60	4 m D/S	210,90
Pisometer Pipa Terbuka	D/S	LB.A10.D.4	42,60	4 m D/S	210,90
Pisometer Pipa Terbuka	D/S	LB.A6.D.4	36,70	4 m D/S	216,80
Pisometer Pipa Terbuka	U/S	LB.A18.U.4	33,00	4 m U/S	220,50
Pisometer Pipa Terbuka	U/S	LB.A14.U.4	33,00	4 m U/S	220,50
Pisometer Pipa Terbuka	U/S	LB.A10.U.4	33,00	4 m U/S	220,50
Pisometer Pipa Terbuka	U/S	LB.A6.U.4	33,00	4 m U/S	220,50

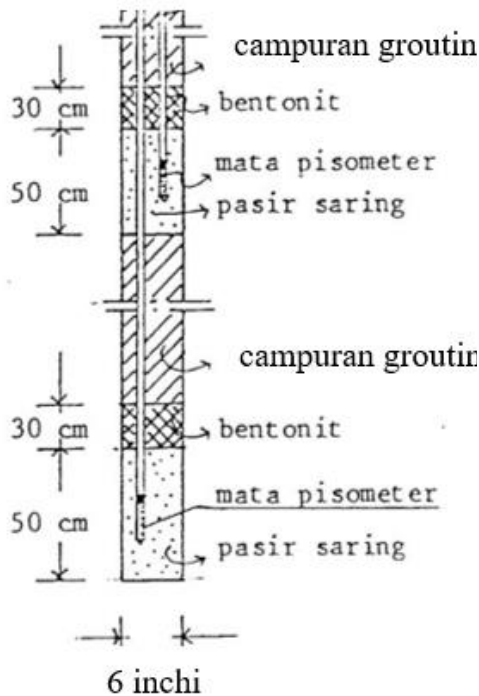
meter. Jika dibutuhkan, sampel air tanah diambil untuk dilakukan pengujian.

Sebelum mata pisometer dimasukkan kedalam lubang bor, pasir saring yang sudah bersih dituangkan kedalam lubang bor setinggi 25 cm dari dasar lubang bor. Kemudian mata pisometer dimasukkan kedalam lubang bor dengan hati-hati. Untuk menghindari rusaknya sistem elektronis ini terhadap bahaya petir, maka kabel-kabel perlu dibungkus cukup rapat serta perlu dipasang alat penangkal petir (Zaky F. et al., 2023). Lakukan pembacaan dengan alat baca yang sudah terkalibrasi sebelumnya. Hasil pembacaan dibandingkan dengan elevasi muka air tanah yang sudah dicatat sebelumnya. Jika hasil pembacaan ada perbedaan, maka hasil

pembacaannya tetap dicatat agar nanti dilakukan pengkoreksian.

Pasir saring yang bersih diisi lagi ke dalam lubang bor. Batas ketebalan pasir saring adalah 25 cm di atas mata pisometer. Pasir saring membungkus mata pisometer dengan ketebalan total 50 cm di atas dasar lubang bor seperti Gambar 2. Lakukan pembacaan ulang pisometer dan kemudian dicatat.

Masukkan pelet-pelet bentonite ke dalam lubang bor sampai mencapai ketebalan 30 cm di atas pasir saring. Pelet bentonite dapat mengembang ketika terkena air. Fungsi pellet bentonite adalah penyekat air agar tidak masuk. Setelah pelet bentonite dimasukkan, lakukan pembacaan ulang pisometer dan kemudian dicatat.



