

**ANALISIS PERHITUNGAN *COFFERDAM* MENGGUNAKAN
APLIKASI GEO-STUDIO PADA PEMBANGUNAN
BENDUNGAN PLTA PEUSANGAN, TAKENGON,
KABUPATEN ACEH TENGAH**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam
Ujian Sidang Sarjana Teknik Sipil Strata Satu
Universitas Medan Area

Disusun oleh

**ABADI
188110028**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2022**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 17/11/22

Access From (repository.uma.ac.id)17/11/22

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERHITUNGAN *COFFERDAM* MENGGUNAKAN
APLIKASI GEO-STUDIO PADA PEMBANGUNAN BENDUNGAN
PLTA PEUSANGAN, TAKENGON, KABUPATEN ACEH TENGAH

SKRIPSI

Diagukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam
Ujian Sidang Sarjana Teknik Sipil Serta Satu
Universitas Medan Area

Ditaman Oleh

ABADI
188110028

M
Dipinjam,

Dosen Pembimbing I

Ir. Iwano, M.T.
NIDN : 0004043901

Dosen Pembimbing II

Heriyanah, S.T., M.T.
NIDN : 0106088004

Mengetahui,



Fakultas Teknik

Dr. Rahmat Syah, S.Kom., M.Kom
NIDN : 01050588004



Heriyanah, S.T., M.T.
NIDN : 0106088004

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/11/22

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)17/11/22

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abadi

Npm : 188116028

ii

Judul : Analisis Perhitungan Cofferdam Menggunakan Aplikasi GEO-STUDIO/GEO SLOPE Pada Pembangunan Bendungan PLTA Perairan Takengon, Kabupaten Aceh Tengah.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Medan, 5 October 2022

Yang membuat pernyataan,



Abadi

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Abadi

NIM : 18 811 0028

Program Studi : Teknik Sipil

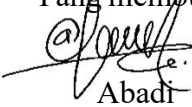
Fakultas : Teknik

Jenis Karya: Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*) atas karya saya yang berjudul Analisis Perhitungan Cofferdam Menggunakan Aplikasi Geo Slope pada Pembangunan Bendungan PLTA Peusangan, Takengon, Kabupaten Aceh Tengah.. Beserta Perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

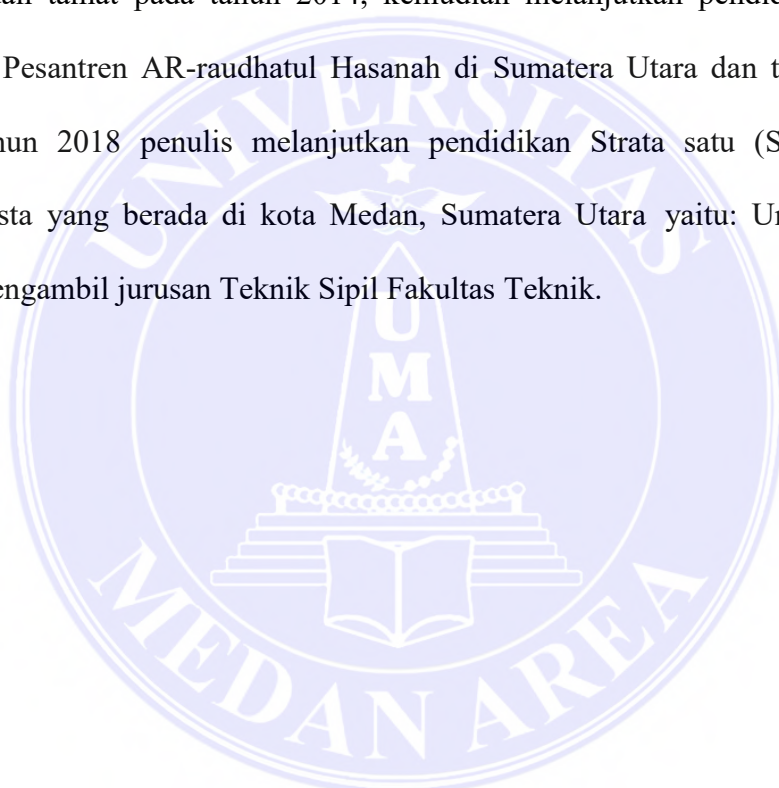
Medan, 5 Oktober 2022
Yang membuat pernyataan


Abadi
188110028



RIWAYAT HIDUP

Abadi, dilahirkan di desa Bener Kelipah , Kecamatan Bener Kelipah, Kabupaten Bener Meriah pada tanggal 25 April 1999. Anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Adenan dan Nirwani . Penulis menyelesaikan pendidikan di Min Bener Kelipah , Kecamatan Bener Kelipah Kabupaten Bener Meriah Nanggro Aceh Darusalam dan tamat pada tahun 2011. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan ke MTsN 1 Permata Kecamatan Bandar Aceh dan tamat pada tahun 2014, kemudian melanjutkan pendidikan ke sekolah menengah atas Pesantren AR-raudhatul Hasanah di Sumatera Utara dan tamat pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan Strata satu (S-1) disalah satu universitas swasta yang berada di kota Medan, Sumatera Utara yaitu: Universitas Medan Area dengan mengambil jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik.





KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area. Penelitian ini berujuan untuk mengetahui dan memahami perhitungan *Cofferdam* pada Proyek PLTA Peusangan

Selama menyusun skripsi ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan , bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini kepada :

1. Kedua orangtua saya yang senantiasa memberikan sokongan dan do'a yang tiada henti serta dukungan moril dan materil kepada saya.
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M. Eng, M. Sc, selaku Rektor UMA.
3. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom,M. Kom selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Hermansyah,S.T.M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan Dosen Pembimbing II laporan Skripsi saya yang dengan sabar memberikan masukan serta nasehat yang sangat berguna bagi saya .

5. Bapak Ir. Irwan, M.T, selaku Pembimbing Skripsi saya yang juga turut membantu saya dan memberikan nasehat serta saran yang sangat bermamfaat bagi saya
6. Seluruh Dosen dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
7. Rekan-rekan kelas pagi Teknik Sipil UMA 2018 yang membantu saya dengan tulus.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak mengandung kelemahan dan kekurangan , baik dari segi materi ,penyajian maupun pemilihan kata-kata. Oleh karna itu,penulis akan sangat menghargai kepada siapa saja yang berkenan memberikan masukan, baik berupa koreksi maupun kritikan yang pada gilirannya dapat penulis jadikan bahan pertimbangan bagi penyempurnaan skripsi ini.

Terlepas dari kelemahan dan kekurangan yang ada, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Akhirnya kata saya ucapkan terimakasih setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan skripsi ini kepada Allah SWT senantiasa melimpahkan Taufik dan Hidayah-nya kepada negara dan berguna juga bagi orang lain serta diri kita sendiri. Aamin. *Wassalamu'alaikum Wr.Wb..*

Medan, 5 oktober 2022

Penyusun,



Abadi

ABSTRAK

Cofferdam merupakan bangunan yang berupa urugan tanah, batu, beton ataupun pasangan batu untuk menahan limbah dan menampung air, mencegah banjir, menyediakan irigasi. Bangunan tersebut memiliki banyak fungsi seperti untuk pertanian, pembangkit listrik, dan tempat wisata. *Cofferdam* akan sangat membantu juga dalam pengendalian banjir yang akan mengontrol air banjir sehingga tidak akan meluap secara berlebihan yang membahayakan masyarakat sekitarnya. Disamping memiliki manfaat besar, juga menyimpan potensi yang besar pula. Bila *cofferdam* runtuh (jebol) akan menimbulkan banjir bandang yang mengakibatkan timbulnya korban jiwa, harta benda dan kerusakan lingkungan yang parah di bagian hilirnya. Oleh karena itu *cofferdam* harus di desain dengan aman dan layak secara teknis. Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah: pendekatan kuantitatif, karena hasil penelitian yang digunakan berupa angka yang merupakan hasil analisis *cofferdam* dengan menggunakan program GEO-SLOPE 2012. Adapun kesimpulan dari analisis rembesan lereng dan stabilitas rembesan yaitu Faktor Keamanan Kritis untuk stabilitas *cofferdam* menurut Hasil Analisa setelah running SLOPE/W adalah 1,711 & 1,512 Karena lebih tinggi dari 1,5 (SNI 8460:2017 Persyaratan Geoteknik Perancangan Tabel 25), Artinya stabilitas *cofferdam* aman. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa debit rembesan $1,81 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt} = 1,81 \times 10^{-4} \text{ liter}/\text{dt} = 15,64 \text{ liter}/\text{hari}$ yang terjadi lebih kecil dari debit izin maksimum 50 liter/hari. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aman debit rembesan, *cofferdam* aman. Meskipun potensi rembesan akibat SEEP/W kurang dari batas yang diijinkan. Tapi Rembesan tetap terjadi karena tidak menggunakan material sebelumnya. Drainase sementara dan pompa masih diperlukan untuk mengkompensasi rembesan air kecil.

Kata Kunci: *Cofferdam*, Lereng, Software Geo Slope

ABSTRACT

Cofferdam is a building in the form of earthfill, stone, concrete or masonry to hold waste and collect water, prevent flooding, provide irrigation. The building has many functions such as for agriculture, power generation, and tourist attractions. Cofferdam will also be very helpful in flood control which will control flood water so that it will not overflow excessively which endangers the surrounding community. Besides having great benefits, it also has great potential. If the cofferdam collapses (broken) it will cause flash floods which result in loss of life, property and severe environmental damage downstream. Therefore the cofferdam must be designed safely and technically feasible. The research approach used in this study is: a quantitative approach, because the results of the research used are numbers which are the results of cofferdam analysis using the GEO-SLOPE 2012 program. The conclusions from the analysis of slope seepage and seepage stability are the Critical Safety Factors for cofferdam stability according to The analysis after running SLOPE/W is 1.711 & 1.512 because it is higher than 1.5 (SNI 8460:2017 Geotechnical Requirements Design Table 25), which means the stability of the cofferdam is safe. The modeling results show that the seepage discharge is $1.81 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} = 1.81 \times 10^{-4} \text{ liters/sec} = 15.64 \text{ liters/day}$ which is smaller than the maximum allowable discharge of 50 liters/day. So it can be concluded that the seepage discharge is safe, the cofferdam is safe. Although the seepage potential due to SEEP/W is less than the allowable limit. But seepage still occurs because it does not use the previous material. Temporary drainage and pumps are still required to compensate for minor water seepage.

Keywords: *Confferdam, Slope and Geo Slope*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

HALAMAN PERNYATAAN

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

RIWAYAT HIDUP

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

RIWAYAT HIDUP

KATA PENGANTAR.....i

ABSTRAKiii

ABSTRACT iv

DAFTAR ISI..... v

DAFTAR TABEL.....viii

DAFTAR NOTASI..... ix

DAFTAR GAMBAR..... xi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian 3

1.3 Rumusan Masalah..... 3

1.4 Batasan Masalah 3

1.5 Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 5

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Umum	7
2.3 Kriteria factor keamanan lereng.....	8
2.4 Nilai <i>Safety</i> Faktor (<i>SF</i>) Terhadap Kestabilan Lereng.....	9
2.4.1 Analisis Lereng Tanah.....	11
2.4.2 Parameter Kekuatan Geser t_c' dan ϕ	16
2.4.3 Macam-Macam Lereng dan Gambaran Umum Keruntuhan Lereng.....	17
2.4.4 Masalah Kegagalan Lereng	21
2.4.5 Faktor-Faktor Yang Mengganggu Kestabilan Lereng.....	22
2.5 Erosi buluh (<i>piping</i>)	27
2.5.1 Ketidakstabilan Lereng Timbunan dan Deformasi Berlebihan	31
2.5.2 Tekanan Air Pori didalam Pondasi.....	31
2.5.3 Tekanan Air Pori Yang Tinggi di Hilir Bendungan	31
2.6 Sifat Anisotropi Permeabilitas	32
2.6.1 Sifat Anisotropi Dalam Urugan.....	32
2.6.2 Porositas	33
2.6.3 Hubungan Antara Koefisien Permeabilitas Dan Kadar Air	33
2.6.4 Hubungan Antara Daya Hisap Tanah Dengan Kadar Air	34
2.7 Analisis Rembesan Air	35
2.7.1 Rencana Analisis	35
2.7.2 Pengendalian Rembesan Air dan tertimbanganDesain.....	38

2.7 Alternatif Pemilihan Cofferdam	39
2.7.1 Desain <i>cofferdam</i> tipe urugan tanah.....	41
2.7.2 Tipe <i>cofferdam</i> Urugan	41
2.7.3 Bendungan tipe urugan zonal	42
2.7.4 Macam-macam Bendungan.....	44
2.7.5 Analisis Kestabilan <i>Cofferdam</i> Tipe Urugan (<i>Embankment</i>).....	46
2.7.6 <i>Dewatering</i>	49
2.7.7 Metode Analisis dengan Program Komputer	52
2.8 Program Aplikasi Versi 2012 Geo Slope Office	54
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	58
3.1 Diskripsi.....	58
3.2 Lokasi proyek	59
3.3 Tahapan Persiapan Penelitian	60
3.4 Metode Penelitian	61
3.5 Pendekatan Penelitian	62
3.6 Kerangka Berpikir.....	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1 Data-data	63
4.2 Pemeriksaan perkuatan dinding.....	64
4.3 Pemeriksaan penurunan muka air tiba-tiba <i>Rapid Drawdown</i>	67
4.4 Analisis Stabilitas Dan <i>Seepage Cofferdam</i> Menggunakan Software Geostudio 2012 Slope/W Dan Seep/W.....	70

4.5 Hasil analisis rembesan.....	75
4.6 Pembahasan	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	





DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai faktor keamanan untuk lereng.....	8
Tabel 2.2 Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan	9
Tabel 2.3 Nilai Faktor Keamanan untuk Perencanaan Lereng.....	10
Tabel 2.4 Hubungan Nilai FK dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng.....	10
Tabel 2.5 Kisaran Faktor Keamanan.....	10
Tabel 2.6 kemiringan talud untuk tinggi maksimum 10 m	12
Table 2.7 Asumsi-asumsi Dan Kondisi Kesetimbangan Yang Digunakan Oleh Beberapa Metode Irisan.....	15
Tabel 2.8 Nilai Tipikal c' dan ϕ'	16
Tabel 2.9 Aspek-aspek pada kestabilan galian.....	19
Tabel 2.10 Aspek-aspek pada kestabilan galian lanjutan.....	19
Tabel 2.10 Aspek-aspek pada kestabilan galian lanjutan.....	20
Tabel 2.11 Aspek-aspek penting dalam kestabilan galian lanjutan	20
Tabel 2.12 Tipe Analisis Dan Metode Analisis	37
Table.2.13 Skema dan type dari bendungan urugan	42
Tabel 4.1 Nilai izin tinggi bendungan.....	75

DAFTAR NOTASI

τ	:	kuat geser tanah (kN/m ²)
c	:	kohesi tanah
ϕ	:	sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek intern (derajat)
σ	:	tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m ²)
R_u	:	rasio tegangan pori
U	:	Tekanan air pori
γ	:	Berat isi tanah
P	:	Gaya Normal
c'	:	kohesi jika analisa dalam kondisi undrained diambil c_u jika dalam kondisi drained diambil nilai kohesi efektif
W_n	:	gaya akibat beban tanah ke-n
α	:	sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor
ϕ'	:	sudut geser tanah (jika dalam kondisi undrained nilai sudut geser 0)
u	:	tekanan air pori
γ	:	Berat isi tanah
X_{L1}, X_{R2}	:	gaya gesek yang bekerja di tepi irisan
F_m	:	keseimbangan momen
F_f	:	keseimbangan gaya
c'	:	kohesi
ϕ'	:	sudut geser tanah (jika dalam kondisi undrained nilai sudut geser 0)
F_k	:	factor keamanan (tampa dimensi)

I_c	:	gradien keluaran kritis (tampa dimensi)
I_e	:	gradien keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan instrument pisometer (tampa dimensi)
γ'	:	berat volume efektif (terendam) (t/m^3);
γ_w	:	berat volume air (t/m^3);
G_s	:	gravity spesifik (tampa dimensi);
E	:	angka pori (tampa dimensi); nilai rata-rata G_s biasanya digunakan untuk berbagai perhitungan gradien
θ	:	derajat kejenuhan fraksional (tampa dimensi)
ε	:	konstanta berkisar antara 3-6 (tampa dimensi)
W	:	kadar air tanah (tampa dimensi)
γ_d	:	berat volume kering tanah (t/m^3)
γ_w	:	berat volume air (t/m^3)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Irisan Bidang Kelongsoran Metode Morgenstern-Price	14
Gambar 2.2 Variasi θ peak dan θ' res Dengan Indeks Plastisitas	16
Untuk Tanah Lempung NC.....	16
Gambar 2.3 Variasi dari θ cv Indeks Plastisitas Tanah Lempung NC	17
Gambar 2.4 Kegagalan Gelincir Jatuhan (Falls)	21
Gambar 2.5 Kegagalan Jatuhan.....	21
Gambar 2.6 Kegagalan Aliran.....	22
Gambar 2.7 Proses Terjadinya Piping.....	29
Gambar 2.8 Pengontrol Rembesan Air Pada Bendungan Tipe Urugan	38
Gambar: 2.9 model bendungan wadas tipe zonal.....	43
Gambar:2.10 bendungan kedungombo tipe zonal.....	43
Gambar 2.14 Cofferdam.....	49
Gambar 2.15 cofferdam tahap 1	50
Gambar 2.16 cofferdam tahap 2	50
Gambar 2.17Pembagian Potongan pada Suatu Lereng dan Bidang Gelincir di Dalam Lereng	56
Gambar 3.1 Peta Lokasi Proyek.....	59
Gambar 3.2 lokasi penelitian.....	59
Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian	62

Gambar 4.2 modeling tangguk/cofferdam.....	67
Gambar 4.3 diagram stabilitas untuk penurunan muka air mendadak, untuk $c'/\gamma H$ = 0,0125 (Morgenstern, 1963)	68
Gambar 4.4 diagram stabilitas untuk penurunan muka air mendadak, untuk $c'/\gamma H$ = 0,025 (Morgenstern, 1963)	69
Gambar 4.5 diagram stabilitas untuk penurunan muka air mendadak, untuk $c'/\gamma H$ = 0,05 (Morgenstern, 1963)	69
Gambar 4.6 Menu utamatprogram Slope/W	71
Gambar 4.7 pemodelan bahan.....	71
Gambar 4.8 pemodelan bahan tanah	71
Gambar 4.9 Parameter Tanah Masukan	72
Gambar 4.11 Geometri Input atau Pemodelan dengan SLOPE/W	73
Gambar 4.12 hasil analisis Geo Studio	74
Gambar 4.13 Geometri atau Pemodelan Input dengan SEEP/W	74
Gambar 4.14 Hasil Analisis dengan SEEP/W.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cofferdam adalah suatu bangunan yang berfungsi mengalihkan aliran sungai utama selama pekerjaan konstruksi bendungan di laksanakan. *Cofferdam* di buat dengan memancang tiang pancang, biasanya baja ataupun plat dalam pekerjaan dari kayu berat, baja, maupun kombinasi kedua bahan tersebut. Tiang pancang vertical di buat membentuk pagar kedap air dan di tahan oleh anggota rangka horizontal, sisi *cofferdam* harus kokoh dan tertahan dengan baik untuk menahan guncangan akibat aliran air yang berat. *Cofferdam* juga harus mampu menahan gaya horizontal dari badan air di sekitarnya. *cofferdam* biasanya tidak direncanakan untuk mengalami *over topping*.

Cofferdam harus didesain dan dijaga terhadap pengendalian rembesan yang aman. Karena, akan terjadi masalah bila terdapat rembesan yang berlebihan dan dapat berpengaruh terhadap keamanan bendungan itu sendiri, jika tidak dilakukan tindakan perbaikan yang tepat. Permasalahan dasar yang biasa terjadi adalah membedakan sejauh mana rembesan berpengaruh terhadap suatu bendungan dan apa tindakan perbaikan paling tepat yang harus dilakukan untuk menjamin bahwa rembesan tidak membahayakan terhadap keamanan bendungan. (Mujiharjo D. 2009)

Rembesan merupakan air waduk yang mencari jalan keluar melalui material yang porus atau suatu rekahan baik yang ada di dalam tubuh maupun fondasi *cofferdam* dikarenakan air yang disimpan didalam suatu waduk atau aliran sungai

yang di elakkan akan cenderung mencari jalan keluar ke bagian yang lebih rendah khususnya ke bagian hilir. Gaya atau tekanan air dari rembesan yang terjadi dapat menimbulkan alur air baru atau memperbesar alur ekisting hingga *cofferdam* rekah. Jadi, pengendalian rembesan merupakan faktor yang sangat penting dalam desain, pelaksanaan konstruksi dan Operasi dan Pemeliharaan (O&P) *cofferdam* terkait kondisi keamanan.