Gambar 2. Prinsip pemasangan pisometer dengan pengeboran

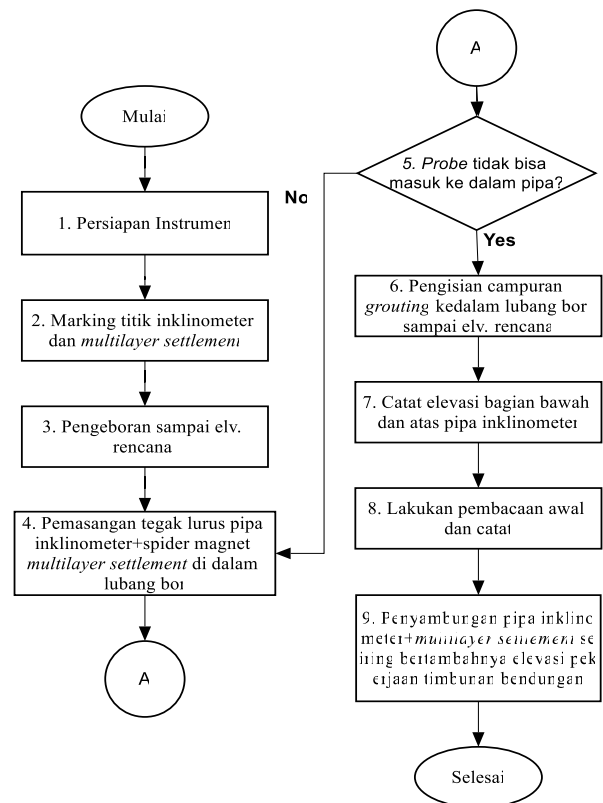
Campuran *grouting* digunakan untuk mengisi lubang bor dari lapisan bentonite keatas. Campuran *grouting* dimasukkan melalui pipa tremi. Pipa diangkat secara perlahan agar campuran *grouting* mengisi semua ruangan. Campuran *grouting* diisi hingga ketinggian yang ditentukan. Setelah campuran *grouting* dimasukkan, lakukan pembacaan ulang pisometer dan kemudian dicatat.

Jika terdapat pisometer lain yang akan dipasang diatas pisometer yang sudah terpasang, maka campuran *grouting* diisi hingga elevasi mata pisometer lainnya ditambah ketinggian 25 cm untuk pasir saring seperti Gambar 2.. Lakukan kembali tahap pekerjaan pemasangan mata pisometer. Pengisian campuran *grouting* dilakukan sampai permukaan tanah atau elevasi mata pisometer berikutnya.

Rencana letak gardu kabel instrumen adalah di puncak bendungan. Kabel instrumen yang berada pada *caping* beton akan disambung sampai ke gardu kabel instrumen melalui timbunan zona inti/filter tubuh bendungan. Panjang kabel keatas mengikuti alur zona inti/filter bendungan. Pemadatan tanah pada sekitar kabel baiknya menggunakan *handtamper* agar kabel tidak rusak.

3.1.1.2 Inklinometer dan *Multilayer Settlement*

Inklinometer merupakan instrumentasi geoteknik yang digunakan untuk mengukur pergerakan horizontal lapisan tanah (Handayasari I. & Mujahid H., 2015).



Gambar 3. Diagram alir pemasangan inklinometer dan *multilayer settlement* dengan pengeboran

Tubuh bendungan akan mengalami tekanan dari beban sendiri sampai dengan efek *loading* air waduk. Gaya tekanan tersebut mengakibatkan tubuh bendungan akan mengalami deformasi (Istiaji M. S. et al., 2021).

Alat *Multilayer Settlement* dipasang menempel pada pipa inklinometer. Pemasangan kedua instrumen tersebut dapat dijadikan satu. Pemasangan keduanya dilakukan dengan metode pengeboran dan metode bersamaan penimbunan tubuh bendungan.

Ujung bawah pipa Inklinometer dan *Multilayer Settlement* harus menempel pada tanah asli/fondasi bendungan. Sehingga untuk ujung bawah pipa tersebut harus dipasang dengan metode pengeboran, sedangkan bagian pipa yang terletak diatas tanah asli dipasang dengan metode timbunan. Tahapan pelaksanaan pemasangan Inklinometer dan *Multilayer Settlement* dapat dilihat pada Gambar 3.

Pemeriksaan kelengkapan Bagian alat inklinometer yang harus dikalibrasi adalah torpedo/*probe* dan alat bacanya. Kalibrasi dilakukan dengan alat kalibrasi dari pabrik berupa dudukan probe berbentuk segitiga yang dilengkapi posisi sudut. *Probe* dipasang pada alat kalibrasi tersebut kemudian dimiringkan ke sudut tertentu dan lakukan pembacaan. Misalnya *probe*