Cofferdam mempunyai manfaat yang besar, juga menyimpan potensi yang besar pula. Bila *Cofferdam* runtuh (jebol) akan menimbulkan banjir bandang yang mengakibatkan timbulnya korban jiwa, harta benda dan kerusakan lingkungan yang parah di bagian hilirnya. Oleh karena itu *Cofferdam* harus di desain dengan aman dan layak secara teknis. *Cofferdam* dianggap aman, bila pembangunan dan pengelolaannya telah dilaksanakan mengikuti konsepsi dan kaidah-kaidah keamanan *Cofferdam* yang semuanya tertuang di dalam NSPM dan SNI.

Pembangunan pengelak (*Cofferdam*) pada bendungan PLTA Peusangan Takengon Kab. Aceh Tengah, dilakukan karena air sungai yang mengalir ingin dielakkan menuju terowongan pengelak, sebagian dielakkan ke lahan masyarakat guna mempermudah pengerjaan bendungan utama dan dapat digunakan juga untuk pembangkit Listrik Tenaga Air. Dalam pembangunan *cofferdam* diperlukan perhitungan yang akurat agar fungsi dari *cofferdam* dapat terlaksana dengan baik, dan bangunan *cofferdam* harus aman dan layak secara teknis. Oleh karena itu saya tertarik melakukan penellitian pada skripsi saya yang berjudul “Analisis Perhitungan Perkuatan *Cofferdam* Menggunakan aplikasi GEO-SLOPE Pada Pembangunan Bendungan PLTA Peusangan, Takengon, Kabupaten Aceh Tengah” dengan menggunakan aplikasi geo slope ini dapat menghasilkan hasil

perhitungan perkuatan *cofferdam* yang lebih akurat dari menganalisis data-data yang sudah ada dilapangan, agar didapatkan seberapa besar nilai SF (*Safety factor*/factor keamanan).

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai stabilitas *cofferdam* menggunakan aplikasi Geo Studio

Berdasarkan pada pokok permasalahan di atas, tujuan di lakukanya penelitian ini untuk menganalisa dan memahami tentang:

1. Untuk mengetahui stabilitas *cofferdam* dengan menggunakan aplikasi Geo Studio lereng dan rembesan pada cofferdam
2. Untuk mengetahui besarnya kekuatan stabilitas lereng dan rembesan *cofferdam*.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah yaitu: Apakah stabilitas *cofferdam* dengan menggunakan software Geo Studio sudah memenuhi setandar

1.4 Batasan Masalah

Agar masalah dapat lebih sederhana, maka perlu di buat batasan dalam skripsi ini. Adapun batasan masalah dari skripsi ini adalah Menghitung menganalisa perkuatan *cofferdam* menggunakan program Geo Studio

1.5 Manfaat Penelitian

1. Diharapkan mampu mengoperasikan Aplikasi Geo Slope
2. Mampu membaca gambar dan memahami perbandingan nilai SF dengan software dan dengan perhitungan manual.



BABI II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dari hasil pencarian dari berbagai sumber yang mendukung di temukanlah beberapa hasil penelitian yang relevan dengan pembahasan ini, yakni:

1. penelitian ini bertujuan untuk menguji kapasitas bangunan pengelak berdasarkan data hujan dan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS yang memiliki keamanan struktur berupa aman terhadap kegagalan structural, hidraulis dan aman terhadap kegagalan rembesan hasil dari penelitian ini didapatkan bendungan karian masih memenuhi kriteria meskipun dalam rentang waktu 5 tahun telah terjadi perubahan data DAS untuk kala ulang desain *cofferdam* R25 tahun dari 180mm/hari menjadi 210 mm/hari dan debit banjir rencana dari 664 m³/detik menjadi 793,2 m³/detik. (*Vita Ariesta Fitriana*, (2021) yang berjudul proyek pembangunan bendungan karian.
2. Pada Penelitian ini melakukan Analisa pada jenis bentuk terowongan, untuk terowongan pada Bendungan Kualu menggunakan jenis Tapal Kuda. Maka didapatkan hasil yaitu: Terowongan pengelak Bendungan Kualu direncanakan berbentuk tapal kuda shape F, dengan debit rancangan kala ulang 25 tahun sebesar 709,331 m³ /dt. Sehingga didapatkan diameter terowongan pengelak sebesar 9 m dan dari analisa penelusuran banjir didapatkan tinggi air maksimum pada elevasi +710,383 (tinggi air maksimum = 10,883 m). *Afan Allail Rofikha* (2019)

dengan jurnal yang berjudul Analisis Struktur Terowongan Pengelak pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba

3. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah akan terjadi *piping* pada bendungan olak atau tidak dalam menganalisa stabilitas lereng digunakan 2 metode failenius dan bishop yang mana metode ini di hitung secara manual dan menggunakan program geo-studio slope/w, dengan hasil penelitian untuk kapasitas rembesan dalam perhitungan manual didapatkan hasil $=5,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{dt}$ dan menggunakan aplikasi geo studio Berdasarkan analisa yang dilakukan, maka perbaikan pondasi yang dilakukan efektif dikarenakan $Q_{\text{rerata}} < Q_{\text{rerata}} \text{ sungai}$.(*Runi Asmaranto* (2020), yang berjudul Analisa stabilitas tubuh bendungan pada bendungan lolak Sulawesi utara,
4. *Bayu putra pratama* (2018), Mahasiswa Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dalam jurnal yang berjudul metode pelaksanaan bendungan pengelak(*cofferdam*) untuk tipe bendungan ini tipe zonal dengan inti miring di depan, adanya pembangunan bendungan pengelak ini di karenakan air sungan yang mengalir akan dielakkan ke terowongan pengelek sehingga pengerjaan bendungan utama dapat dilaksanakan.mka dari pada itu di dapatkan hasil yang diperoleh setelah melakukan logging bor pada ketiga wilayah tersebut adalah : Sandaran kiri (left bank) Rata – rata nilai Lugeon = 6,38 Rata – rata nilai RQD = 55%
Dikarenakan nilai Lugeon > 1 , nilai RQD $< 70\%$, dan kualitas batuan yang rendah, maka diperlukan perbaikan pondasi.

2.2 Umum

Cofferdam merupakan bangunan yang berupa urugan tanah, batu, beton ataupun pasangan batu untuk menahan limbah dan menampung air, mencegah banjir, menyediakan irigasi. Bangunan tersebut memiliki banyak fungsi seperti untuk pertanian, pembangkit listrik, dan tempat wisata. Bendungan akan sangat membantu juga dalam pengendalian banjir yang akan mengontrol air banjir sehingga tidak akan meluap secara berlebihan yang membahayakan masyarakat sekitarnya. Disamping memiliki manfaat besar, juga menyimpan potensi yang besar pula. Bila bendungan runtuh (jebol) akan menimbulkan banjir bandang yang mengakibatkan timbulnya korban jiwa, harta benda dan kerusakan lingkungan yang parah di bagian hilirnya. Oleh karena itu bendungan harus di desain dengan aman dan layak secara teknis.

Bahkan pada abad ke-20, desain bendungan urugan sebagian besar berdasarkan pengalaman atau pengamatan yang telah lalu. Pada tahun 1936, suatu studi terhadap kegagalan bendungan urugan tanah menunjukkan bahwa sekitar 80% disebabkan oleh tidak terkendalinya rembesan yang menelan banyak korban jiwa dan harta. piping sendiri terjadi karena muka air turun tiba tiba dan mengakibatkan partikel tanah hanyut bersamaan dengan air dan mengakibatkan stabilitas *cofferdam* terganggu, Salah satu alasan keterlambatan mengenai perkembangan analisis desain untuk bendungan urugan yang terlambat di bandingkan dengan bendungan beton *gravity* adalah mekanisme dari rembesan belum di pahami secara rinci, meskipun bendungan beton juga dapat runtuh sebagai akibat rembesan yang menghasilkan tekanan angkat yang tinggi dan mengakibatkan terjadinya retakan besar.

2.3 Kriteria factor keamanan lereng

Kriteria factor keamanan lereng yang di syaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah diperlihatkan pada table SNI 2.1 dengan didasarkan pada pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis. Sedangkan untuk lereng batuan, faktor keamanan keselamatan di perlihatkan pada table SNI 2.2 dengan mempertimbangkan kondisi permanen atau sementara lereng batuan yang akan direncanakan.

Pada lereng batuan, pengaruh air perlu di perhitungkan. Apabila muka air tanah tinggi dan diperlukan usaha penurunan muka air tanah di dalam massa batuan untuk meningkatkan faktor keamanan, maka dapat di lakukan penurunan muka air tanah dengan bor *horizontal* yang berfungsi sebagai drainase untuk mengalirkan air keluar dari massa batuan. Tabel SNI 2.2 memberikan rekomendasi nilai factor keamanan untuk lereng batuan.

Tabel 2.1 Nilai faktor keamanan untuk lereng

Biaya dan konsenkuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah	Tinggi
biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1.25	1.5
biaya perbikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1.5	2.0 Atau rendah

*Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah,jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam,penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan
 *Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi,jika kondisi geologh sangat kompleks,kondisi tanah bervariasi,dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan

Sumber: SNI 8460:2017

Tabel 2.2 Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan

Kondisi lereng Batuan	Rekomendasi nilai faktor Keamanan
Kondisi permanen	1,5
Kondisi sementara	1,3

Sumber: SNI 8460:2017

Pada lereng tambang, meskipun dapat di anggap sebagai lereng yang bersifat sementara, faktor lamanya proses penambangan, proses penambangan pada umumnya dengan peledak (*blasting*), serta laju proses pelapukan baik oleh cuaca maupun di dalam massa batuan, terutama batuan lempung serpih (*clayshale*) harus mendapatkan perhatian yang seksama di dalam perencanaan.

2.4 Nilai Safety Faktor (*SF*) Terhadap Kestabilan Lereng

Kelongsoran suatu lereng biasanya terjadi melalui satu bidang tertentu yang disebut dengan bidang gellincir (*Slip Surface*). Kesatbilan lereng tergantung pada gaya pengelak dan gaya penahan (*resisting force*) adalah gaya yang Manahan agar tidak terjadi kelongsoran, sedangkan gaya penggerak (*driving force*) adalah gaya yang menyebabkan terjadinya kelongsoran. Perbandingan antara gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya penggerak tanah inilah yang disebut dengan faktor keamanan lereng (FK).

Tabel 2.3 Nilai Faktor Keamanan untuk Perencanaan Lereng

Nilai FK	Keadaan Lereng
<1,0	tidak mantap
1,0 - 1,2	kemantapan diragukan
1,3 - 1,4	memuaskan untuk pemotongan dan penimbunan
1,4 - 1,7	mantap untuk bendungan

Sumber: Sosrasardono dalam Made Astawa Rai, 1993

Tabel 2.4 Hubungan Nilai FK dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng

Nilai FK	kemungkinan longsor
<1,07	Kelongsoran biasa terjadi (lereng labil)
1,07 < FK < 1,25	kelongsoran pernah terjadi (lereng kritis)
> 1,25	kelongsoran jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber : Bowles, 1984 (Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah)

Tabel 2.5 Kisaran Faktor Keamanan

Faktor Keamanan	kerentangan gerakan tanah
FK < 1,2	Tinggi, gerakan tanah sering terjadi
FK 1,2 < FK < 1,7	menengah, gerakan tanah dapat terjadi
1,7 < FK < 2,0	rendah, gerakan tanah dapat terjadi
FK > 2,0	sangat rendah, gerakan tanah jarang terjadi

Sumber: Ward, 1976 (Factor of Safety Approach to Landside Potential Delineation)

2.4.1 Analisis Lereng Tanah

Analisis stabilitas lereng tanah pada umumnya dilakukan berdasarkan pendekatan keseimbangan batas (*limit equilibrium*), teori batas plastis, dan metode numerical seperti metode elemen hingga. Pada pendekatan keseimbangan batas, biasanya hanya di modelkan pelapisan tanah yang sederhana dan tidak dapat menampilkan tahapan.

Kekuatan Geser Tanah Kekuatan geser tanah dapat didefinisikan sebagai tahanan maximum dari tanah terhadap tahanan geser. Kekuatan tanah timbul akibat bidang kontak antar partikel-partikel tanah yang menghasilkan gaya normal dan gaya geser. Secara umum kontak antar partikel-partikel tanah sebagian besar menghasilkan gaya geser. Oleh karena itu kekuatan geser dipengaruhi secara langsung oleh tegangan efektif. Kekuatan geser tanah (s) disuatu titik pada bidang tertentu dikemukakan oleh Mohr Coulomb sebagai suatu fungsi linier terhadap tegangan normal (σ).

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah

ϕ = sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek intern (derajat)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

Persamaan tersebut berlaku jika pori-pori tanah hanya terisi oleh udara pada tekanan atmosfer, sehingga tegangan normal (σ) disebut tegangan total. Kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) adalah parameter-parameter kekuatan geser.

Tegangan Air Pori

Tegangan pori dapat dinyatakan secara implisit oleh rasio tegangan pori (Ru) dengan persamaan :

$$R_u = \frac{u}{\gamma z} \quad (3)$$

dimana:

Ru= rasio tegangan pori

u = Tekanan air pori

γ = Berat isi tanah

Tabel 2.6 kemiringan talud untuk tinggi maksimum 10 m

Bahan Urugan	Kemiringan lereng Vertikal : Horizontal	
	Hulu	Hilir
Urugan homogen	1 : 3.00	1 : 2.25
Urugan batu dengan inti liat atau dinding diafragma	1 : 1.50	1 : 1.25
Kerikil-kerikil dengan inti liat atau dinding diafragma	1 : 2.50	1 : 1.75

Sumber: DPU (1994)

Dalam buku karangan A.W Bishop and N. Morgenstern halaman 130, rasio tegangan air pori: $R_u = 0.0 - 0.7$, sedangkan tegangan air pori yang dipakai yaitu 0.5. Prinsip Dasar Metode Irisan Secara umum, keruntuhan (*failure*) dianggap terjadi oleh adanya blok tanah yang berotasi pada permukaan gelincir (*slip*) yang berbentuk lingkaran atau permukaan gelincir yang berbentuk lingkaran.

Prinsip Dasar Metode Morgenstern-Price Metode ini adalah salah satu metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh

Morgenstern dan Price pada tahun 1965, dimana proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut baik gaya. Dalam metode ini, dilakukan asumsi penyederhanaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser di sekitar irisan (X) dan gaya normal di sekitar irisan (E) dengan persamaan :

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \dots\dots\dots (4)$$

Gaya-gaya yang bekerja pada pada tiap irisan bidang kelongsoran ditunjukkan pada Gambar 1. Persamaan yang berlaku adalah :

$$P = \frac{\{wn - (\alpha_2 - \alpha_1) - \frac{1}{f} (c' (\sin \alpha - uL \tan \phi + F \sin \alpha))\}}{\cos \alpha (1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{E})} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

P = Gaya Normal

c' = kohesi (jika analisa dalam kondisi undrained
diambil cu jika dalam kondisi drained diambil nilai kohesi efektif)

Wn = gaya akibat beban tanah ke-n

α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang
longsor

ϕ' = sudut geser tanah (jika dalam kondisi undrained nilai sudut geser 0)

u = tekanan air pori

γ = Berat isi tanah

X_{L1}, X_{R2} = gaya gesek yang bekerja di tepi irisan

Dalam metode ini analisa faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen (Fm) dan kesetimbangan gaya (Ff). Faktor keamanan dari prinsip kesetimbangan momen adalah untuk bidang kelongsoran circular:

$$F_m = (c' l + p - ul \tan \phi' W \sin \alpha) \dots \dots \dots (6)$$

Dan nilai faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan gaya :

$$F_f = \frac{\sum \{c' l + (p - ul) \tan \phi'\} \cos \alpha}{\sum W p \sin \alpha} \dots \dots \dots (7)$$

Pada proses iterasi pertama, gaya geser di sekitar irisan (XL dan XR) diasumsikan nol. Kemudian pada proses iterasi selanjutnya gaya tersebut didapatkan dari rumus:

$$(E_R - E_L) = P \sin \alpha \frac{1}{f} c' + P - ul \tan \phi' \cos \alpha \dots \dots (8)$$

Dimana:

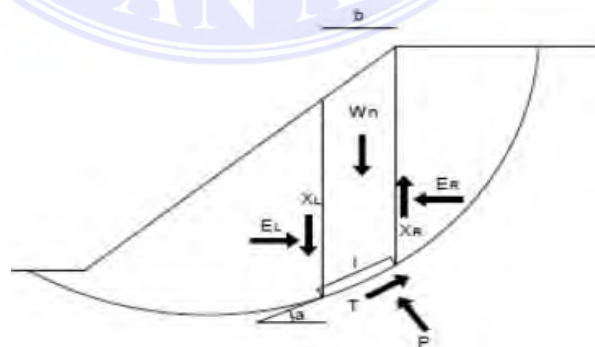
F_m = keseimbangan momen

F_f = keseimbangan gaya

c' = kohesi

ϕ' = sudut geser tanah (jika dalam kondisi undrained nilai sudut geser 0)

Kemudian gaya geser tersebut dihitung dengan mengasumsikan nilai λ dan $f(x)$. Dalam perhitungan ini penulis menggunakan alat bantu komputer untuk menghitung faktor keamanan dari lereng. Ini disebabkan karena banyaknya perhitungan yang berulang. Dan penulis menggunakan program *Slide* untuk memudahkan perhitungan.



Gambar 2.1 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Irisan Bidang Kelongsoran Metode Morgenstern-Price
 Sumber: analisis kestabilan lereng metode morgenstern-price (studikasu diamond hill citraland)

Table 2.7 Asumsi-asumsi Dan Kondisi Kesetimbangan Yang Digunakan Oleh Beberapa Metode Irisan

Metode	Asumsi
Irisan Biasa (Fellenius)	Resultan gaya antar-irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh.
Bishop Yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$).
Janbu Yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$). Faktor koreksi digunakan sebagai faktor empiris untuk memasukkan efek dari gaya geser antar irisan.
Lowe-Karafiath	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan sama dengan rata-rata dari kemiringan permukaan lereng dan kemiringan bidang runtuh
Corps of Engineers	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan besarnya sama dengan: <ul style="list-style-type: none"> • Kemiringan permukaan lereng, atau • Kemiringan dari kaki bidang runtuh ke puncak bidang runtuh
Spencer.	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan adalah sama untuk semua irisan
Morgenstern-Price.	Kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.
Kesetimbangan Batas	Umum Sudut gaya antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.

Sumber: N.R. Morgenstern. The Analysis of the stability of general slip surfaces

2.4.2 Parameter Kekuatan Geser c' dan ϕ'

Kohesi pada Tegangan Efektif c' *Australian Standards for retaining walls* (AS 4678) menyarankan nilai untuk c' and ϕ' berdasarkan kelompok tanah seperti yang disajikan pada Tabel di bawah:

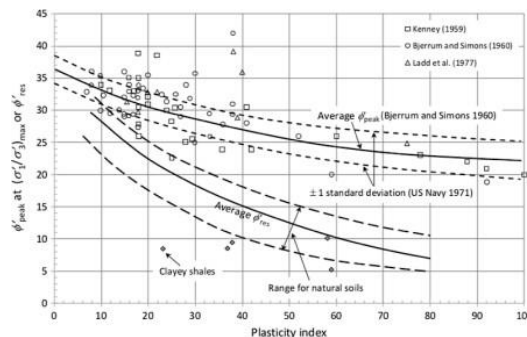
Tabel 2.8 Nilai Tipikal c' dan ϕ'

kelompok tanah	Tipikal tanah	Parameter tanah	
		c' (kPa)	ϕ' (degrees)
Buruk	Tanah lempung lunak dan reguh dengan plastisitas sedang ketinggi; lempung berlanau; isian lempung bervaiabel lepas; lanau berpasir lepas	0-5	17-25
Sedang	Lempung berpasir kaku; lempung berkerikil; pasirberlembung padat; lanau berpasir; isian lempung padat	0-10	26-32
Bagus	Pasir berkerikil; pasir padat; isian kerikil dan batuan pasir pecah; pasir padat bergradasi baik	0-5	32-37
Sangat Bagus	batu terlapukan lemah; isian lapis dasar jalan terkontrol; kerikil dan beton daur ulang	0.25	36-43

Sumber: AS 4678,2002

ϕ'_{peak} , ϕ'_{cv} , ϕ'_{res} , Hubungan terhadap Indeks Plastisitas pada Tanah Lempung.

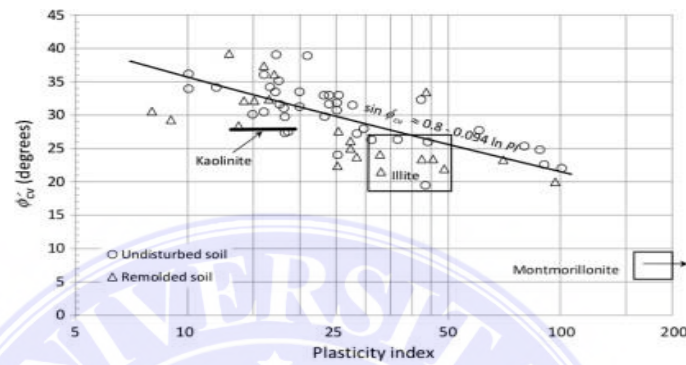
U.S Navy (1971) dan Ladd et al. (1977) menyatakan hubungan antara ϕ'_{peak} dan ϕ'_{res} untuk tanah lempung terkonsolidasi normal seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.2 Variasi ϕ'_{peak} dan ϕ'_{res} Dengan Indeks Plastisitas Untuk Tanah Lempung NC

Sumber: U.S Navy 1971 dan ladd et al.1977

Mitchell (1976); Kulhawy dan Mayne (1990) menyatakan hubungan antara ϕ'_{cv} dengan Indeks Plastisitas untuk tanah lempung terkonsolidasi normal seperti pada Gambar 2.6



Gambar 2.3 Variasi dari ϕ'_{cv} Indeks Plastisitas Tanah Lempung NC

Sumber: kulhawy dan mayne,1990

2.4.3 Macam-Macam Lereng dan Gambaran Umum Keruntuhan Lereng

Berdasarkan material pembentuknya lereng dapat dibagi menjadi dua bagian seperti lereng tanah (*soil slope*) dan lereng batuan (*Rock Slope*) lereng tanah (*soil slope*) yaitu lereng yang materialnya dari tanah sedangkan lereng batuan (*soil slope*) adalah lereng yang materialnya terdiri dari batu-batuan. Menurut cara pembentuknya, lereng tanah dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian:

a) Lereng Alam (*Natural slope*)

Pada prinsipnya material pembentukan lereng alam dominan menggelincir akibat gaya gravitasi atau dari gaya-gaya lainnya, seperti karna tekanan air pori dan lain-lain. Untuk menggelincir itu ditahan oleh kekuatan geser material sendiri. Akan tetapi, meskipun stabil untuk jangka waktu yang lama, lereng alam dapat runtuh karena beberapa faktor seperti:

- 1) Pelapukan yang hancur ikatan antara butir tanah yang mengurangi kekurangan gesernya.
 - 2) Galian atau timbunan biasa mengganggu keseimbangan lerengnya.
 - 3) Terjadinya perubahan tenggangan pada material setiap lereng alam mempunyai tegangan awal (*initial stress*) yang sangat tergantung oleh sejarah geologi dan faktor alam lainnya. Faktor tersebut juga dapat menyebabkan perubahan tegangan yang menyebabkan tergantungnya keseimbangan.
 - 4) Aktifitas seismic atau gempa
 - 5) Berkurangnya kekuatan geser secara bertahap yang terjadi secara perlahan sehingga tidak langsung menimbulkan keruntuhan, misalnya terjadi pada bidang ketidak selarasan bidang tektonik.
 - 6) Perubahan tenggangan air pori karena tegangan akses air pori (terutama pada material dengan permeabilitas rendah). Peningkatan tenggangan air pori dikarenakan oleh terganggunya daerah sekitar lereng tersebut, seperti penebangan hutan gangguan *drainase*, alam, *reservoir*, *urbanisasi* dan sebagainya.
- b) Lereng Buatan (*Manmade Slope*)

Lereng buatan adalah lereng-lereng yang sengaja di buat manusia karna tujuan tertentu seperti: (bendungan, tanggul, pemecah gelombang, timbunan, kupasan tebing dan galian. Lereng buatan ini diklasifikasikan dalam dua katagori utama yaitu:

- 1) Timbunan, lereng timbunan ini menyebabkan bertambahnya tegangan tanah akibat tambahan material dalam menganalisa dan mendisain

timbunan, tingkatan kesulitannya dan ketidakpastiannya tidak sebesar lereng alam atau galian.

- 2) Analisa sangat perlu untuk kondisi jangka panjang (*long term condition*), kondisi jangka pendek atau akhir dari pelaksanaan kontruksi/gangguan gempa, penurunan muka air tiba-tiba (*rapid draw down*) khususnya untuk struktur penahan air seperti bendungan.

Tabel 2.9 Aspek-aspek pada kestabilan galian

Jenis tanah timbunan dan tanah dasar	Non kohesif pada tanah keras	Kohesif pada tanah keras	Kohesif dan non kohesif pada tanah
Faktor yang mempengaruhi kestabilan	Sudut geser tanah Timbunan. Sudut kemiringan. Tegangan air pori Air dari luar	Kekuatan tanah timbunan Berat jenis timbunan Sudut kemiringan tinggi timbunan tegangan air pori air laut	Kekuatan tanah dasar Kedalaman kapis Tanah lunak Kekuatan tanah Timbunan Berat jenis timbunan Tinggi timbunan Tegangan air pori
Mekanisme kegagalan	Gelincir pada permukaan	Gelincir menyinggung puncak tanah dasar	Gelincir dalam sampai tanah dasar
Tahap skrosis Untuk kestabilan	Jangka Panjang gempa bumi	Akhir kontruksi Jangka pancang Penurunan Permukaan air tiba-tiiba	Akhir kontruksi Jangka Panjang Penurunan muka air Tiba-tiba

Sumber: Goerge Ardian (kestabilan galian)

Tabel 2.10 Aspek-aspek pada kestabilan galian lanjutan

Jenis tanah timbunan dan tanah dasar	Non kohesif pada tanah keras	Kohesif pada tanah keras	Kohesif dan non kohesif pada tanah
Prosedur analisis	Tegangan efektif Tegangan dinamik	Tegangan total, Tegangan efektif Atau kombinasi Keduanya	Tegangan total, Tegangan efektif atau kombinasi keduanya

Sumber: Goerge Ardian(kestabilan galian lanjutan)

3) Galian, dikarenakan adanya galian maka menyebabkan pengurangan tegangan tanah akibat pengurangan berat tanah. Tujuan utama mendesain yaitu mendapatkan lereng dengan ketinggian dan kemiringan yang stabil dan ekonomis. Desain ini dipengaruhi oleh faktor geologi, sipat material *seepage*, erosi dan kemungkinan banjir. Beberapa aspek penting pada ketidakstabilan galian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.10 Aspek-aspek pada kestabilan galian lanjutan

Jenis galian	Kohesif	Non kohesif
Faktor yang mempengaruhi kestabilan	Kekuatan tanah Berat jenis tanah Sudut kemiringan lereng	Sudut geser tanah Sudut kemiringan Lereng tahanan air pori air dari luar
Mekanisme kegagalan	Gelincir dalam, dapat melakukan di bawah kaki lereng	Gelincir pada permukaan
Masalah kursus	Kehilangan kekuatan Pada lempeng stiff-Fissured Erosi permukaan	Erosi permukaan Liquefaction selama Gempa bumi
Tahap ksisis untuk kestabilan	Akhir kontruksi Jangka Panjang dan Penurunan muka air Tiba-tiba	Jangka Panjang atau Gempa bumi

Sumber: Goerge Ardian jenis tanah galian kohesif non kohesif

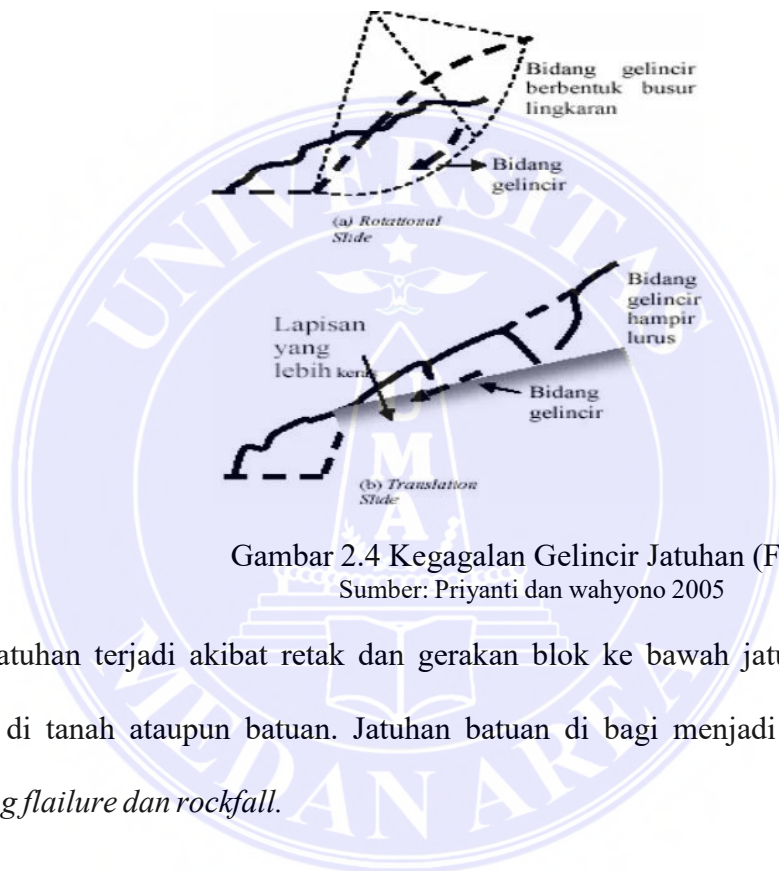
Tabel 2.11 Aspek-aspek penting dalam kestabilan galian lanjutan

Jenis tanah galian	Kohesif	Non kohesif
Prosedur analisis	Tengangan total Tengangan efektif Kombinasi keduanya	Tengangan efektif atau dinamik

Sumber: Goerge Ardian jenis tanah galian kohesif non kohesif

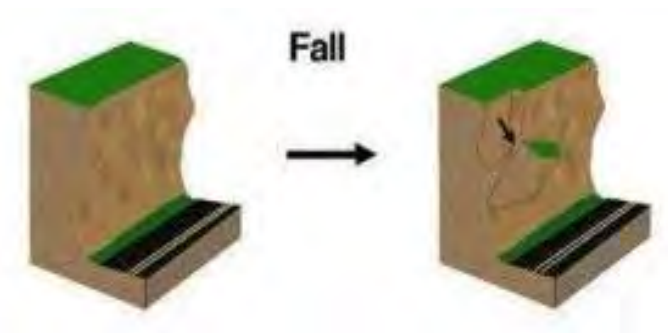
2.4.4 Masalah Kegagalan Lereng

Keruntuhan atau kegagalan lereng diakibatkan dari ketiastabilan material sehingga terjadi gerakan lereng (*slope motion*), yang merubah bentuk geometriknya. Gerakan lereng yang menyebabkan kegagalan dapat diklasifikasikan menjadi 5 (lima) fenomena.



Gambar 2.4 Kegagalan Gelincir Jatuhan (Falls)
Sumber: Priyanti dan wahyono 2005

Jatuhan terjadi akibat retak dan gerakan blok ke bawah jatuhan ini dapat terjadi di tanah ataupun batuan. Jatuhan batuan di bagi menjadi 2 (dua) yaitu *toppling flailure* dan *rockfall*.



Gambar 2.5 Kegagalan Jatuhan
Sumber: andiasmencle.blogspot.com

a) Aliran (*flows*)

Aliran terjadi akibat gerakan massa yang menyerupai fluida kental dan gerakan tanpa bidang gelincir yang jelas. Aliran seringkali terjadi pada material *unconsolidated*.



Gambar 2.6 Kegagalan Aliran

Sumber: pipijeje.blogspot.com

b) Penyebaran (*Lateral Spreads*)

c) Rubuhan (*Toppling*)

2.4.5 Faktor-Faktor Yang Mengganggu Kestabilan Lereng

Faktor-faktor yang mengganggu dalam kestabilan lereng ada dua yaitu faktor pengaruh luar dan faktor pengaruh dalam. Berikut penjelasannya:

A. Faktor pengaruh luar

Faktor pengaruh luar ini terjadi karena meningkatnya tegangan geser yang berkerja pada tanah (τ_m) sehingga factor keamanan lebih kecil dari 1(satu). $F_k < 1$ akan terjadi longsor. Faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu:

1) Akibat peningkatan gaya vertikal

- a) Akibat air hujan yang tertahan di atas lereng.
- b) Adanya timbunan deposit halus.
- c) Adanya timbunan tanah.

- d) Berat bangunan yang berada tepat di atas lereng.
- 2) Akibat penurunan gaya *horizontal*
 - a) Kaki lereng tersebut tererosi oleh aliran sungai.
 - b) Karena adanya galian.
 - c) Karena adanya pembongkaran dinding penahan tanah.
- 3) Pergerakan tektonik

Pergerakan tektonik yang timbul dapat merubah keadaan geometri lereng. Pelandaian lereng berarti menstabilkan, sebaliknya pergerakan lereng mengurangi kestabilan lereng.

B. Faktor Pengaruh Dalam

Penurunan kekuatan geser tanah yang mengakibatkan kelongsoran tanah merupakan bagian yang tersulit diperkirakan secara teliti penyebabnya. Faktor-faktor yang menurunkan kekuatan geser tanah dari keadaan semula adalah kondisi, struktur geologi dan geometri dari lereng tersebut, yaitu:

- 1) Pada kondisi dimana material dapat menjadi lemah bila terjadi peningkatan kadar air. Hal ini terjadi pada tanah lempung “*over consolidated*” (τ_c) dan “*heavily over consolidated*” (“*H_{TC}*”), tanah *tuff vulkanik*, “*shales*” dan tanah lempung organik.
- 2) Struktur geologi dan geometri lereng
 - a) Lapisan yang berada di atas tanah lempung yang lemah.
 - b) Letak lapisan yang *permiabel* dan lapisan *ipermiabel* seperti lempung yang saling berselang-seling.
- 3) Pelapukan dan reaksi lainnya

- a) Hidrasi dan mineral pada tanah lempung seperti absorpsi air oleh mineral lempung sehingga kadar air meningkat, biasanya diikuti oleh penurunan harga kohesi seperti pada lempung *montmorillonit*.
 - b) Penyusutan tanah lempung akibat perubahan temperatur yang dapat menimbulkan retakan susut, sehingga kohesi tanah menurun dan memberi kesempatan air mengalir masuk kedalamnya menyebabkan kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor akan menurun dengan sendirinya menurunkan nilai dari faktor keamanan terhadap kestabilan lereng.
 - c) Erosi oleh air pada tanah lempung dispresif menyebabkan terbentuknya rongga yang menurunkan kekuatan geser tanah.
- 4) Perubahan berat volume dan tekanan air pori. kondisi terjadi bila:
- a) Berat volume pada kondisi jenuh mengurangi tegangan efektif tanah sehingga kekuatan geser berkurang dengan sendirinya.
 - b) Muka air naik karena air hujan, *reservior* dan sebagainya.
 - 1) Bila jatuh diatas permukaan lereng, sebagian air merembes kedalam tanah dan sebagian lagi mengalir turun ketempat yang lebih rendah, tergantung pada permeabilitas tanahnya (termasuk vegetasi). Air yang mengalir pada permukaan tanah ketempat yang lebih rendah dengan kecepatan semakin lama semakin cepat akan menggerus kaki lereng sehingga menyebabkan tidak stabilnya lereng. Sebelum hujan turun, lapisan paling atas lereng bersifat jenuh sebagian dan biasanya memiliki permeabilitas lebih tinggi dari lapisan dibawahnya. Banyaknya air hujan yang

merembes ke dalam tanah tergantung pada lamanya hujan dan permeabilitas tanah. Penyebab pokok yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan geser tanah adalah :

a. Penjenuhan permukaan tanah yang berakibat adanya peningkatan volume sehingga kohesinya menurun dan berat volume tanah meningkat.

b. Peningkatan tekanan air pori kerana naiknya muka air preatik.

Penurunan muka air preatik saat pengisian air waduk Pada saat pengisian air waduk, lereng sekitarnya yang tergenang akan mengalami perubahan muka air tanahnya. Gejala ini terjadi terutama karena alirannya tertahan oleh adanya air waduk, sehingga untuk keluar aliran air mencari bentuk yang baru, biasanya berada diatas bentuk aliran yang lama yang berarti terjadi peningkatan tekanan air pori sehingga menurunkan nilai faktor keamanan pada stabilitas lereng.

c. Penurunan muka air waduk secara tiba-tiba bila elevasi air waduk secara tiba-tiba karena salah satu alasannya dikhawatirkan terjadi banjir maka kestabilan lereng disekitarnya akan terganggu.

Justifikasi keamanan *cofferdam* dilakukan setelah diperoleh keluaran pemodelan yaitu kestabilan lereng dari analisis noemal dan rembesan. Jadi dalam elakukan pembenaran keamanan dari beberapa literature terkait. Berikut adalah penjelasan mengenai justifikasi keamanan *logging* dam. Pada umumnya, semakin kecil ukuran partikel tanah, semakin rendah koefisien permeabilitas (k) atau kelulusan airnya.

Nilai tipikal koefisien permeabilitas (k) atau kelulusan air dari berbagai jenis tanah adalah sebagai berikut:

- a) Kerikil: >1 cm/s
- b) Pasir campur kerikil: 10^{-2} - 1 cm/s
- c) Pasir halus, lanau dan lanau lempung: 10^{-5} - 10^{-7} cm/s
- d) Lempung dan lanau lempung : $<10^{-5}$ cm/s

Nilai koefisien permeabilitas (k) atau kelulusan air dapat diperoleh dari pengujian di laboratorium dan pengujian lapangan. Air dalam tanah didapatkan dalam bentuk:

- a) air bebas (*gravitational water*)
- b) air tanah (*ground water*)
- c) air higroskopis

Air bebas adalah air yang masuk ke dalam tanah melalui permukaan dan bergerak ke bawah sebagai akibat dari gaya gravitasi sampai mencapai lapisan yang tak dapat dirembesi. Permukaan air ini disebut sebagai permukaan air tanah. Tekanan pada permukaan air tanah = 1 atmosfer. Air yang terdapat dibawah muka air tanah dinamakan air tanah dan berada di dalam pori-pori, akibat gaya tarik-menarik antar molekul serta dinamakan air higroskopis.

Pori-pori yang terdapat dalam tanah bukanlah merupakan pori-pori yang saling terpisah, sehingga air yang berada di dalam pori-pori dapat mengalir melalui ruang antar pori. Proses mengalirnya air dalam pori-pori tanah tersebut dinamakan rembesan (*seepage*), sedangkan kemampuan tanah untuk dapat dirembesi disebut daya rembes atau permeabilitas (*permeability*)

2.5 Erosi buluh (*piping*)

Erosi buluh terjadi di massa pondasi atau urugan yang berkoheisi. Proses erosi buluh dinilai pada satu titik diskontinuitas disebelah hilir atau konsentrasi aliran air. Sebagai contoh seperti pemadatan yang kurang baik pada bidang kontak pada bidang kontak pada bendungan dan struktur memanjang dari udik ke hilir lubang yang terbuka akar tanaman dan lubang buatan binatang. Butir-butir tanah terlepas mulai disebelah hilir sehingga terjadi pembentukan pipa kecil yang berambat secara perlahan-lahan ke udik bendungan. Biasanya lintasan lubang kecil tersebut mempunyai bentuk seperti jarring alir (*flownet*). Untuk mencegah kejadian semacam ini, harus dibuat suatu sistem pengontrol yang perlu diamati secara kontinu dilokasi lokasi rembesan terkonsentrasi. Gambar di bawah menunjukkan terjadinya keruntuhan piping akibat *gradient hidraulis* berlebihan pada kaki bendungan. Secara fisik, *piping* tersebut diawali dengan terbentuknya kerucut yang disebut suatu pendidihan (*boil*) atau suatu aliran air yang keruh keluar dari lereng hilir. Terbawanya butiran halus tersebut terus berlangsung ke arah hulu membentuk suatu pipa di dalam tubuh atau pondasi bendungan.