Gambar 4. Pemasangan pipa inklinometer dan *spider magnet*

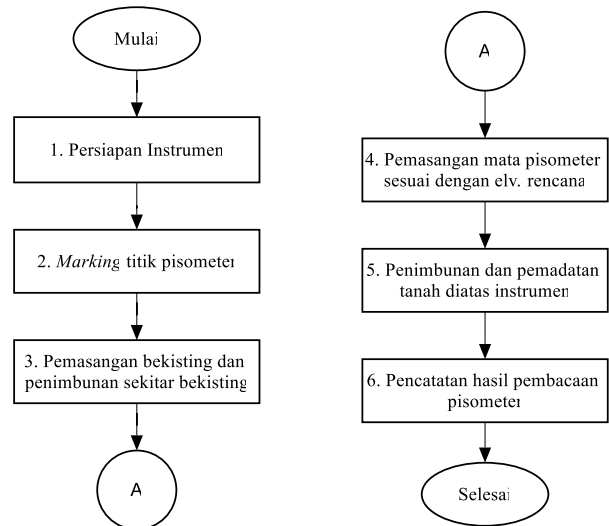
dimiringkan dengan sudut 5° , maka pembacaan alat harus sama dengan $L \sin 5^\circ$ (Najoan & Soetijono, 2002).

Pasang *spider magnet multilayer settlement* pada pipa inklinometer. Pastikan *spider magnet* menempel erat pada pipa inklinometer. *Spider magnet* dipasang dalam keadaan kaki-kaki plat menutup dengan penguncian kawat. Pastikan kaki-kaki plat dapat mengembang saat kunci kawat ditarik (Zainuddin et al., 2003).

Tahap pengeboran, pengisian campuran grouting, dan pembacaan awal dapat dilakukan sama seperti subbab 3.1.1.1. Pipa inklinometer dengan *spider magnet* yang sudah terpasang dimasukkan ke dalam lubang bor dengan hati-hati seperti Gambar 4. Pastikan pipa terpasang dengan tegak lurus terhadap lubang bor. Jika pipa inklinometer susah dimasukkan akibat tekanan tinggi air tanah di lubang bor, maka isikan air ke dalam pipa inklinometer seperlunya untuk melawan tekanan air tanah. Bagian bawah pipa harus mencapai bagian dasar lubang bor.

Jika panjang pipa inklinometer kurang mencukupi, maka sambung pipa inklinometer dengan menggunakan *coupling* inklinometer. *Coupling* dimasukkan ke dalam pipa yang akan disambung. *Spider magnet* harus sudah terpasang pada tambahan pipa dengan jarak yang ditentukan. Pipa disambung dengan alat perekat.

Setelah pipa inklinometer terpasang pada lubang bor, kemudian masukkan *probe* ke dalam pipa inklinometer. Jika *probe* tidak dapat turun ke dasar pipa, maka tarik pipa inklinometer ke atas dan teliti penyebabnya. Setelah diperbaiki kesalahannya, kemudian pasang lagi pipa inklinometer dengan tegak



Gambar 5. Diagram alir pemasangan pisometer *vibrating wire* dengan timbunan

lurus. Setelah pipa dan *spider magnet* masuk ke dalam lubang bor dengan benar, kemudian tarik kawat pengunci *spider magnet* agar plat kaki dapat terbuka.

Pipa inklinometer dan *multiyater settlement* yang telah dipasang di dalam fondasi harus diperpanjang sesuai dengan naiknya timbunan tubuh bendungan sampai mencapai puncak bendungan. Penyambungan pipa inklinometer sama seperti langkah nomor 4 pada gambar 3 dan seterusnya.

3.1.2 Pemasangan dengan Timbunan Bendungan

Jumlah keseluruhan instrumen yang dipasang dipasang bersamaan dengan penimbunan tubuh bendungan adalah 72 unit. Jumlah masing-masing instrumen yaitu pisometer *vibrating wire* 42 unit, patok geser lereng 21 unit dan patok geser puncak 9 unit.

Semua kabel pisometer *vibrating wire* akan terkumpul di gardu kabel instrumen di puncak bendungan. Jumlah keseluruhan gardu kabel instrumen berjumlah 12 unit yang terdiri dari 4 unit di sisi hulu puncak bendungan, 4 unit di Tengah puncak bendungan, dan 4 unit di sisi hilir puncak bendungan.