Faktor keamanan biasanya dinyatakan dalam nilai banding antara gradien kritis (I_c) dan komponen vertical dari gradien keluaran. Gradien ini diperoleh dari perhitungan atau pembacaan langsung pada instrument pisometer di lapangan, dan dapat dihitung dengan persamaan(1) dan (2) .

$$F_k = \frac{I_c}{I_e} > 4 \quad (1)$$

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

Keterangan :

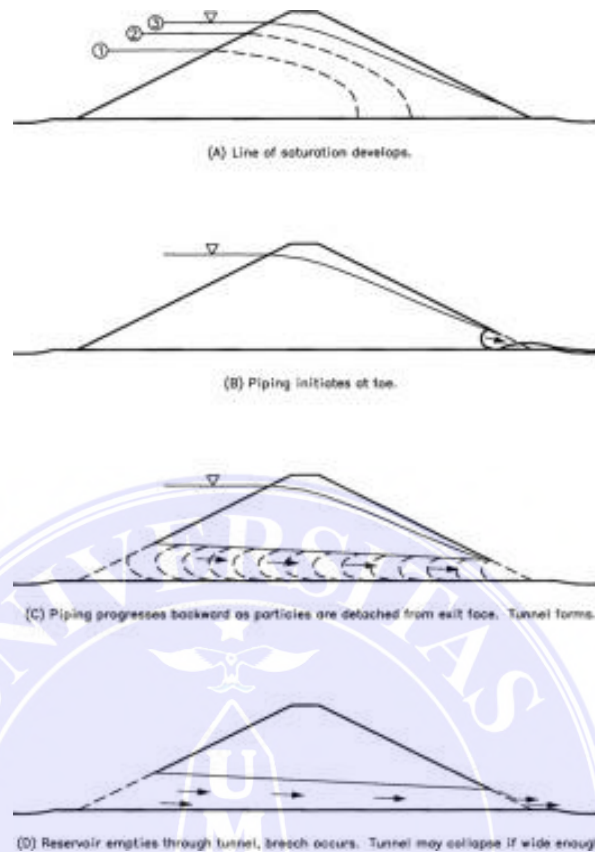
F_k adalah factor keamanan (tampa dimensi)

- l_c adalah gradien keluaran kritis (tampa dimensi)
- l_e adalah gradien keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan instrument pisometer (tampa dimensi)
- γ' adalah berat volume efektif (terendam) (t/m^3);
- γ_w adalah berat volume air (t/m^3);
- G_s adalah gravity spesifik (tampa dimensi);
- e adalah angka pori (tampa dimensi);

nilai rata-rata G_s biasanya digunakan untuk berbagai perhitungan gradien keluaran karena variasi nilai tidak berbeda jauh untuk jenis tanah yang berbeda. Namun, nilai e di lapangan untuk berbagai jenis tanah bervariasi cukup besar, oleh karena itu penaksirannya (bila tidak ada data hasil pengujian) harus dilakukan secara hati-hati berdasarkan pengalaman dan pertimbangan Teknis yang baik pula.

Bila tidak ada informasi mengenai *gravity spesifik* G_s atau angka pori e , dapat digunakan $l_c=1$ yang kurang lebih indentik dengan kondisi pasir kuarsa di lapangan. Nilai ini bukan nilai konservatif sehingga harus digunakan secara hati-hati. Karena nilai l_c yang lebih rendah yaitu sebesar 0,5. Pernah terukur oleh beberapa peneliti untuk jenis tanah pasir halus dan lanau.

Factor keamanan minimum untuk disain harus diambil minimal 4 untuk mencegah terjadinya keruntuhan karena pengaruh gradien keluaran yang melampaui batas. faktor ini digunakan untuk mencegah hal-hal yang tidak diperhitungkan dalam tahap disain. Misalnya pengaruh heterogenitas tanah, kemunduran kualitas tanah yang merupakan fungsi dari waktu dan penyimpanan hasil perkiraan



Gambar 2.7 Proses Terjadinya Piping
Sumber: pipijeje.blogspot.com

Lima kondisi yang memicu terjadinya *piping* adalah:

- a) Terbentuknya alur aliran air
- b) Gradien hidraulic pada tempat keluaran telah melebihi dari nilai batas yang tergantung dari jenis tanahnya,
- c) Tempat keluaran dalam kondisi bebas dan tidak dilindungi filter secara memadai,
- d) Terdapat tanah yang rawan piping pada alur aliran rembesan,
- e) Telah terbentuk “pipa” atau tanah di atasnya telah membentuk seperti “atap” untuk menjaga terbukanya “pipa”.

Jadi, kecepatan aliran akan meningkat secara progresif sampai terlepasnya tekanan hidraulis tersebut. Inilah sebabnya, betapa pentingnya menghentikan proses piping sesegera mungkin.

Piping sering terjadi pada kondisi seperti di bawah:

- a) Rembesan melalui lapisan tanah yang rawan tererosi dan tidak dilakukan upaya pengurangan rembesan untuk mengurangi gradien hidraulis,
- b) Tidak adanya filter dan upaya pengurangan tekanan rembesan pada bagian keluaran untuk mencegah terbawanya butiran tanah,
- c) Cara pengurangan rembesan tidak dilakukan dengan benar.

Tanah yang rawan *piping* adalah berkonsistensi urai, pasir halus bergradasi buruk; juga berpotensi tinggi untuk piping adalah lanau dan pasir mengandung halus dengan $PI < 6\%$, seperti pasir campur kerikil urai yang bergradasi baik yang gradasinya lebar dan mempunyai butiran halus plastisitas rendah. Tanah lempungan dengan $PI > 15\%$ cukup tahan terhadap piping.

Faktor keamanan biasanya dinyatakan sebagai nilai banding antara gradien kritis (i_c) dan komponen vertikal dari gradien keluaran. Gradien ini diperoleh dari perhitungan atau pembacaan langsung pada gradien keluaran. Gradien ini diperoleh dari perhitungan atau pembacaan langsung pada instrumen pisometer dilapangan, dan dapat dihitung dengan persamaan (1) dan (2). Dapat dilihat pada SNI 8065:2016 tentang metode analisis dan cara pengendalian rembesan air untuk bendungan tipe urugan.

Nilai rata-rata G_s biasanya digunakan untuk berbagai perhitungan gradien keluaran karena variasi nilainya tidak berbeda jauh untuk jenis tanah yang berbeda.

Namun, nilai di lapangan untuk berbagai jenis tanah bervariasi cukup besar, oleh karena itu, penaksirannya (bila tidak ada data hasil pengujian) harus dilakukan secara hati-hati berdasarkan pengalaman dan perhitungan teknis yang baik pula.

Bila tidak ada informasi mengenai nilai grafitasi spesifik G_s atau angka pori e , dapat digunakan $I_c = 1$ yang kurang lebih indektik dengan kondisi pasir kuarsa dilapangan. Nilai ini bukan nilai konservatif sehingga harus digunakan secara hati-hati karena nilai I_c yang lebih rendah yaitu sebesar 0,5, oernah terukur untuk beberapa peneliti untuk jenis tanah pasir halus dan lanau.

Faktor keamanan minimum untuk desain harus diambil minimal 4 untuk mencegah terjadinya keruntuhan karena pengaruh gradien keluaran yang melampaui batas. Faktor ini terutama digunakan untuk mencegah hal-hal yang tidak diperhitungkan dalam tahap desain. Misalnya pengaruh heterogenitas tanah, kemunduran kualitas tanah yang merupakan fungsi dari waktu dan penyimpanan hasil perliraan.

2.5.1 Ketidakstabilan Lereng Timbunan dan Deformasi Berlebihan

Tekanan air pori dan gaya perembesan air adalah penyebab utama kekhawatiran, ketidakstabilan pada bendungan tipe urugan. (kriteria desain ini dapat diperiksa pada SNI 8064:2016, metode analisis stabilitas lereng static bendungan tipe urugan).

2.5.2 Tekanan Air Pori didalam Pondasi

Tekanan air pori di dalam pondasi bendungan dapat menyebabkan terjadinya tekanan angkat yang tinggi pada bangunan air.

2.5.3 Tekanan Air Pori Yang Tinggi di Hilir Bendungan

Tekanan air pori yang tinggi di hilir fondasi bendungan dapat menimbulkan tekanan angkat tinggi, sehingga terjadi pengangkatan atau peletusan (*upheavel* atau

blowup). Kondisi ini terjadi bila terdapat lapisan pondasi dengan koefisien permeabilitas tinggi di bawah tubuh bendungan (lapisan terkekang = *unconfined layer*). Keruntuhan akan mulai terjadi bila tekanan angkat di bawah lapisan menyebabkan bobolnya lapisan terkekang dan terjadi peningkatan gradien keluaran. Erosi buluh atau likuifaksi statis dapat terjadi pada lapisan di bawahnya. Untuk mendeteksi secara dini kondisi semacam ini, harus dipasang pisometer di hilir bendungan. Faktor keamanan terhadap pengaruh tekanan angkat yang tinggi dihitung dengan menggunakan persamaan (3). yang ada pada SNI 8065:2016.

2.6 Sifat Anisotropi Permeabilitas

Material tanah dan batuan biasanya bersipat *anisotropic*, termasuk material urugan dan fondasi bendungan. Sifat anisotropi permeabilitas terutama terjadi karena pengaruh cara pengendapan atau cara pemadatan, bentuk partikel butiran, serta orientasi dan pola rekahan di dalam massa batuan.

2.6.1 Sifat Anisotropi Dalam Urugan

a) Urugan tanah berbutir halus

- Bendungan yang dipadatkan dengan baik mengikuti standar yang berlaku, nilai anisotropi

$$k_h/k_v=2-10.$$

- Bendungan yang tidak dipadatkan secara baik atau berlapis-lapis, nilai anisotropi bias mencapai

$$k_h/k_v=50$$

- #### b) Urugan tanah berbutir kasar biasanya digunakan sebagai bahan drainasi yang didapat dengan lapisan lebih tebal. Nilai anisotropi k_h/k_v lebih kecil

dibandingkan untuk tanah butiran halus. Tabel A.4 menunjukkan variasi anisotropi untuk beberapa kondisi. Bila data tidak diperoleh, maka untuk perkiraan nilai anisotropi permeab.

2.6.2 Porositas

Porositas adalah sipat dasar yang digunakan dalam ilmu yang berhubungan dengan air melewati media porus, parameter ini merupakan nilai banding antara volume rongga pori dan volume total tanah. Nilai porositas mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas tanah, tetapi tidak langsung menentukan koefisien permeabilitas. Tanah butiran halus pada umumnya mempunyai porositas lebih tinggi daripada tanah berbutir kasar. Namun ukuran pori yang kecil mempunyai tahanan gesek lebih tinggi terhadap aliran air dan permeabilitas lebih rendah.

Porositas efektif atau "*specific yield*" merupakan sebagai volume air dengan drainase dari suatu massa tanah secara gravitasi. Parameter ini dapat digunakan sebagai koefisien simpanan untuk permasalahan aliran air bebas (*unconfined flow*). Tabel A.8 sampai dengan Tabel A.10 memperlihatkan variasi nilai porositas untuk berbagai jenis tanah dan batuan. Gambar A.3 memperlihatkan hubungan antara porositas dan "*specific yield*". Untuk tabel dan gambar dapat dilihat dari SNI 8065:2016.

2.6.3 Hubungan Antara Koefisien Permeabilitas Dan Kadar Air

Hubungan antara parameter koefisien permeabilitas dan kadar air merupakan suatu fungsi. Fungsi ini diperlukan untuk studi rembesan dalam bendungan tipe urugan dengan derajat kejenuhan yang berbeda-beda. Koefisien permeabilitas pada kondisi terjenuh biasanya dinyatakan dengan koefisien permeabilitas efektif (k_r)

yang merupakan sebagian dari koefisien permeabilitas jenuh air (k). Bila tidak ada uji hasil permeabilitas, secara praktis dapat digunakan rumus empiris

$$K_r = \left(\frac{\theta}{n} \right) \varepsilon \quad (6)$$

$$\Theta = \frac{(w\gamma_d)}{(100\gamma_w)} \quad (7)$$

Keterangan:

n = adalah porositas

θ = adalah derajat kejenuhan fraksional (tampa dimensi)

ε = adalah konstanta berkisar antara 3-6 (tampa dimensi)

Untuk material drainase yang dipadatkan $\varepsilon = 3.5$

Untuk material urugan yang dipadatkan dan batuan porous $\varepsilon = 4.0$

Untuk material tanah asli mengandung butiran halus $\varepsilon = 4.5$

W = adalah kadar air tanah (tampa dimensi)

γ_d = adalah berat volume kering tanah (t/m^3)

γ_w = adalah berat volume air (t/m^3)

selain itu hubungan antara koefisien permeabilitas dan kadar air atau tekanan air pori negative dapat ditentukan dengan cara yang diberikan oleh Corey atau Fredlund dkk (2000).

2.6.4 Hubungan Antara Daya Hisap Tanah Dengan Kadar Air

Tekanan air pori negative sebagai fungsi dan kadar air merupakan sifat tanah yang perlu diperhitungkan dalam evaluasi rembesan dan derajat kejenuhan yang bervariasi. Daya isap tanah (*soil suction*) sangat mempengaruhi kekuatan geser tanah kohesif, yang biasanya menimbulkan tekanan air pori negative di atas garis freaktik bendungan. Dalam kasus-kasus tertentu, sering dibutuhkan tekanan air pori

negative terjadi dalam tanah lempung urugan dan pondasi agar kondisi cukup stabil.

Data ini dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut:

- a) Menggunakan data yang terpublikasi untuk tanah asli seperti pada gambar A.4 dan A.5.
- b) Melakukan uji laboratorium khusus seperti diuraikan oleh Fredlund dkk (8.18).

Ket. Untuk gambar dapat dilihat pada SNI 8065:2016.

2.7 Analisis Rembesan Air

Semua analisis yang diuraikan dalam standar ini berhubungan dengan metode perhitungan untuk memperkirakan besarnya rembesan air melalui tubuh dan pondasi bendungan.

2.7.1 Rencana Analisis

Sebelum melakukan analisis rembesan air, terlebih dahulu perlu disusun suatu rencana analisis berikut ini:

- a) Penjelasan singkat tentang maksud analisis;
- b) Pemilihan metode analisis, yaitu;
- c) Kondisi yang akan dianalisis, yaitu:
 1. Kondisi pembebanan akibat perunahan muka air waduk;
 2. Parameter yang akan divariasikan;
 3. Data material yang akan digunakan untuk analisis yaitu:
 - a) Sumber data;
 - b) Tambahan pengujian lapangan dan laboratorium;
 4. Hasil kuantitatif yang akan diperoleh;

d) Standar teknis, dalam Tabel 2.6 memperlihatkan ikhtisar tipe analisis dan metode analisis untuk beberapa situasi yang dapat digunakan. Standar ini hanya memberi suatu petunjuk umum untuk analisis rembesan air, dan tidak mencakup semua situasi secara detail yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, standar ini harus digunakan dengan hati-hati dan disesuaikan dengan pengalaman masing-masing. dan bila diperlukan, dianjurkan untuk meminta advis teknis kepada tenaga spesialis dalam bidang ini, sesuai dengan tingkat kesulitan masalah yang dihadapi.



Tabel 2.12 Tipe Analisis Dan Metode Analisis

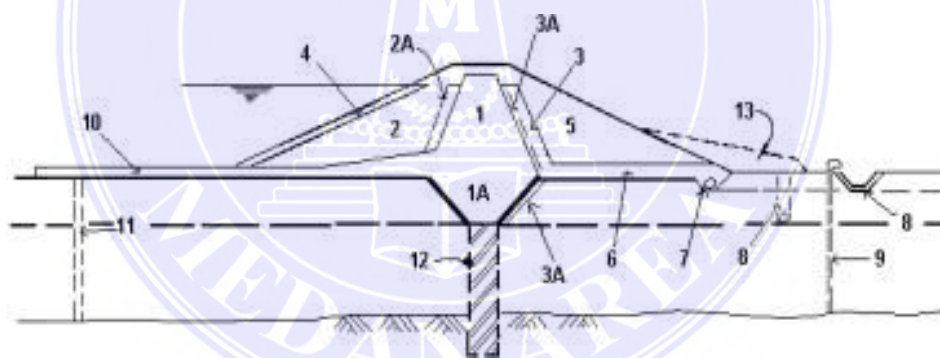
Situasi	Penyelidikan tipikal	Metode yang dianjurkan
1 urugan homogen dengan fondasi kedap air, aliran lereng 2D	Garis freatik, tekanan air pori, gaya perembesan air, (stabilitas)	grafis atau garis freatik menggunakan Gambar C.1 sampai dengan C.3
2 Urugan zonal dengan fondasi air, aliran lenggeng 2D	garis freatik, tekanan air pori, gaya perembesan air(stabilitas)	jaringan alir perikasa Gambar C.4 atau model numerik (SEEP2D,PLAXIS,PC-SEEP,SEEP/W).
3 Urugan homogen dengan fondasi porous yang seragam, aliran langgeng 2D	garis freatik, tekanan air pori, gaya perembesan air (stabilitas) gradien keluar dan debit rembesan alternatif sistem pengendalian dan variasi parameter material	Jaringan alir Gambar C.4 sampai dengan C.7 model numerik (SEEP2D PLAXIS,PC-SEEP,SEEP/W) Model numerik (SEEP2D,PC-SEEP)
4 Urugan zonal dengan fondasi porous, aliran langgeng 2D	garis freatik tekanan pori, gaya perembesan air(stabilitas) gradien keluaran dan debit rembesan alternatif sistem pengendalian dan variasi parameter material	Model numerik (SEEP2D,PC SEEP,SEEP/W)
5 Aliran transien 2D kondisi batas tetap	proses penjenjutan dan waktu sampai terjadi aliran tetap	Model numerik (PC-SEEP,SEEP/W)
6 Situasi termasuk aliran 2D tidang langgeng, jenuh-tidak jenuh, urugan zonal dan homogen, fondasi heterogin, kondisi batas transien	pengisian pertama, operasi waduk, perubahan kadar air dan tekanan air pori, pengaruh presipitasi dan evaporasi	Model numerik (PC-SEEP, SEEP/W)

Sumber: SNI 8065:2016

2.7.2 Pengendalian Rembesan Air dan Pertimbangan Desain

Filosofi dasar pengendalian yang digunakan oleh berbagai instansi di luar negeri secara bertahap adalah untuk memperoleh keamanan dan kemampuan penyimpanan air dalam waduk. Pengendalian rembesan air secara bertahap sangat dibutuhkan karena beberapa faktor yang belum diketahui pada tahanan desain sampai masa guna bendungan, antara lain:

- a) Anomaly geologi dan keterbatasan data penyelidikan
- b) Asumsi yang tidak sesuai dengan kejadian gempa dan cuaca
- c) Penurunan fungsi dari satu atau beberapa sistem pengendalian rembesan dengan waktu
- d) Perubahan cara pengoprasian waduk
- e) Peningkatan pupulasi disekitar lokasi



Gambar 2.8 Pengontrol Rembesan Air Pada Bendungan Tipe Urugan

Sumber: Zainuddin, 2009 <http://indradi.lecture.ub.ac.id/files/2013/05/Materi-II-Tipe-Bendungan>

Keterangan gambar:

1. Zona Penahan Air (Inti).
2. Zona Drainase Untuk Pelindung Stabilitas.
3. Zona Drainase Hilir (*chimney drain*).

4. Zona Armor.
5. Zona Pelindung Stabilitas Hilir.
6. Selimut Drainase.
7. Drainase Kaki (*toe drain*).
8. Parit Drainase (terbuka atau tertutup).
9. Selimut Pelepasan Tekanan (*relief walls*).
10. Selimut Kedap Air (*story wall*).
11. Dinding Halang (*story wall cutoff*).
12. Grouting Tirai.
13. Berm Rembes Air.

Sistem pengendalian rembesan air dibagi dalam dua katagori, yaitu cara dinding penahan air dan cara pengontrolan drainase. Desain bendungan biasanya menggunakan kombinasi dari kedua cara tersebut. Walaupun prinsip kerja kedua cara tersebut berbeda, dalam analisis rembesan air, kedua cara itu harus digabung sebagai satu kesatuan.