3.1.2.1 Pisometer *Vibrating Wire*

Kabel pisometer *vibrating wire* yang dipasang dengan pengeboran (letak di fondasi) sealur dengan pisometer yang dipasang dengan penimbunan. contohnya adalah pisometer label P2.6 dengan label P2.3. Kabel-kabel instrumen tersebut terkumpul menjadi satu di gardu kabel instrumen dengan label AK.A10.U.

Tahap persiapan pisometer *vibrating wire* pemasangan dengan timbunan sama seperti pemasangan dengan pengeboran. Pekerjaan pemasangan instrumen dilakukan saat elevasi pekerjaan timbunan sama seperti elevasi rencana mata pisometer dikurangi 25 cm.

Saat elevasi pekerjaan timbunan sama seperti elevasi rencana mata pisometer dikurangi 25 cm, pasang bekisting dengan tinggi 50 cm di titik pemasangan mata pisometer dan cek kedataran tanah. Pastikan bekisting kuat menahan tanah saat dilakukan pemadatan dengan *handtamper*. Fungsi dari bekisting adalah menciptakan ruang kosong di titik mata pisometer ketika timbunan

material elevasinya naik. Ruang kosong tersebut nantinya akan diisi pasir saring dan mata pisometer. Saat elevasi timbunan sudah naik 50 cm dari elevasi awal, cabut bekisting secara perlahan. Pastikan dinding di ruang kosong tersebut tidak runtuh. Lakukan pembersihan kotoran di ruang kosong tersebut.

Tabel 2. Instrumen yang dipasang bersamaan timbunan tubuh bendungan

Instrumen	Label Instrumen	Label Gardu Kabel Instrumen	Lokasi Instrumen		Elevasi Instrumen
			Zona	Jarak Dari AS DAM	
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.5	AK.A14.U	Zona Filter	19,5 m D/S	183,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.5	AK.A10.D	Zona Filter	19 m D/S	184,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.6	AK.A14.U	Zona Inti	6 m U/S	190,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.7	AK.A14.D	Zona Inti	6 m D/S	190,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.6	AK.A10.U	Zona Inti	6 m U/S	190,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.7	AK.A10.D	Zona Inti	6 m D/S	190,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.8	AK.A10.D	Zona Filter	15 m U/S	197,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.9	AK.A10.U	Zona Inti	6 m U/S	197,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.10	AK.A10.D	Zona Inti	6 m D/S	197,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.8	AK.A14.U	Zona Filter	15,5 m U/S	197,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.9	AK.A14.U	Zona Inti	6 m U/S	197,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.10	AK.A14.D	Zona Inti	6 m D/S	197,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.5	AK.A18.D	Zona Filter	14 m D/S	206,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.11	AK.A14.U	Zona Inti	6 m U/S	207,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.12	AK.A14.D	Zona Inti	6 m D/S	207,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.13	AK.A14.D	Zona Filter	14 m D/S	207,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.11	AK.A10.U	Zona Inti	6 m U/S	207,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.12	AK.A10.D	Zona Inti	6 m D/S	207,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.13	AK.A10.D	Zona Filter	14 m D/S	207,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.6	AK.A18.U	Zona Inti	6 m U/S	211,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.7	AK.A18.D	Zona Inti	6 m D/S	211,50
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.5	AK.A6.D	Zona Filter	12 m D/S	216,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.14	AK.A10.U	Zona Filter	10,5 m U/S	219,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.15	AK.A10.AS	Zona Inti	AS DAM	219,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.14	AK.A14.U.	Zona Filter	10,5 m U/S	219,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.15	AK.A14.AS	Zona Inti	AS DAM	219,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.8	AK.A18.U	Zona Filter	10,5 m U/S	219,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.9	AK.A18.AS	Zona Inti	AS DAM	219,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.6	AK.A6.U	Zona Inti	6 m U/S	221,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.7	AK.A6.D	Zona Inti	6 m D/S	221,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.8	AK.A6.U	Zona Inti	6 m U/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.9	AK.A6.D	Zona Inti	6 m D/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.16	AK.A10.U	Zona Inti	6 m U/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.17	AK.A10.D	Zona Inti	6 m D/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.10	AK.A18.U	Zona Inti	6 m U/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.11	AK.A18.D	Zona Inti	6 m D/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.16	AK.A14.U	Zona Inti	6 m U/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.17	AK.A14.D	Zona Inti	6 m D/S	231,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 1.10	AK.A6.AS	Zona Inti	AS DAM	243,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 2.18	AK.A10.AS	Zona Inti	AS DAM	243,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 3.18	AK.A14.AS	Zona Inti	AS DAM	243,00
Pisometer <i>Vibrating Wire</i>	P 4.12	AK.A18.AS	Zona Inti	AS DAM	243,00

Tabel 2. Instrumen yang dipasang bersamaan timbunan tubuh bendungan...*lanjutan*

Instrumen	Label Instrumen	Label Gardu Kabel Instrumen	Lokasi Instrumen		Elevasi Instrumen
			Zona	Jarak Dari AS DAM	
Patok Geser Lereng	SP19		Rip Rap D/S	133,16 m D/S	193,50
Patok Geser Lereng	SP20		Rip Rap D/S	133,16 m D/S	193,50
Patok Geser Lereng	SP21		Rip Rap D/S	133,16 m D/S	193,50
Patok Geser Lereng	SP15		Rip Rap D/S	98,18 m D/S	208,50
Patok Geser Lereng	SP16		Rip Rap D/S	98,18 m D/S	208,50
Patok Geser Lereng	SP17		Rip Rap D/S	98,18 m D/S	208,50
Patok Geser Lereng	SP18		Rip Rap D/S	98,18 m D/S	208,50
Patok Geser Lereng	SP9		Rip Rap D/S	68,18 m D/S	223,50
Patok Geser Lereng	SP10		Rip Rap D/S	68,18 m D/S	223,50
Patok Geser Lereng	SP11		Rip Rap D/S	68,18 m D/S	223,50
Patok Geser Lereng	SP12		Rip Rap D/S	68,18 m D/S	223,50
Patok Geser Lereng	SP13		Rip Rap D/S	68,18 m D/S	223,50
Patok Geser Lereng	SP14		Rip Rap D/S	68,18 m D/S	223,50
Patok Geser Lereng	SP1		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Lereng	SP2		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Lereng	SP3		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Lereng	SP4		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Lereng	SP5		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Lereng	SP6		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Lereng	SP7		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Lereng	SP8		Rip Rap D/S	38,18 m D/S	238,50
Patok Geser Puncak	CP1		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP2		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP3		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP4		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP5		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP6		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP7		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP8		Puncak	4 m D/S	253,50
Patok Geser Puncak	CP9		Puncak	4 m D/S	253,50

Sebelum mata pisometer dimasukkan kedalam ruang kosong, pasir saring yang sudah bersih dituangkan kedalam ruang kosong setinggi 25 cm dari dasar dan dipadatkan. Kemudian mata pisometer dimasukkan kedalam ruangan kosong dengan hati-hati. Pastikan elevasi mata pisometer sesuai dengan elevasi rencana.

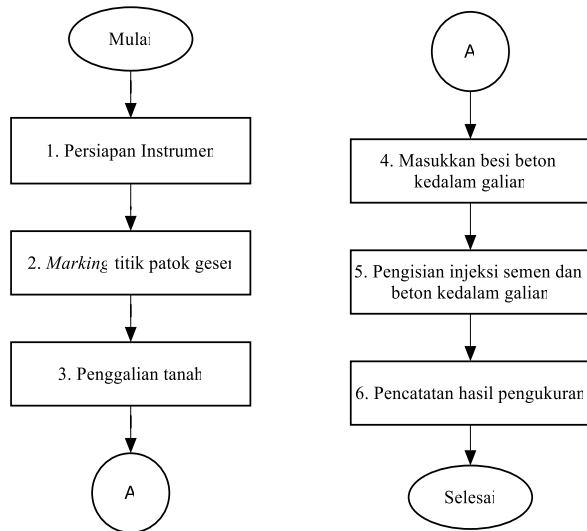
Setelah mata pisometer diletakkan, pasir saring yang bersih diisi lagi ke dalam ruang kosong dan dipadatkan. Batas ketebalan pasir saring adalah 25 cm di atas mata pisometer. Pasir saring membungkus mata pisometer dengan ketebalan total 50 cm di atas dasar. Setelah ketinggian pasir sudah sesuai, kemudian beri tanda agar instrumen tidak rusak oleh aktifitas pekerjaan.