2.8 Alternatif Pemilihan Cofferdam

- a) *Cofferdam* dengan urugan timbunan batu Alternatif ini sangat mungkin dilaksanakan mengingat material batu yang tersedia dilapangan cukup banyak, keuntungan lain adalah konstruksi tidak rumit dan relatif murah. Tetapi oleh karena *cofferdam* direncanakan sesekali boleh mengalami *over topping* (melimpas), maka perlu dikontrol diameter batu pada *cofferdam* yang diijinkan sehingga batu tersebut tidak akan larut/terlarut oleh limpasan.

b) *Cofferdam* dari *Concrete* Alternatif konstruksi ini sangat mungkin tahan terhadap limpasan, tetapi ada beberapa pertimbangan yang harus dipertimbangkan antara lain :

1. konstruksi mahal;
2. pembongkaran sulit;
3. harus mendatangkan pasir dari luar daerah;
4. pelaksanaan relatif lama.

Berdasarkan hal-hal diatas maka alternatif ini tidak direkomendasikan.

c) Gabungan/modifikasi (urugan batu dan *concrete*) Type gabungan/modifikasi ini adalah cofferdam dengan urugan batu dan *concrete* serta jaring-jaring dari baja tulangan. *Cofferdam type* ini paling sesuai untuk dilaksanakan bila *cofferdam* didesain boleh mengalami sesekali *over topping* (melimpas). Limpasan yang terjadi dapat melarutkan batuan terutama dibagian hilir dan puncak *cofferdam* sehingga bagian-bagiann tersebut perlu diperkuat dengan lapisan *concrete* dan jaring-jaring dari baja tulangan.

Pada hakekatnya *cofferdam* dengan timbunan material merupakan salah satu jenis bendungan urugan. Perencanaan konstruksi *cofferdam* secara umum menggunakan metode perencanaan bendungan urugan untuk membantu dalam perencanaan dengan memperhatikan aspek lain, seperti: *diversion channel*, kemudahan pelaksanaan, dan kontur penampang sungai.

2.8.1 Desain *cofferdam* tipe urugan tanah

1. bahan urugan : bahan kedap air / semi kedap air dengan banyak butiran halus.
2. sistem drainase: kaki (*toe drain*), horisontal, vertikal (*chimney drain*), kombinasi.
3. lebar inti kedap air / lebar parit halang rembesan diambil $\geq 1/4$ perbedaan tinggi
4. tidak bisa memperoleh urugan yang benar - benar homogen (permeabilitas sama) \Rightarrow *drainase*
5. hempasan ombak dan penurunan mendadak muka air dapat menggerus permukaan lereng bendungan \Rightarrow hamparan batu pelindung, batu kosong pelindung dan hamparan aspal/beton pelindung.
6. pelindung lereng juga dimaksudkan untuk melindungi terhadap erosi dan pengaruh cuaca. terdapat drainase penangkap air hujan pada permukaan lereng diatas *berm* (disamping tubuh bendungan)

2.8.2 Tipe *cofferdam* Urugan

Ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan urugan digolongkan dalam 3 type yaitu :

1. Bendungan urugan homogen: bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasi hampir seragam.
2. Bendungan urugan zonal/majemuk: timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi yang berbeda-beda dalam urutan pelapisan tertentu.

3. Bendungan urugan sekat : Bendungan urugan dengan sekat (*facing*) tidak lulus air di lereng udik

Table.2.13 Skema dan tipe dari bendungan urugan

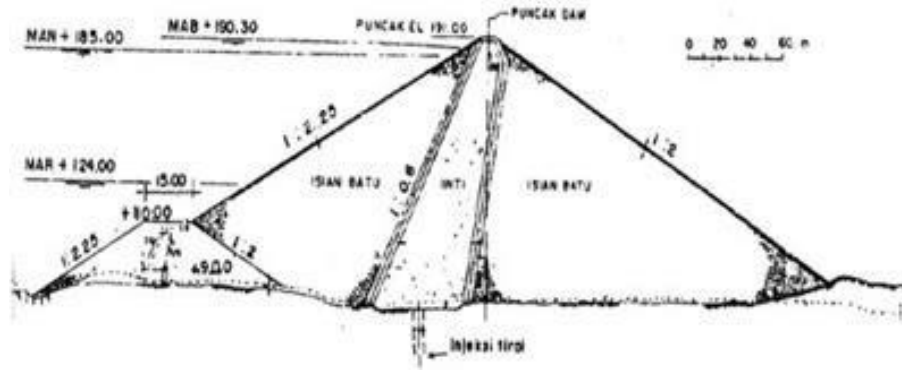
Tipe	Skema umum	Keterangan
Bendungan urugan homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi sama dan bersifat kedap air.
Bendungan urugan Zonal	Tirai 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
	Inti miring 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
	Inti vertikal 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan urugan batu dengan membran		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi dilengkapi dengan membran kedap air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dan lain-lainnya.

Sumber : <http://indradi.lecture.ub.ac.id/files/2013/05/Materi-II-Tipe-Bendungan-Urugan.pdf>

2.8.3 Bendungan tipe urugan zonal

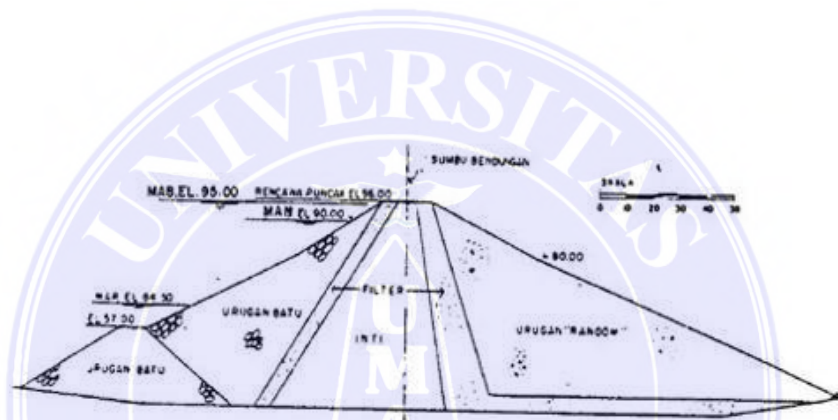
Bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah/batuan bergradasi berbeda dalam urutan pelapisan tertentu (zona lurus air dan kedap air)

- *Front core fill type dam* (bendungan tipe pengisi inti dam)
- *Inclined core fill type dam* (bendungan tipe isian inti miring)
- *Central core fill type dam* (bendungan tipe isian inti pusat)



Gambar: 2.9 model bendungan wadas tipe zonal

Sumber : <http://indradi.lecture.ub.ac.id/files/2013/05/Materi-II-Tipe-Bendungan-Urugaan.pdf>



Gambar: 2.10 bendungan kedungombo tipe zonal

Sumber : <http://indradi.lecture.ub.ac.id/files/2013/05/Materi-II-Tipe-Bendungan-Urugaan.pdf>

Penentuan suatu type bendungan urugaan yang paling cocok didasarkan pada beberapa faktor :

Kualitas serta kwantitas bahan – bahan tubuh bendungan urugaan yang terdapat di daerah sekitar tempat kedudukan calon bendungan. Kondisi penggarapan/pengerjaan bahan tersebut (pengalihan, pengolahan, pengangkutan, penimbunan, dll). Kondisi lapisan tanah pondasi pada tempat kedudukan calon bendungan.

Hal terpenting dari empat faktor tersebut di atas adalah mengenai hal-hal yang bersangkutan dengan usaha-usaha mendapatkan kualitas serta kwantitas

bahan – bahan tubuh bendungan urugan yang terdapat di daerah sekitar tempat kedudukan calon bendungan, terutama untuk bahan pada zone kedap air.

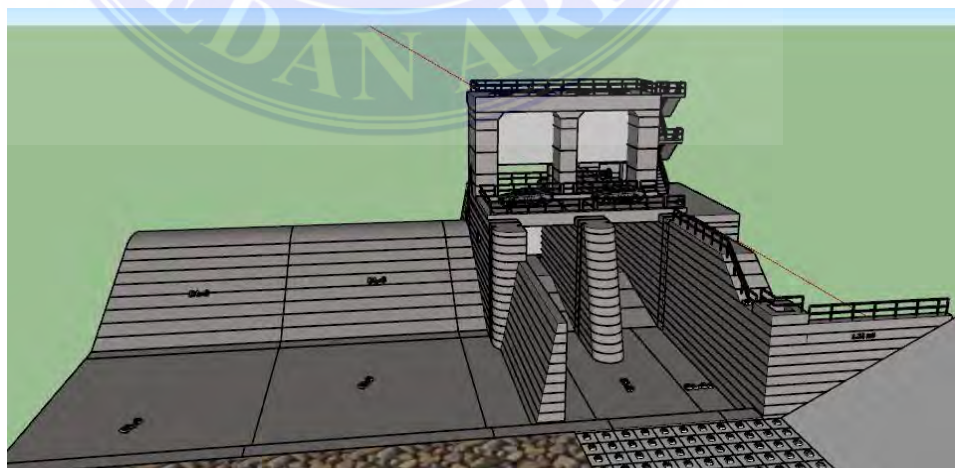
Mengingat potensi daerah di sekitar dan desain *cofferdam* (boleh mengalami *over topping* pada *cofferdam upstream*) yang telah di sebutkan sebelumnya maka direncanakan :

- 1) *Cofferdam Upstream* : Zonal inti tegak dengan modifikasi (penggabungan material urugan dengan beton dan tulangan).
- 2) *Cofferdam downstream* : Zonal inti tegak biasa.

2.8.4 Macam-macam Bendungan

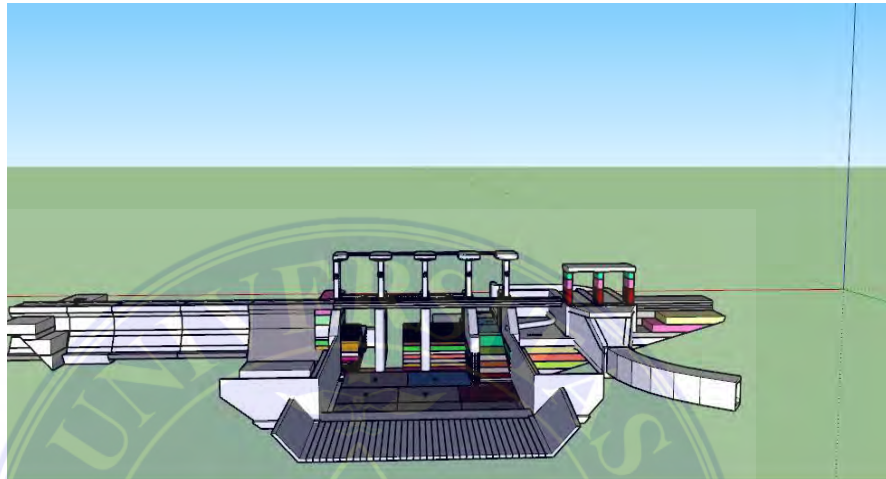
Bendungan atau waduk mempunyai bermacam-macam jenis , beberapa macam jenis bendungan diantaranya adalah :

1. Tipe bendungan berdasarkan penggunaannya :
 - a. Bendungan pembelok (*diversion dam*) merupakan bendungan untuk meninggikan muka air, sering kali dipakai juga untuk keperluan mengalirkan air kedalam sistem aliran air menuju ke tempat yang memerlukan.



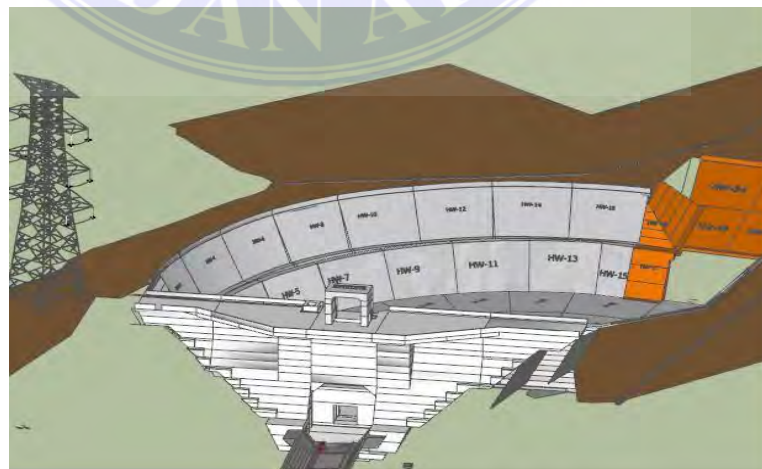
Gambar 2.11 bendungan pembelok (*diversion weir*)
(Sumber : dokumen pribadi)

- b. Bendungan penahan (*detection dam*) merupakan bendungan untuk memperlambat dan seminimal mungkin efek aliran banjir tiba-tiba. Air di tamping secara sementara/sesaat, di alirkan melalui pelepasan (*outlet*) . air di tanah selama mungkin dan dibiarkan meresap di saerah sekitarnya.



Gambar 2.12 bendungan penahan (*detection dam*)
(Sumber : dokumen pribadi)

- c. Bendungan penampung air (*stroge dam*) merupakan bendungan yang di pakai untuk menyimpan air dalam masa surplus dan di gunakan pada masa kekurangan, termasuk dalam bendungan penampung dengan tujuan rekreasi,perikanan , pengendalian banjir dan sebagainya.



Gambar 2.13 Bendungan penampung air (*stroge dam/headpond*)
(Sumber : dokumen pribadi)

2. Tipe bendungan berdasarkan material pembentuknya

- a. Bendungan urugan (*rock fill dam* , *embankment dam*) merupakan bendungan yang di bangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimiawi, jadi betul-betul bahan pembentuk bangunan asli. Bendungan ini masih dibagi lagi menjadi dua yaitu bendungan urugan serba sama (*homogeneous dam*) adalah bendungan apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan mempunyai gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan -urutan pelapisan tertentu.
- b. Bendungan beton (*concrete dam*) adalah bendungan yang di buat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya pada bagian hilir lebih landau dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya ramping .bendungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu bendungan beton dengan penyangga (*buttress dam*) dimana permukaan hulu menerus dan di hilirnya pada jarak tertentu ditahan, bendungan berbentuk lengkung serta bendungan beton kombinasi .

2.8.5 Analisis Kestabilan *Cofferdam* Tipe Urugan (*Embankment*)

Menurut pangalar (1985) analisis kestabilan bendungan tipe urugan mempunyai cara yang sama dengan analisis kestabilan lereng. Analisis kestabilan lereng banyak di kenal, tetapi secara garis besar dapat di bagi menjadi tiga kelompok yaitu, cara pengamatan visual, komputasi dan grafik.

Analisa kestabilan lereng cara pengamatan visual ialah dengan megamati langsung di lapangan dangan membandingkan kondisi lereng yang bergerak atau di perkirakan bergerak atau tidak, cara ini memperkirakan lereng labil maupun stabil dengan memanfaatkan pengalaman dilapangan. Tetapi cara ini dinilai kurang teliti karna tergantung dari pengalaman, cara visual di pakai apabila tidak ada resiko longsor terjadi saat pengamatan dan dilakukan dengan cara memetakan indikasi gerakan tanah dalam suatu peta lereng.

Menurut bowles (1989), pada dasarnya kunci utama gerakan utama adalah kuat geser tanah yang dapat terjadi seperti:

- a) tak terdrainase,
- b) efektif untuk beberapa kasus pembebanan,
- c) meningkat sejalan peningknaan konsolidasi (sejalan dengan waktu) atau dengan kedalaman,
- d) berkurang dengan meningkatnya kejenuhan air (sejalan dengan waktu) atau tebentuknya pori yang berlebih atau terjadi peningkatan air tanah.

Dalam menghitung besar faktor keamanan lereng dalam analisis lereng tanah dengan metode sayatan, hanya longSORan yang mempunyai bidang gelincir yang dapat dihitung. Perhitungan bisa dilakukan menggunakan cara grafik yang sudah standar (Taylor, Hoek & Bray, Jambu, Causins dan Morgenstren), cara ini digunakan untuk material homogen dengan struktur sederhana. Material yang heterogen (terdiri atas berbagai lapisan) dapat di dekati dengan penggunaan rumus (cara komputasi), steorenet, misalnya diagram jaring Schmidt (*Schmidt net*

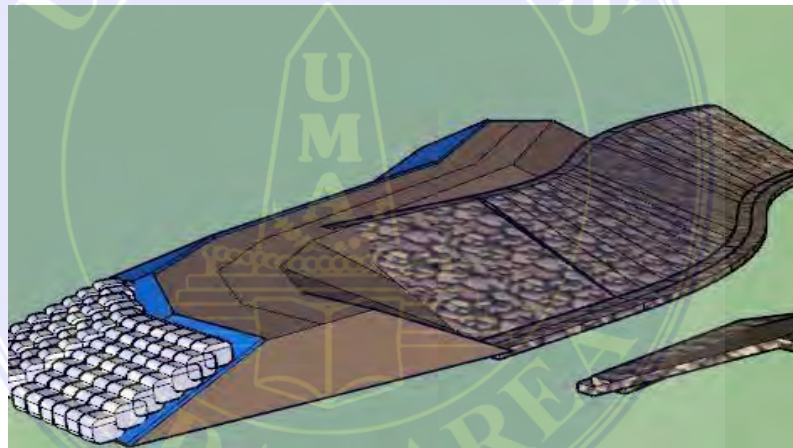
diagram) dapat menjelaskan arah longsoran atau runtuh batuan dengan cara mengukur strike/dip kekar-kekar (*joints*) dan strike/dip lapisan batuan.

Menurut sowers (1975), tipe longsoran terbagi menjadi 3 bagian berdasarkan kepada posisi bidang gelincirnya, yaitu longsoran kaki lereng (*toe failure*), longsoran muka lereng (*face failure*), dan longsoran dasar lereng (*base failure*). Longsoran kaki lereng pada umumnya terjadi pada lereng yang relative agak curam ($>450^0$) dan tanah penyusunnya relatif mempunyai nilai sudut geser dalam yang besar ($>300^0$). Longsoran muka lereng biasa terjadi pada lereng yang mempunyai lapisan keras (*hard layer*), dimana ketinggian lapisan keras ini melebihi ketinggian kaki lerengnya. Sehingga lapisan lunak yang ada di atas lapisan keras berbahaya untuk longsor. Longsoran dasar lereng biasa terjadi pada lereng yang tersusun oleh beberapa lapisan lunak (*soft seams*).

Cofferdam adalah sebuah struktur sementara yang kedap air, di rancang untuk menjaga air atau tanah keluar dari penggalian dimana dermaga, jembatan atau struktur lainnya di bangun. Ketika kontruksi harus di lakukan di bawah air, sebuah *cofferdam* dibangun untuk mempermudah para pekerja dalam melakukan pekerjaan supaya air pada daerah kontruksi tetap kering dan aman bagi perkerja bendungan pengelak/*cofferdam*.

Cofferdam disebut juga anak bendungan karena konstruksi ini selalu dibuat menjelang dibangunnya sebuah bendungan. *Cofferdam* dibangun untuk menjadi penghalang yang dapat membelokkan aliran sungai asli ke arah yang lain, sehingga aliran sungai aslinya dapat dikeringkan untuk dibangun bendungan. Setelah bendungannya jadi, anak bendungan ini dibongkar.

Anak bendungan bisa dibuat dari beton bertulang, lembaran atau tiang baja, tanah, dan kayu. Ada bermacam-macam anak bendungan. Pemilihan jenisnya sangat bergantung pada kondisi tanah, kedalaman, fluktuasi muka air, tersedianya bahan bangunan, kondisi kerja yang timbul, serta bagaimana letaknya di dalam air atau di tanah. Yang sangat diperhatikan dalam merencanakan anak bendungan adalah analisis hidraulik pada rembesan dan pengikisan di dasar sungai. Konstruksi ini dapat dibuat pada tanah yang kedap air, di situ anak bendungan dapat dilengkapi dengan penyekat, untuk mencegah merembesnya air. Bila anak bendungan dibangun pada tanah yang tembus air dan merembesnya aliran air tidak dapat dihentikan secara menyeluruh, air harus dipompa keluar.