Kabel instrumen yang terletak di atas lapisan pasir akan ditimbun menggunakan material pada zona itu. Setiap ketebalan 10 cm hamparan tanah di atas instrumen dipadatkan dengan *handtamper*. Setelah pemadatan tanah alangkah baiknya dilakukan pembacaan untuk memastikan alat dan kabel dapat berfungsi dengan baik.

3.1.2.2 Patok Geser (*Settlement Survey Point*)

Penggalan tanah pada *rip rap* dapat dilakukan dengan *jack hammer*. Luas galian sekitar 50cm x 50cm dengan kedalaman 1,5 m. Pastikan galian kedalaman 1,45 m dapat dimasuki besi beton dengan diameter 2,54 cm. Posisi galian adalah tegak lurus terhadap bidang datar, bukan tegak lurus terhadap kemiringan lereng.

Injeksi semen dimasukkan setelah besi beton dimasukkan kedalam lubang. Injeksi semen dimasukkan kedalam celah galian yang sempit. Pastikan injeksi semen terisi penuh ke seluruh celah di bawah. Sisakan 40 cm keatas ruang kosong untuk nanti diisi dengan beton. Beton dimasukkan kedalam ruang kosong hingga penuh sampai permukaan. Sebelum beton mengering, masukkan pipa berdiameter 3,5 inci dan ketinggian 40 cm kedalam beton dengan posisi mengelilingi besi beton dan tegak lurus. Pipa dilengkapi penutup cap pipa untuk melindungi besi beton agar tidak berkarat.

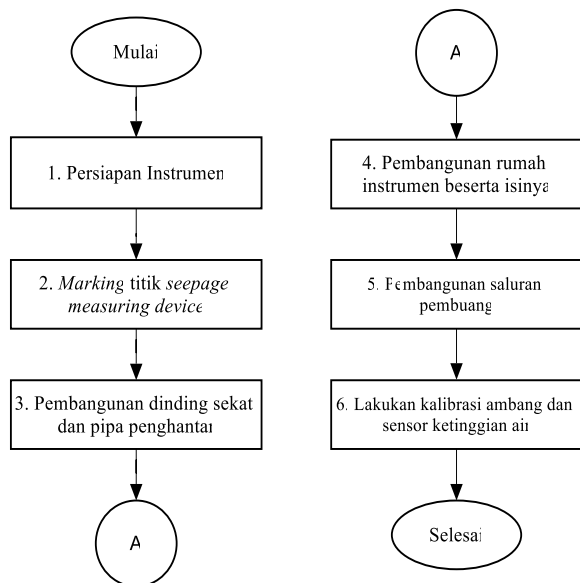


Gambar 6. Diagram alir pemasangan patok geser dengan timbunan

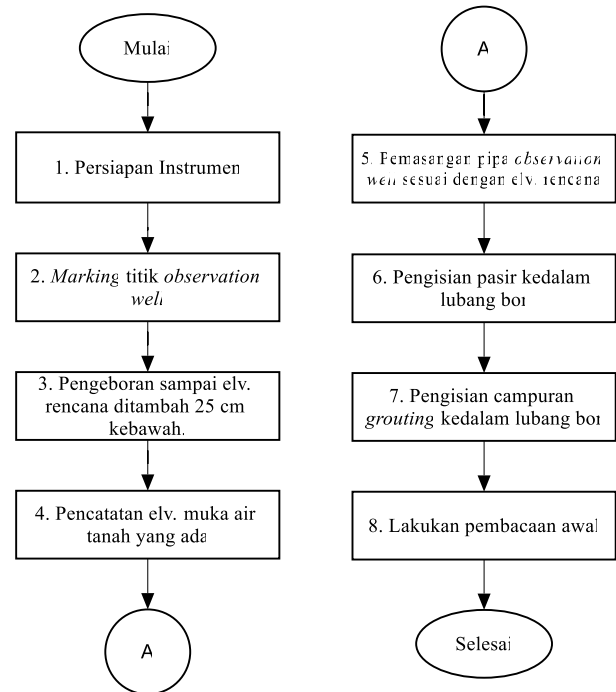
3.1.3 Pemasangan diluar Tubuh Bendungan

3.1.3.1 Observation Well

Pemasangan *observation well* hampir sama seperti pisometer pipa terbuka dengan pengeboran. Pasir saring yang bersih diisi lagi ke dalam celah antara pipa dan lubang bor. Batas ketinggian pasir saring adalah 1 m sebelum mencapai permukaan. Pasir saring membungkus pipa *observation well*. Lubang bor kemudian diisi dengan campuran *grouting*. Campuran *grouting* dituang kedalam celah antara lubang bor dan pipa *observation well* hingga penuh dan keluar ke permukaan.



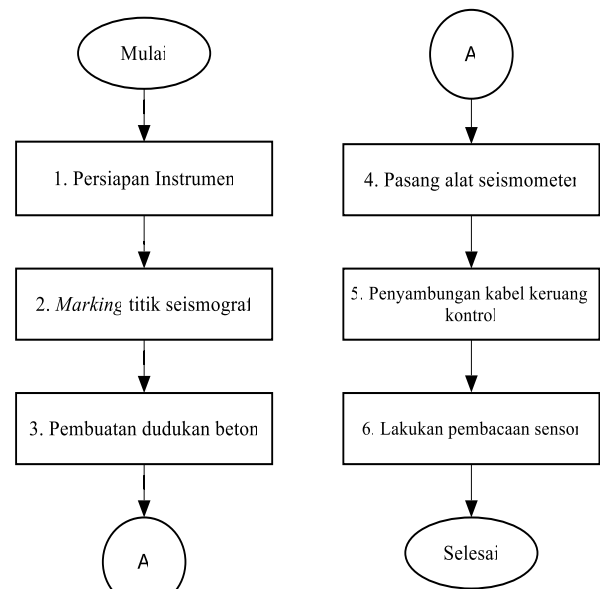
Gambar 8. Diagram alir pemasangan seepage measuring device



Gambar 7. Diagram alir pemasangan observation well

3.1.3.2 Seepage Measuring Device dan Seismograf

Rumah instrumen terdiri dari bak pengumpul, ambang (*v-notch*), dan sensor ketinggian air. Elevasi fondasi rumah instrumen harus diperhatikan terhadap elevasi pipa penghantar yang masuk dan ketinggian ambang yang akan dipasang. Selain itu juga diperhatikan



Gambar 9. Diagram alir pemasangan seismograf

elevasi muka air Sungai bagian hilir agak rumah instrumen tidak terendam jika terjadi banjir.

Ambang dipasang pada elevasi dan posisi rencana, kemudian dinding tempat menempel ambang di cor dengan beton. *Plat baffle* dipasang pada posisi rencana dan lakukan pengecoran beton bersamaan dengan dinding ambang. Alat mistar (*staff gauge*) dipasang agak jauh dari bibir *v-notch* agar memperoleh tinggi muka air yang benar. Skala nol pada mistar harus sama dengan bibir *v-notch*.

Permukaan batuan fondasi dudukan seismometer harus kuat dan masif. Catat jenis dan parameter batuan. Lapisan tanah fondasi yang lemah dibuang. Dudukan seismometer terdiri dari beton dengan bidang kotak. Seismometer dipasang diatas dudukan beton. Setelah alat terpasang dengan benar.

4. Kesimpulan

Instrumen Bendungan Lausimeme yang dipasang dengan pengeboran adalah 16 Pisometer *Vibrating Wire*, 4 Inklinometer, 4 *Multilayer Settlement*, dan 8 *Open Standpipe Piezometer*. Instrumen yang dipasang bersamaan timbunan tubuh bendungan adalah 42 Pisometer *Vibrating Wire*, 9 *Crest Settlement Survey Point*, dan 21 *Surface Settlement Survey Point*. Sebanyak 1 *Seepage Measuring Device*, 1 Seismograf dan 1 *Observation Well* dipasang diluar tubuh bendungan. Tahapan umum pemasangan dengan pengeboran dimulai dengan persiapan instrumen, *marking* titik pengeboran, pengeboran, pemasangan instrumen, pembacaan instrumen, pengisian lubang bor, dan penempatan pipa/kabel. Pemasangan instrumen bersamaan dengan tubuh bendungan dimulai dengan persiapan instrumen, *marking* titik, pemasangan instrumen, dan pembacaan instrumen. Instrumen *observation well* yang dipasang diluar tubuh bendungan memiliki tahap yang sama seperti pisometer pipa terbuka. *Seepage measuring device* dan seismograf memiliki tahap pekerjaan yang bervariasi. Sumber daya utama yang diperlukan untuk pengeboran adalah tim pengeboran, material pengisi lubang bor, dan 1 set alat bor kering. Sumber daya utama untuk pemasangan bersamaan dengan tubuh bendungan adalah *waterpass* dan *handtamper*. Kontraktor harus menyiapkan sumberdaya yang dibutuhkan 1 bulan sebelum pekerjaan dimulai. Kendala umum yang terjadi pemasangan instrumen adalah mobilisasi alat berat di lapangan. Solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan memberikan tanda pada instrumen yang terpasang dan mengatur mobilisasi alat berat. Pengaturan lalu lintas dilakukan oleh satu petugas.