Gambar 2.14 Cofferdam

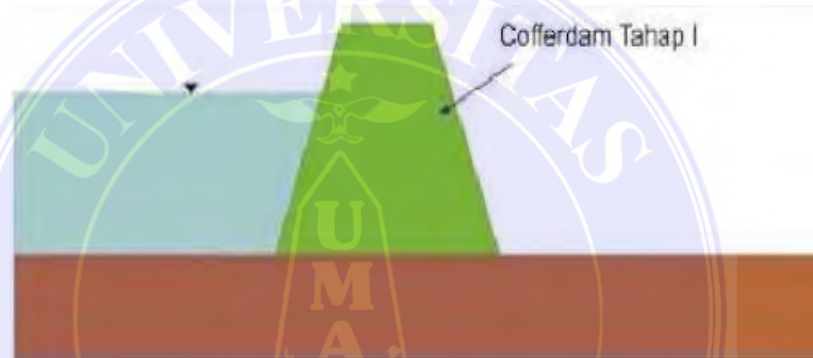
Sumber: Data proyek PLTA Peusangan 1&2

2.8.6 Dewatering

Yang dimaksud dengan *dewatering* pada bangunan penutup sungai ini misalnya pada bangunan/ pekerjaan bendungan. Dalam melaksanakan pekerjaan bendungan biasanya membutuhkan waktu pengerjaan yang cukup panjang (lama), terkadang bisa melalui beberapa musim. Pekerjaan *dewatering* pada dasarnya, dilakukan pada musim kemarau, yaitu pada saat debit sungai terkecil, sehingga aka memperingan proses pekerjaan *dewatering* (pengeringan). Tetapi

karena tuntutan pekerjaan dan *schedule* pelaksanaan, sering pekerjaan *dewatering* masih perlu dilakukan pada musim hujan, ketika debit sungai sudah mulai membesar.

Dalam hal ini *cofferdam* dibuat dalam dua tahap yang cukup untuk menanggulangi musim kemarau dengan debit kecil pada tahap awal, dan pada tahap berikutnya dibuat *cofferdam* yang lebih tinggi. Bila selama tahap pertama pekerjaan dapat diselesaikan di atas muka air, maka *cofferdam* tahap kedua tidak perlu dibuat. *Cofferdam* tahap I dipersiapkan pada debit sungai terkecil :



Gambar 2.15 *cofferdam* tahap 1

Sumber : <https://123dok.com/document/q5pev4jy-cofferdam.html>

Cofferdam tahap II dipersiapkan sebelum debit sungai membesar :



Gambar 2.16 *cofferdam* tahap 2

Sumber : <https://123dok.com/document/q5pev4jy-cofferdam.html>

Dalam proyek bendungan, *cofferdam* dibuat pada dua tempat, yaitu pada bagian/ sisi hulu (*upstream*) dan pada bagian hilir (*down stream*). Daerah di antara keduanya itulah yang akan dilakukan pekerjaan *dewatering* untuk pelaksanaan badan bendungan. Ini berarti bahwa sungai ditutup sepenuhnya selama proses pelaksanaan proyek bendungan.

Oleh karena itu sebelum *cofferdam* ini dibangun, harus dipersiapkan terlebih dahulu pengalihan sungai atau *river diversion*.

River diversion dapat berbentuk dua jenis, tergantung hal-hal yang mempengaruhinya, yaitu terutama kondisi lapangan yang ada.

Jenis-jenis tersebut adalah :

1. *Diversion Channel*, berbentuk saluran terbuka (saluran pengelak).
2. *Diversion tunnel*, berbentuk saluran tertutup (terowongan pengelak).

Kedua jenis *river diversion* itu harus direncanakan dapat menampung debit sungai selama pelaksanaan pekerjaan *dewatering*.

Tunnel diversion banyak digunakan pada pekerjaan *dewatering* untuk bendungan, karena kondisi kanan kiri bendungan berbentuk bukit, sehingga untuk membuat saluran pengelak harus menggunakan terowongan yang menembus bukit.

Terowongan pengelak sering juga dimanfaatkan sebagai saluran pelimpah (*spill way tunnel*) pada akhir pekerjaan bendung. Pada awalnya terowongan difungsikan sebagai saluran pengelak saat pelaksanaan pembuatan badan bendungan, dan di akhir pekerjaan difungsikan sebagai bangunan pelimpah (*tunnel spill way*)

Bila difungsikan sebagai *spillway*, maka kemampuan debit terowongan harus disesuaikan dengan debit *spillway* yang diperlukan.

2.8.7 Metode Analisis dengan Program Komputer

Metode numerik dengan computer sangat dianjurkan untuk digunakan dalam analisis rembesan air karena beberapa keuntungan yaitu sebagai berikut:

1. Sistem yang kompleks dapat dianalisis dengan mudah
2. Tidak perlu ada transformasi dimensi akibat pengaruh sipat material.
3. Hasil yang dikeluarkan berupa nilai digital pada setiap titik nodal yang kemudian dapat digambarkan garis ekipotensial dan tekanan air pori.
4. Parameter tanah dapat divariasikan dengan mudah.

Program-program computer yang banyak digunakan dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Elemen hingga (*finite element*)
 - Program SEEP2D dikembangkan DUNCAN, J.M dan WONG, K.S dari *Virginia polytechnic institute*, hanya dapat digunakan untuk aliran lereng.
 - Program plaxis dari Belanda, hanya dapat digunakan untuk aliran lereng.
 - Program PC-SEEP/SEEP/W dari *geo-slope Programming Ltd (1987)*, Calgary Alberta, Canada dapat digunakan untuk aliran lereng langgeng dan aliran transien (*transien flow*)

2. Elemen batas (*boundary element*)

Program BIE2DCP dikembangkan di US Bureau of Reclamation dan hanya digunakan untuk aliran langgeng.

a) Metode persamaan dan grafis

Berdasarkan teori rembesan jenuh dan kondisi yang disederhanakan metode ini dapat digunakan sebagai analisis pendahuluan dalam desain dan perkiraan biaya. Bila penyederhanaan ini dapat diterima melalui penyelidikan yang terperinci, cara ini dapat digunakan untuk desain final. Semua metode analisis didasarkan pada persamaan Darcy.

Persamaan-persamaan, grafik-grafik dan gambar-gambar pada lampiran B dapat digunakan untuk analisis pendahuluan dan final dalam desain sistem pengendalian rembesan air, misalnya sumur, pelepasan tekanan, parit drainase, selimut kedap air, berm hilir dan dinding haling. Namun dalam penggunaannya, hal itu harus dilakukan secara hati-hati sebagai contoh, metode tersebut tidak berlaku bila digunakan kombinasi beberapa sistem pengendalian rembesan air yang merupakan satu kesatuan.

b) Metode grafis

1) Garis freatik untuk kondisi aliran langgeng dapat diperkirakan secara semi grafis menggunakan prosedur yang diberikan pada Gambar C.1, C.2, dan C.3 dari lampiran C. hasilnya dapat digunakan untuk memperkirakan tekanan air pori dalam analisis stabilitas lereng bendungan, sebagai acuan untuk penempatan pisometer, perbandingan dengan data yang terbaca dari instrument.

2) Cara jaring alir merupakan cara grafis untuk menggambarkan tinggi potensial hidroulik dan arah aliran dalam 2 dimensi,

khususnya aliran langgeng yang jenuh air. Cara ini berguna untuk memperkirakan tekanan air pori, gradien hidroulik, dan debit rembesan. Namun, jarang air hanya dapat digunakan untuk permasalahan yang sederhana, seperti sistem satu atau dua zona bahan dengan parameter yang tidak bias divariasikan. Dasar-dasar pembuatan jaring aliran dapat diperiksa pada lampiran C.4 dari lampiran C. Contoh-contoh hasil pembuatan jaring alir dapat diperiksa pada Gambar C.5 sampai C.8.

3) Metode tahanan listrik

Metode ini dapat digunakan karena ada kesamaan antara hukum Ohm dan hukum Darcy. Media tanah dapat disesuaikan dengan tahanan-tahanan listrik yang dialiri listrik. *Voltase* yang terukur pada titik simpul dapat didentikan sebagai tinggi tekanan air. Metode ini dapat digunakan untuk aliran langgeng. Namun, karena membutuhkan banyak resistor untuk membuat model area aliran, pelaksanaannya menjadi kurang fraktis.

2.9 Program Aplikasi Versi 2012 *Geo Slope Office*

Selain perhitungan manual, stabilitas lereng dapat juga dianalisis menggunakan software komputer. Ada beberapa macam *software* yang telah dikembangkan. Tapi untuk penelitian ini akan menggunakan *software Geo slope Office*. *Geo Slope* adalah suatu *software* yang membantu insinyur dalam menyelesaikan suatu permasalahan terutama yang berhubungan dengan tanah. *Geo slope* terdiri dari beberapa bagian sub program yang kesemuanya dapat

diintegrasikan satu dengan yang lainnya jika dibutuhkan. Sub program *Geo slope*, yaitu:

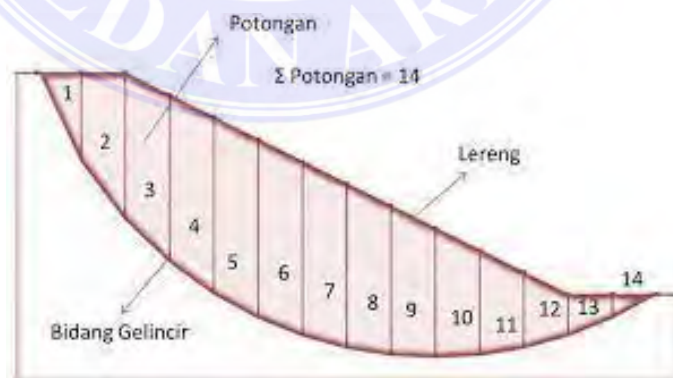
- a) Slope/W,
- b) Seep/W,
- c) Ctran/W,
- d) Sigma/W,
- e) Temp/W,
- f) Quake/W, dan
- g) Vadose/W

Slope/W atau Seep/W merupakan produk *software* yang menggunakan batas keseimbangan untuk menghitung faktor keamanan tanah dan lereng. Menganalisa stabilitas lereng, menggunakan batas keseimbangan, serta mempunyai kemampuan untuk menganalisis contoh tanah yang berbeda jenis dan tipe, longsor dan kondisi tekanan air pori dalam tanah yang berubah menggunakan bagian besar. Dan juga biasa digunakan untuk menghitung total rembesan air Slope/W dan Seep/W merupakan sub program dari Geo Slope yang dapat diintegrasikan dengan sub program lainnya, baik Vadose/W, Quake/W dan Sigma/W. Parameter masukan data analisa dapat ditentukan atau secara probabilitas.

Unuk menghitung lereng digunkan Metode Morgenstern (1963) untuk kondisi tanah dimana muka air turun dengan cepat (*rapid drawdown*) pada suatu bendungan urugan tanah yang terletak pada permukaan keras dan kedap air. Mula-mula, posisi permukaan air sejajar dengan puncak bendungan. Kemudian, karena suatu hal, muka air turun mendadak sedalam L seperti diagram morgentern

Dalam cara ini, *factor* aman ditentukan dengan metode bishop disederhanakan (*simplified Bishop method*) (Bishop, 1955). Pada saat muka air turun, dianggap garis aliran arahnya *horizontal* dan garis equipotensial arahnya *vertical*. Berat volume tanah dianggap sama dengan 2 kali berat volume air. Memerlihatkan *factor* aman dalam kondisi penurunan muka air mendadak untuk beberapa nilai $c'/\gamma H$, untuk beberapa nilai $cgt \beta$ dan ϕ' . Jika $L/H = 1$, lingkaran kritis menyinggung dasar bendungan. Jika $L/H < 1$, beberapa lingkaran harus dicoba untuk menentukan *factor* aman yang paling rendah.

Kestabilan suatu lereng dinyatakan dalam *safety factor* (SF). Perhitungan *safety factor* suatu lereng dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode. Metode yang umum digunakan untuk perhitungan SF antara lain Fellenius, Bishop's Simplified, Janbu's Simplified, Corps of Engineering, Lowe & Karfiath, Spencer, Sarma, dan Morgenstern & Price. Pada bidang gelincir melingkar metode perhitungan SF yang digunakan secara luas di seluruh dunia adalah Fellenius dan Bishop. Pada perhitungan SF untuk bidang gelincir yang tidak melingkar, maka metode yang sering digunakan adalah Janbu dan Morgenstern-Price



Gambar 2.17 Pembagian Potongan pada Suatu Lereng dan Bidang Gelincir di Dalam Lereng

Sumber: krahn 2004

Pada kali ini Penulis akan melakukan penelitian menggunakan metode Morgenstern-Price. Metode perhitungan SF dilakukan dengan metode Morgenstern-Price. Pemilihan metode Morgenstern-Price dalam analisis dilakukan karena metode ini mempertimbangkan enam kriteria, yaitu keseimbangan momen, keseimbangan gaya, gaya normal antar potongan (X), gaya geser antar potongan (E), inklinasi dari resultan X/E , dan hubungan antara $X-E$ (Krahn, 2004).

Keunggulan lain dari digunakannya metode Morgenstern-Price untuk analisis stabilitas lereng menurut Krahn (2004) adalah variasi dari gaya antar potongan dapat dimodelkan. Perhitungan *safety factor* pada dasarnya adalah perhitungan jumlah gaya antar potongan pada model lereng yang dibuat. Lereng yang dibuat dibagi menjadi potongan-potongan kecil untuk memudahkan perhitungan (Gambar 2.17)

Metode Morgenstern-Price dapat digunakan dalam:

- a. memperhitungkan gaya-gaya antar irisan
- b. mengasumsikan gaya-gaya antar irisan adalah fungsi $f(x)$ menghitung angka keamanan dengan keseimbangan momen dan keseimbangan gaya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diskripsi

Lokasi Penelitian PLTA PEUSANGAN merupakan proyek milik PT. PLN (Persero) dengan sumber dana JICA Loan No. IP-538 dan PT. PLN (Persero) Berlokasi di Kecamatan Silih Nara, Kabupaten Aceh Tengah. PT. PLN menggandeng NIPPON KOEI CO. LTD bersama Tokyo Electric Power Service CO. LTD, sebagai konsultan perencana dan konsultan pengawas hingga saat ini. Pekerjaan proyek PLTA Peusangan terbagi kedalam 4 LOT, LOT I adalah pengerjaan sipil yang dikerjakan oleh Hyundai E&C dan PT. PP (Persero) Tbk. Pekerjaan ini dimulai sejak 2 mei 2011. LOT II adalah pekerjaan metal work yang dikerjakan oleh Wijaya Karya (Wika) dan Amarta Karya mulai dikerjakan sejak 8 Maret 2012. LOT III adalah pekerjaan elektro mechanical untuk turbin dan generator yang dikerjakan oleh kontraktor dari Austira Andritz Hydro GmbH. Untuk LOT IV adalah pekerjaan transmisi 120 kv dari Takengon – Bireun yang dikerjakan oleh PT. BBS dan PT KBI.

PT. PP (Persero) Tbk. mengerjakan bangunan kontruksi yang terdiri dari 2 lokasi utama, daerah *upstream* dan *downstream*. Pembangunan proyek PLTA Peusangan 1 & 2 bertujuan untuk menghasilkan sumber listrik sebesar 88 MW dengan memanfaatkan Sumber Daya Alam Terbaru berupa air, sehingga diharapkan proyek PLTA Peusangan nantinya dapat memberikan manfaat.

3.2 Lokasi proyek



Gambar 3.1 Peta Lokasi Proyek
Sumber: Google Maps



Gambar 3.2 lokasi penelitian
Sumber: data proyek

Keterangan gambar :

1. *Cofferdam*
2. Dinding penahan tanah
3. Bendungan (*Regulting weir*)

3.3 Tahapan Persiapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, di harapkan melakukan kegiatan pengumpulan data dan penyusunan rencana agar dalam pengerjaan penelitian ini memperoleh waktu yang efektif dan efisien. Adapun tahapan persiapan penelitian yang dilakukan adalah:

1. Menentukan data yang di perlukan Melakukan pengamatan
2. Membuat studi literature yang sesuai dengan materi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.
3. Wawancara dengan *Engineering* kontruksi, pengumpulan data yang menyangkut kegiatan dan pengerjaan khususnya pada *cofferdam*.
4. Penyusunan pengolahan data dengan melakukan perhitungan baik manual maupun menggunakan aplikasi geo slope.
5. Analisis perbandingan aspek yang dibahas.
6. Kesimpulan dan saran berdasarkan hasil pembahasan.

Pembangunan *cofferdam* ini membutuhkan suatu diagram alir (*flow chart*) untuk mempermudah dalam perancangan maupun perhitungan. *Flow chart* ini dimulai dari penentuan dari fungsi *cofferdam* yang akan diteliti, dalam hal ini *cofferdam* yang di rencanakan adalah *cofferdam* jenis urugan ataupun timbunan

kemudian dilanjutkan dengan mempelajari dan menentukan dasar-dasar teori yang dipakai, setelah itu mengidentifikasi *cofferdam* yang disertai dengan pengumpulan data yang dibutuhkan. Adapun data yang didapat dari lapangan (Data Primer) yaitu survey lapangan, dan wawancara dengan pihak *engineering* maupun pelaksana di lapangan. Data Sekunder di dapat dari PT. PP (Persero) Tbk selaku kontraktor. Dalam proses pengolahan data ini peneliti menghitung rembesan dan nilai SF (*Safety faktor*) lereng dengan menggunakan paduan SNI dan selanjutnya menginput data yang didapat kedalam aplikasi geo slope, selanjutnya peneliti menganalisa hasil yang didapat maka akan didapat tujuan penelitian.

3.4 Metode Penelitian

Skripsi ini disusun dalam ruang lingkup pekerjaan sebagai berikut:

1. Data skunder

Mengumpulkan bahan-bahan dan teori-teori dari beberapa jurnal dan buku yang berhubungan dengan pengerjaan skripsi.

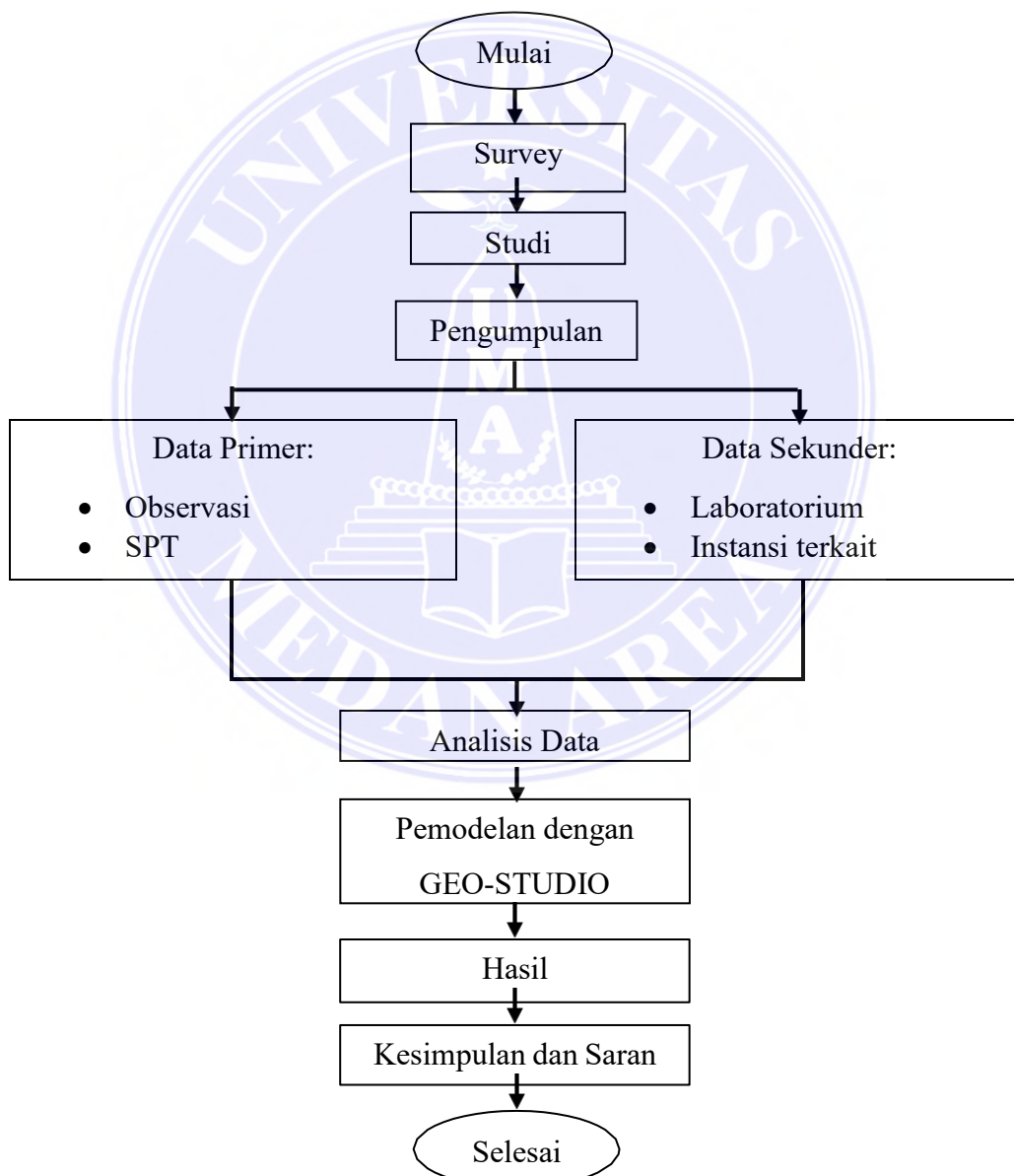
2. Data primer

Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer berupa data-data teknis dari proyek, seperti gambar bestek yang diperoleh dengan meninjau langsung pada lokasi penelitian. Pengumpulan data sekunder berupa data-data pendukung yang dapat dijadikan input dan referensi dalam melakukan analisis data sekunder diantaranya data dari laporan penelitian terdahulu, buku-buku literature dan jurnal yang dijadikan referensi dalam menganalisis.