Daftar Pustaka

Adinegoro C., Sholeh M., & Novianto D. (2021). Metode Pelaksanaan Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical

Drain (PVD) Pada Terminal Internasional Kijing Pontinak. *JOS-MRK*, 2(2), 158–162.

Bangun S., Indriasari, & Pohan A. H. (2022). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi Struktur Bawah Pada Perkantoran Danayasa Tower. *Jurnal Teknik FT UMT*, 11(01), 1–19.

Buldan R., Suharyanto, & Sriyana. (2021). Penilaian Risiko Kegagalan Bendungan Kedungombo Sebagai Dasar Prioritas Pemeliharaan Bendungan. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 557–570.

Handayasari I., & Mujahid H. (2015). Evaluasi Dampak Bangunan Sementara Arriving Shaft Pada Pembangunan Terowongan Pengendali Banjir (Sudetan) Kali Ciliwung Ke Kanal Banjir Timur. *Jurnal KILAT*, 4(2), 154–162.

Ishbaev A., Pandjaitan N. H., & Erizal. (2014). Evaluasi Keamanan Dam Jatiluhur Berbasis Indeks Resiko. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 4(2), 111–118.

Istiaji M. S., Sriyana, & Sadono K. W. (2021). Analisis Perilaku Deformasi Bendungan Bajulmati Dengan Metode Penilaian Berdasarkan Database Sejarah Bendungan. *Jurnal Teknik Undip*, 42(2), 186–198.

Jali A., & Wibowo P. H. (2023). Analisis Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Bored Pile Pada Proyek Pembangunan Apartemen Monde City. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 20(1), 10–18.

Najoan, Th. F., & Soetijono, C. (2002). *Instrumentasi Tubuh Bendungan Tipe Urugan dan Tanggul: Pd T-08-2004-A*. Badan Standarisasi Nasional.

Nala I M. A., Sangkawati S., & Putranto T. T. (2021). Pengaruh Muka Air Waduk Saat Pengisian Awal Terhadap Deformasi dan Rekahan pada Tubuh Bendungan (Studi Kasus: Bendungan Titab). *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 4(3).

Onibala E. C., Inkiriwang R. L., & Sibi M. (2018). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Konstruksi Dalam Proyek Pembangunan Sekolah SMK Santa Familia Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*, 6(11), 927–940.

Pramudawati M. A. H., Tanjung M. I., & Ghafara R. (2020). Penilaian Risiko Keamanan Bendungan Di Jawa Timur. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11(2), 91–100.

Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. (2017). *Modul Instrumentasi Bendungan Urugan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Siregar G. G. P., & Kurniawan F. A. (2021). Interpretasi Instrumentasi Piezometer Dalam Rangka Pemantauan Keamanan Bendungan Kedung Ombo. *Siklus Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 131–145.

Sutisna N., Yusup M. I., & Amilia E. (2021). Analisis Stabilitas Timbunan (MainDAM) Berdasarkan Data Instrumen Geoteknik Pada Bendungan

- Sindang Heula Serang Banten. *Journal JOSCE*, 3(01).
- Zainuddin, Oetomo B., Rizal M., Zubir Y., & Soedaryanto H. S. (2003). *Pedoman Operasi, Pemeliharaan, dan Pengamatan Bendungan Bagian 3: Sistem Instrumentasi dan Pemantauan* (Departemen Kimpraswil, Ed.). Departemen Kimpraswil.
- Zaky F., Nugroho H., & Edhisono S. (2023). Analisa Kebutuhan Instrumentasi Geoteknik Dry Dam Bendungan Sawangan Kabupaten Minahasa Utara. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 123–136.