3.5 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah: pendekatan kuantitatif, karena hasil penelitian yang digunakan berupa angka yang merupakan hasil analisis *cofferdam* dengan menggunakan program GEO-SLOPE 2012

3.6 Kerangka Berpikir



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan dari analisis rembesan lereng dan stabilitas rembesan:

1. Faktor Keamanan Kritis untuk stabilitas *cofferdam* menurut Hasil Analisa setelah running SLOPE/W adalah 1,711 & 1,512 Karena lebih tinggi dari 1,5 (SNI 8460:2017 Persyaratan Geoteknik Perancangan Tabel 25), Artinya stabilitas *cofferdam* aman.
2. Sedangkan untuk perhitungan manual didapatkan 1,24 untuk *rapid drawdond*
3. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa debit rembesan $1,81 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt} = 1,81 \times 10^{-4} \text{ liter}/\text{dt} = 15,64 \text{ liter}/\text{hari}$ yang terjadi lebih kecil dari debit izin maksimum 50 liter/hari. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aman debit rembesan, bendungan aman. Meskipun potensi rembesan akibat SEEP/W kurang dari batas yang diijinkan.

5.2 Saran

1. Pada penelitian ini metode morgenstern price yang digunakan penulis adalah salah satu metode yang di gunakan dalam program Geo -studio, sehingga perlu adanya penggunaan metode lainnya pada analisis *cofferdam* ini seperti metode bishop dan fellinius untuk membandingkan hasil dengan menggunakan aplikasi Geo studio

2. Perlu adanya pemahaman yang lebih lanjut pada aplikasi Geo studio 2012 ini untuk bidang struktur maupun tanah.
3. karena Rembesan tetap terjadi Pompa masih diperlukan untuk mengkompensasi rembesan air kecil. Menggunakan Pompa Air 3cm dengan debit terukur 0,3 m³/menit (Menggunakan Katalog Pompa Air 3cm).
4. Karena rembesan maka diperlukan juga pemeliharaan secara teratur supaya menjaga *cofferdam* tetap aman dan terkendali.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2019. *Aceh Bersinar Persentation PT.PP.* Aceh Tengah
- Adhyaksa, B. M., Suprijanto, H., & Sisinggih, D. (2013). *Studi Perencanaan Konstruksi Tubuh Bendungan Pada Waduk. 4*
- Badan Standarisasi Nasional. 2016 *Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan, SNI 8065:2016.* Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2017 *Persyaratan Perancangan Geoteknik, SNI 8460:2017.* Jakarta
- Bowles, J. E. 1993. *Physical and Geotechnical Properties of Soil: Second Edition.* New York : USA McGraw-Hill.
- Dewa, G. W. R., Asmaranto, R., St, M. T., & Wicaksono, P. H. (2014). *Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Fitriana, V. A., & Sriyana, I. (2021). *Kajian Ulang Desain Hidrologis Cofferdam Hulu Bendungan Karian terhadap Perubahan Cuaca di DAS Ciberang. Siklus: Jurnal Teknik Sipil, 7(1), 31-42.*
- fathani, T.F. and Legono, D. (2011). "Seepage and Stability Analysis of Earth Dam due to the Rising of Upstream Water Level." *Proceeding Seminar Teknik 2011, Yogyakarta, D61-D66.*
- Fathani, T.F. (2011). "Geotechnical Analysis of Earth Dam Failure." *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV (HATTI). Yogyakarta, 485-491.*

Firaah, S. R. 2015. Pemodelan Numerik Flownet Lubang Pori untuk Tanah Pasir Berlempung dengan Software Geo-Studio Seep/W. Diakses April 10, 2017, dari Respository.unhas.ac.id

Internasional. Geo-slope. 2008. Stability Modeling With Slope/W 2007 Versi

Kulhawy, FH, & Mayne, PW (1990). *Manual memperkirakan sifat tanah untuk desain pondasi*. Universitas Cornell. New York.

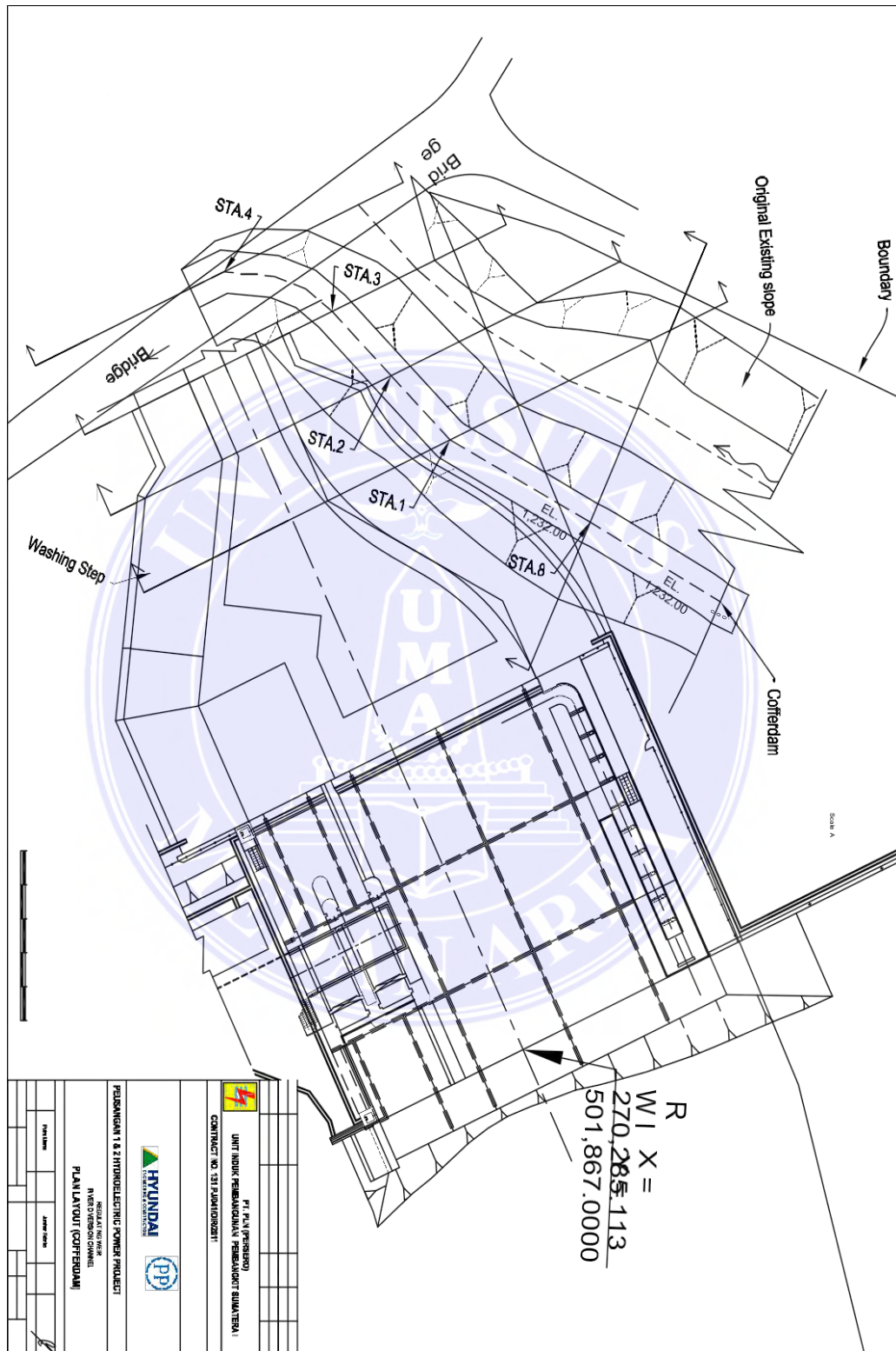
Krahn, J. 2004. Stability Modelling with Slope/w-An Engineering Methodology First edition. Canada : Geo-Slope International, Ltd.

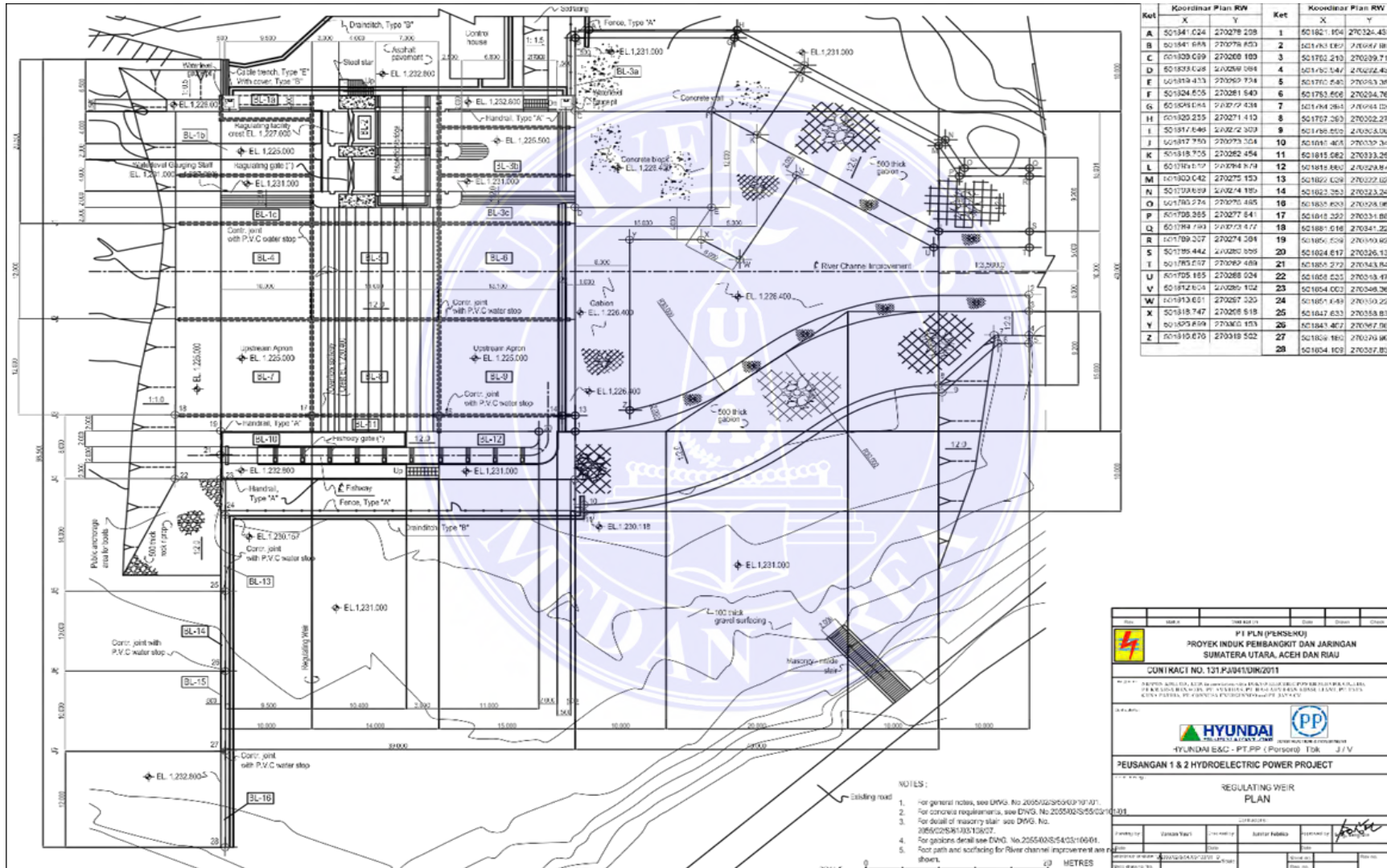
Pratama, B. P., & Tawakkal, A. (2018). *Metode Pelaksanaan Bendungan Pengelak (Cofferdam) Bagian Hulu Pada Proyek Pembangunan Waduk Bendo, Ponorogo* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Rofikha, A. A., Marsudi, S., & Cahya, E. N. (2019). Analisis Struktur Terowongan Pengelak Pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatra Utara. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 10 (1), 28-38.

Tancev, Ljubomir. (2005). *Dams and Appurtenant Hydraulic Structures*. Skopje: Cyril and Methodius University.

LAMPIRAN

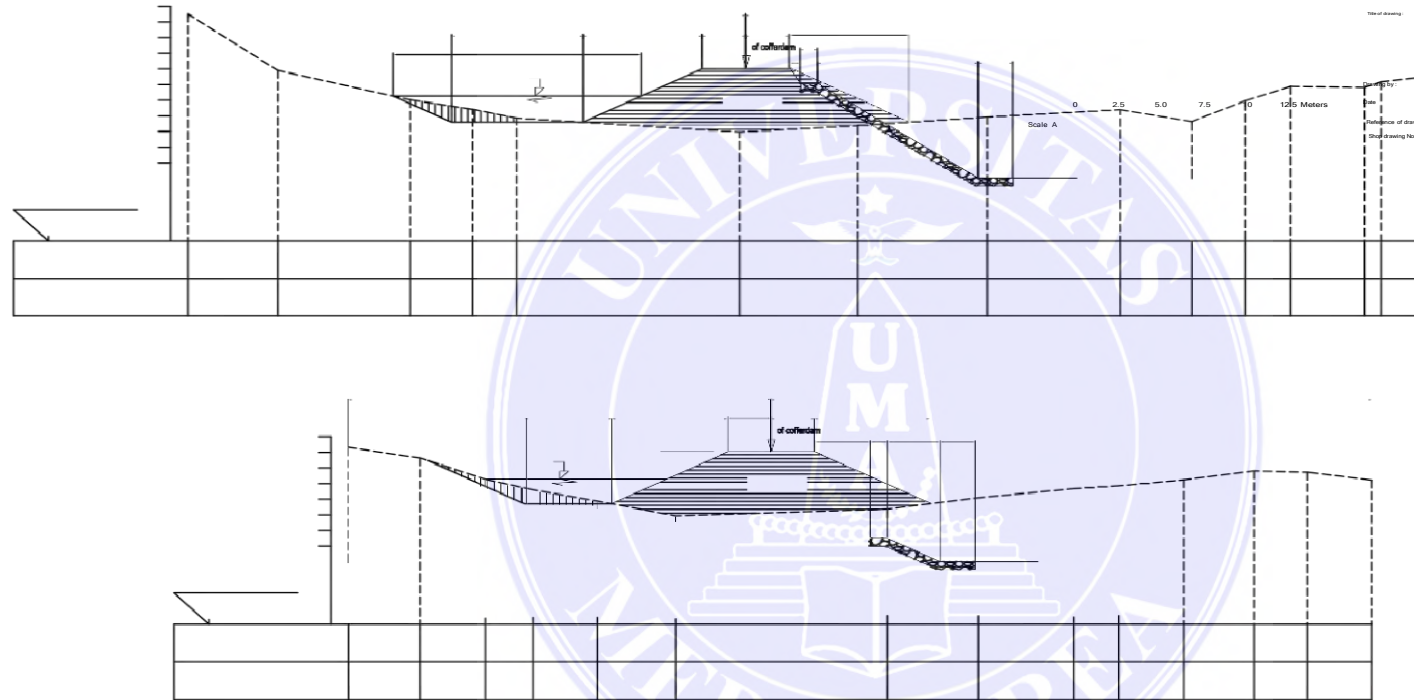




UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

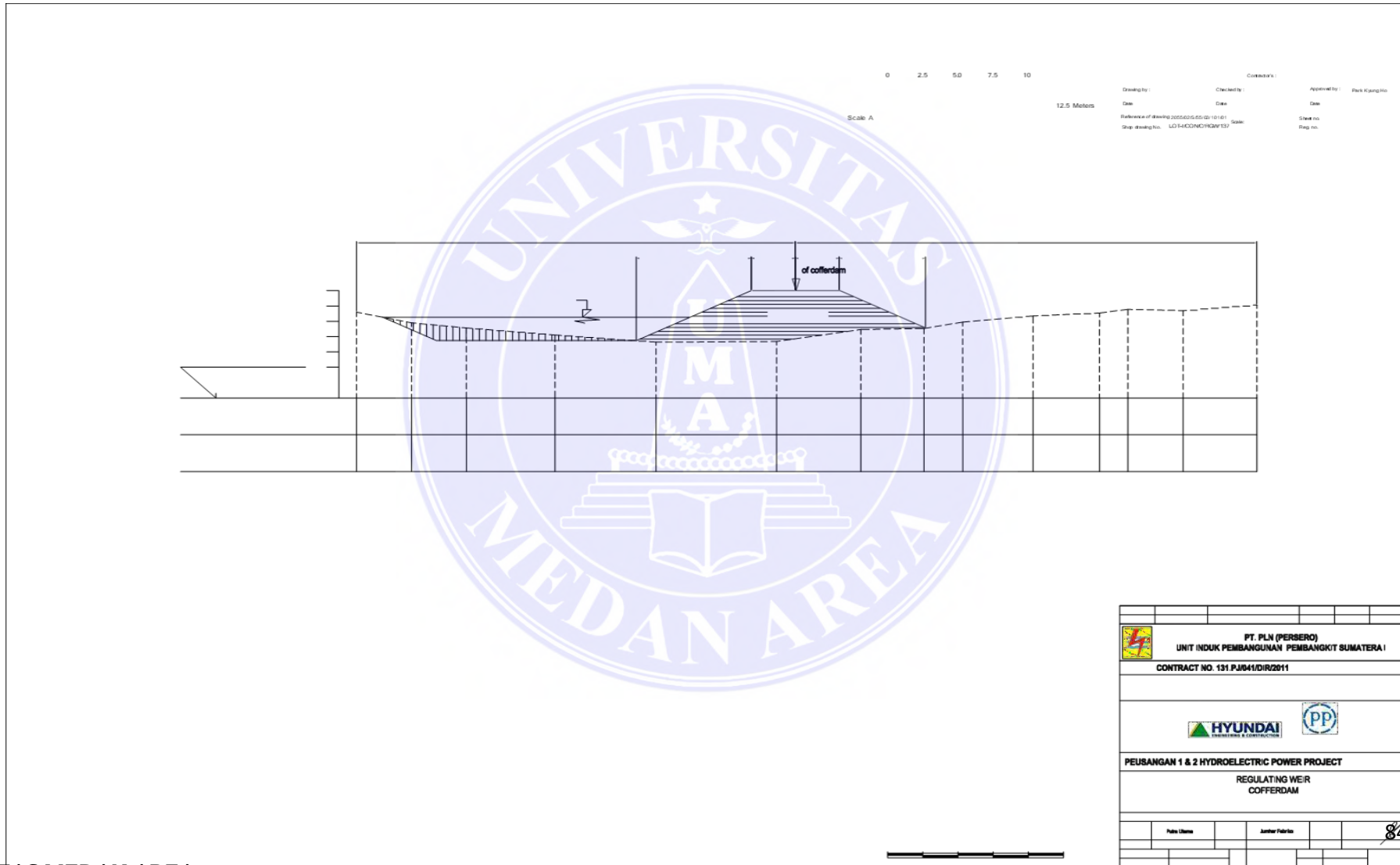
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

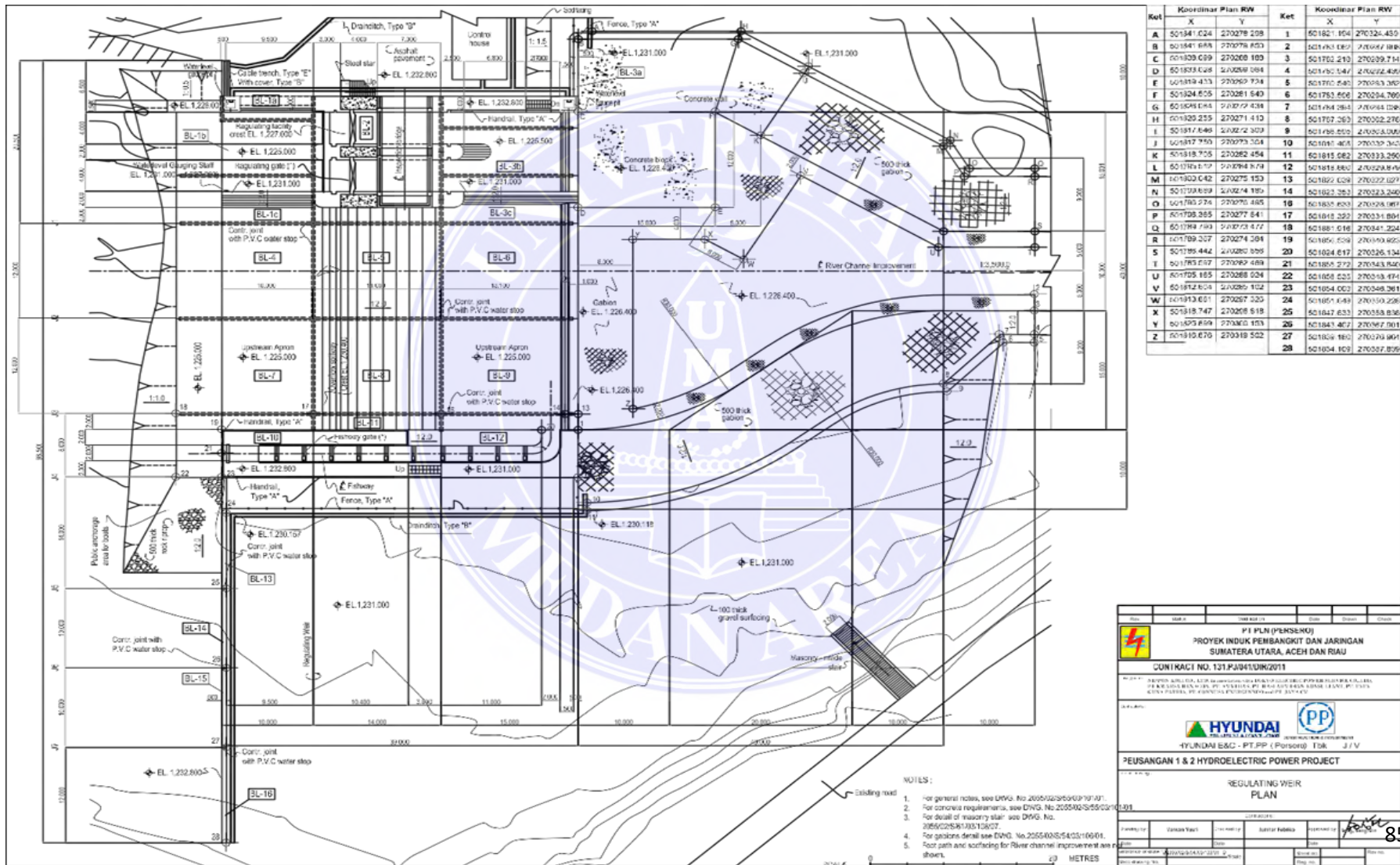


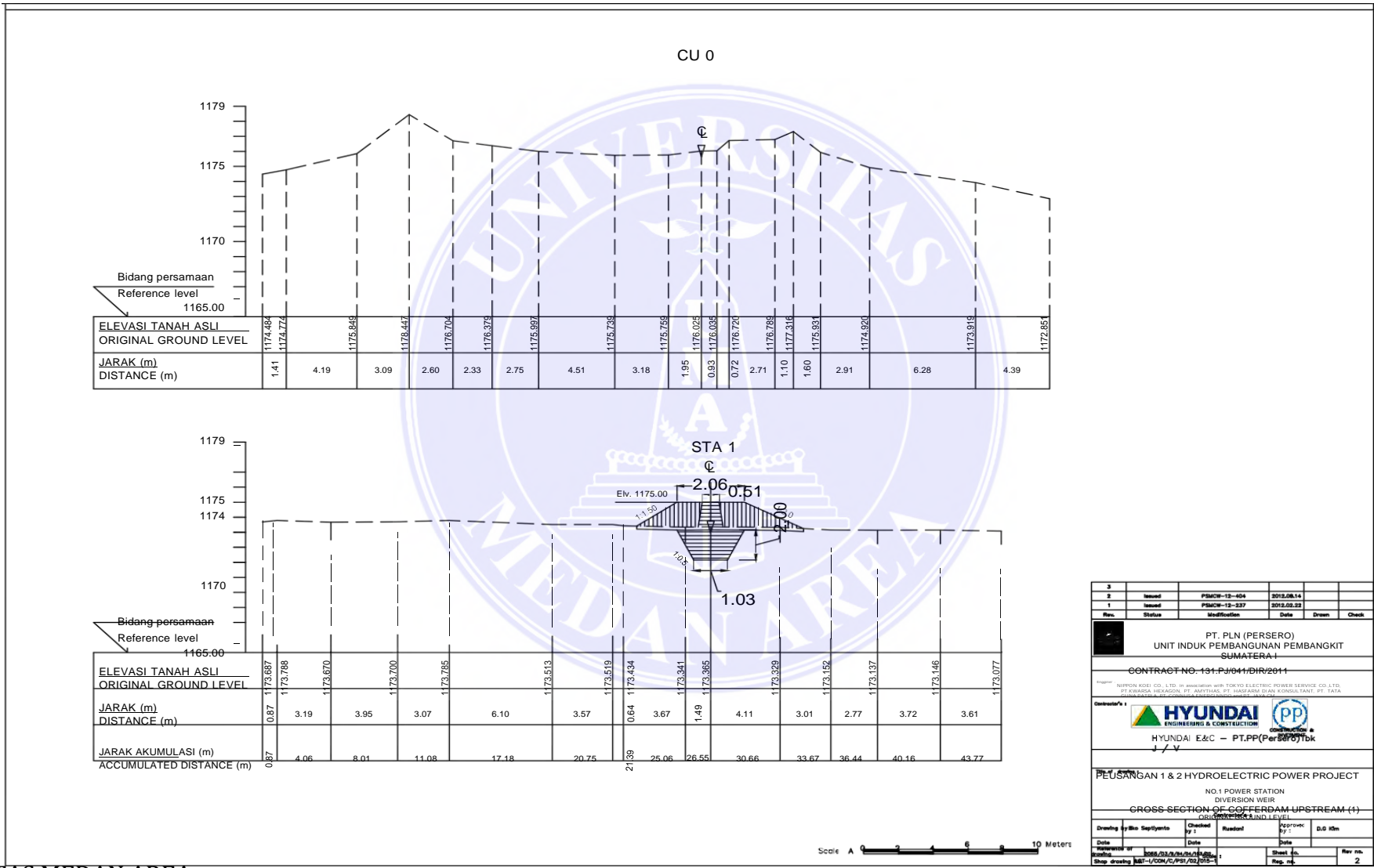
CROSS SECTION (2)-(3)

Contractor:
 Checked by: Approved by: Park Noying Ho
 Date: Date:
 Reference of drawing: 200025550310101
 Drawing No.: 07-COINCRGW137 Scale:

PT. PLN (PERSERO) UNIT INDUK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT SUMATERA I	
CONTRACT NO. 131.PJ041/01R2011	
PELUSANGAN 1 & 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT REGULATING WEIR COFFERDAM	
Plant Name	Author Name







3	Issued	PSMCH-12-404	2012.08.14		
2	Issued	PSMCH-12-327	2012.09.22		
1	Issued	PSMCH-12-327	2012.09.22		
Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check

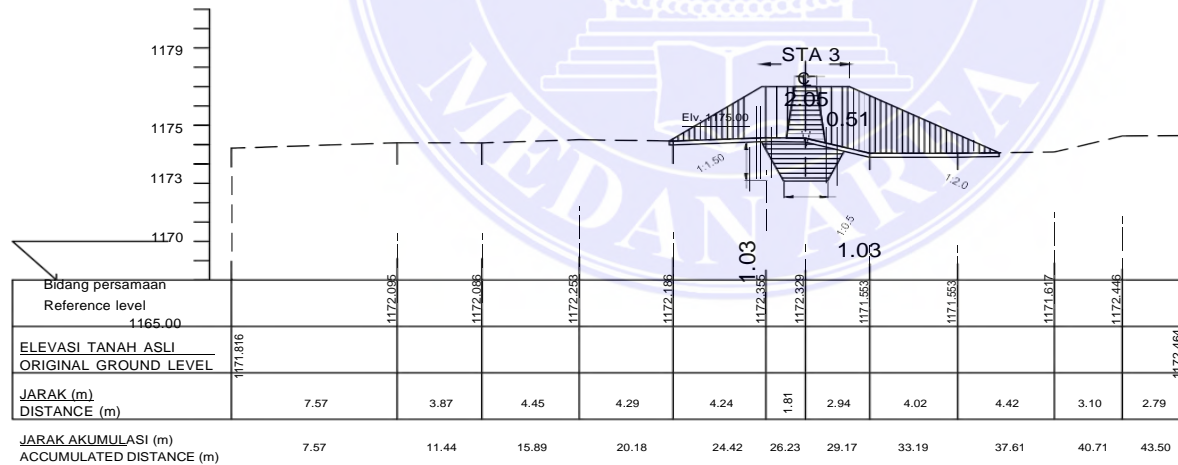
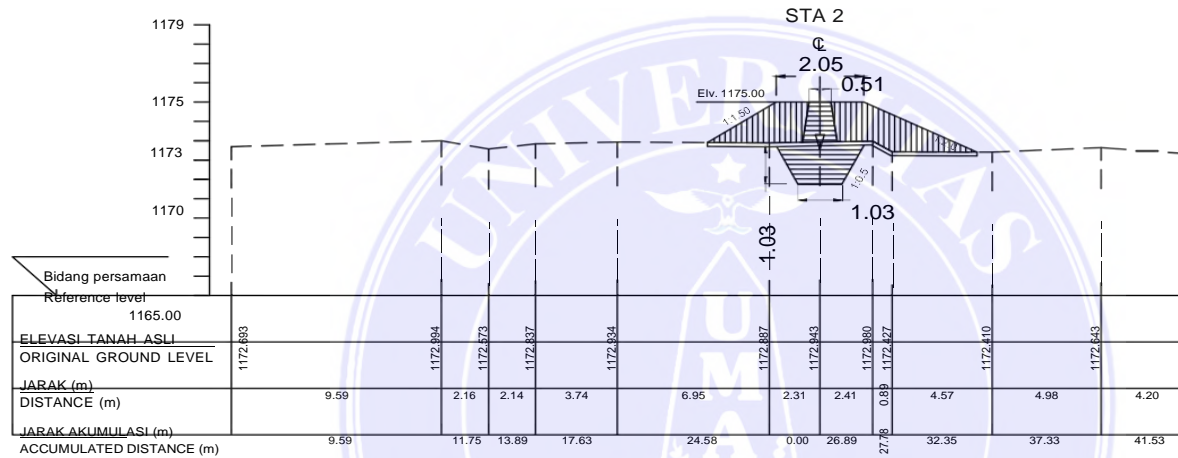
PT. PLN (PERSERO)
UNIT INDUK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
SUMATERA I

CONTRACT NO. 131/PJ/04/DIR/2011

Hyundai Engineering & Construction
HYUNDAI E&C - PT.PP(Persero) Tbk

PEUSANGAN 1 & 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT
NO. 1 POWER STATION
DIVERSION WEIR
CROSS SECTION OF COFFERDAM UPSTREAM (1)
ORIGINAL GROUND LEVEL

Drawing by: M. Septiyanto	Checked by: S.	Revised:	Approved by: S.	D.G. No:
Date: 2012/09/24	Date: 2012/09/24	Date:	Date:	Rev. No.:
Project: 131/PJ/04/DIR/2011	Sheet No.:	Rev. No.:	Rev. No.:	2



Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check
3	Issued				
2	Issued	PS/01-10-104	2015.08.14		
1	Issued	PS/01-10-107	2015.02.22		

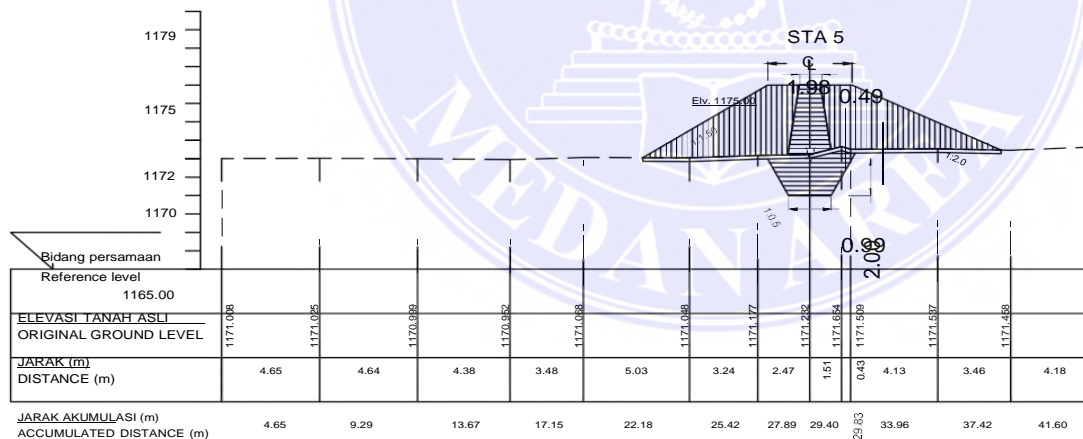
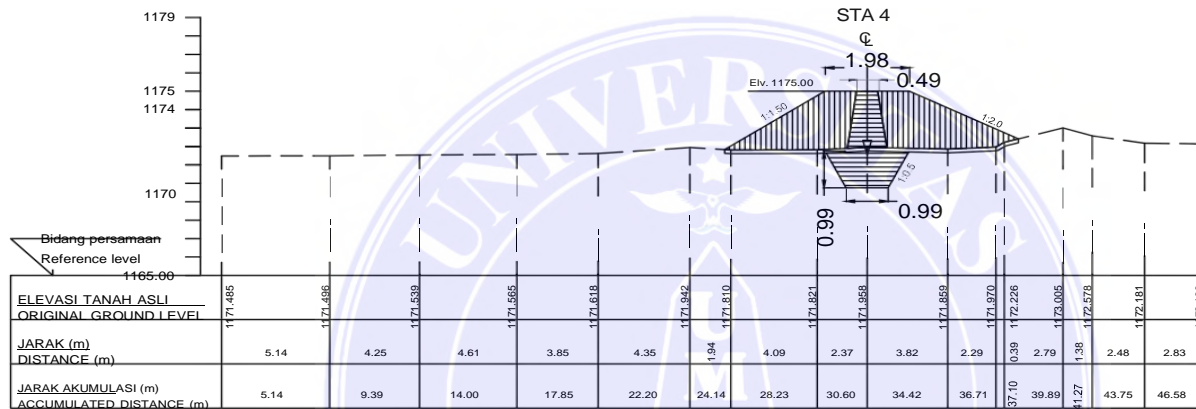
PT. PLN (PERSERO)
UNIT INDUK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
SUMATERA I

Contractor's CONTRACT NO. 131 P/041/DIR/2011
HYUNDAI (P)
ENGINEERING & CONSTRUCTION
HYUNDAI E&C - PT.PP(Per010)Tbk
J/V

Title of drawing :
PEUSANGAN 1 & 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT

Checked by: [Signature] Approved by: [Signature]
Checked: DIVISION WEIR Approved: [Signature]
GROSS SECTION OF COFFERDAM UPSTREAM (2)

Date: [Date] Date: [Date]
Scale: 1:1000 Scale: 1:1000
Sheet no.: 1 Sheet no.: 2



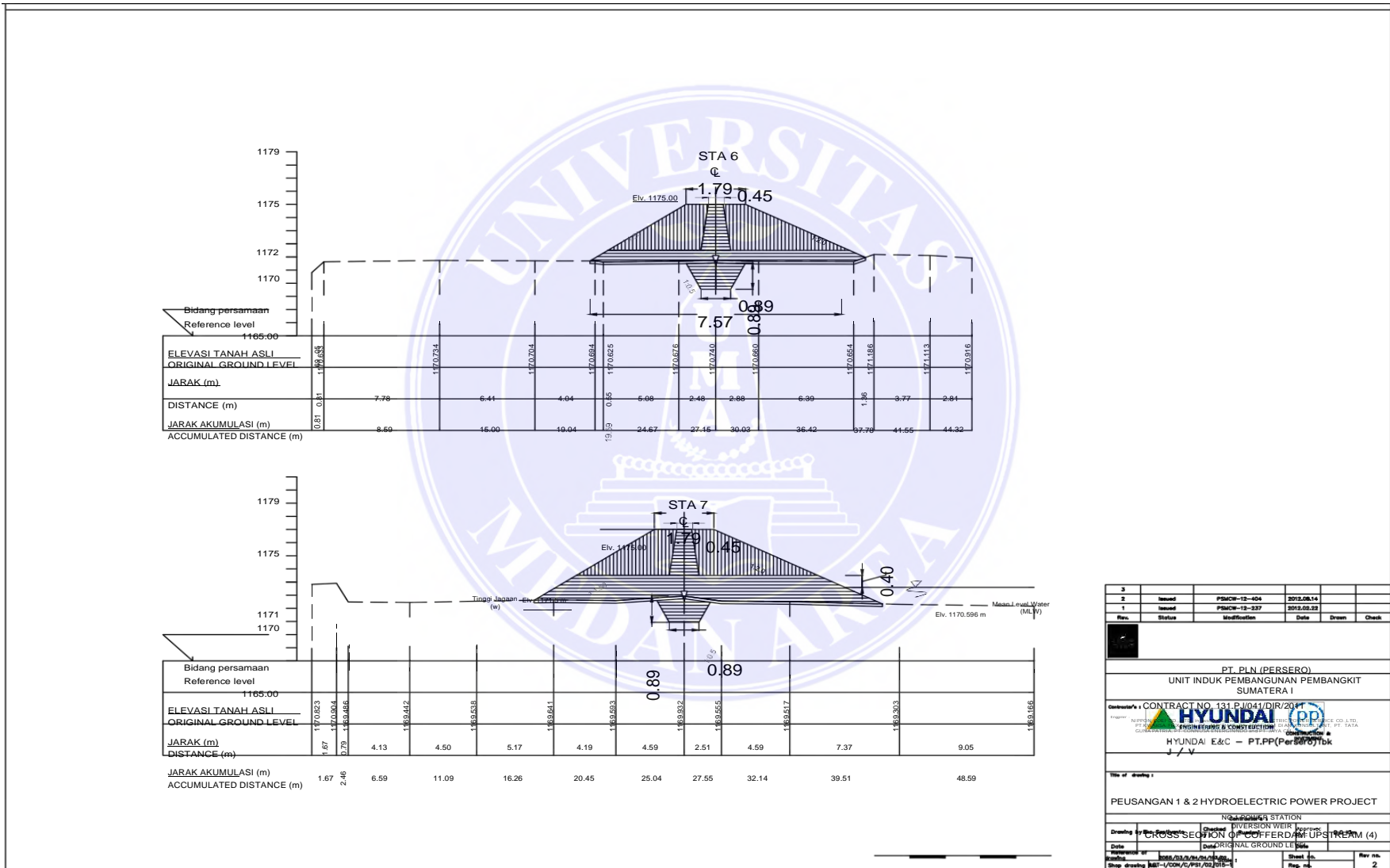
Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check
3	Issued	PSMCH-12-404	2012.08.14		
2	Issued	PSMCH-12-237	2012.05.22		
1	Issued				

Designer's
PT. PLN (PERSERO)
 UNIT INDIK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
 SUMATERA I
 CONTRACT NO. 131.PJ/041/DIR/2011

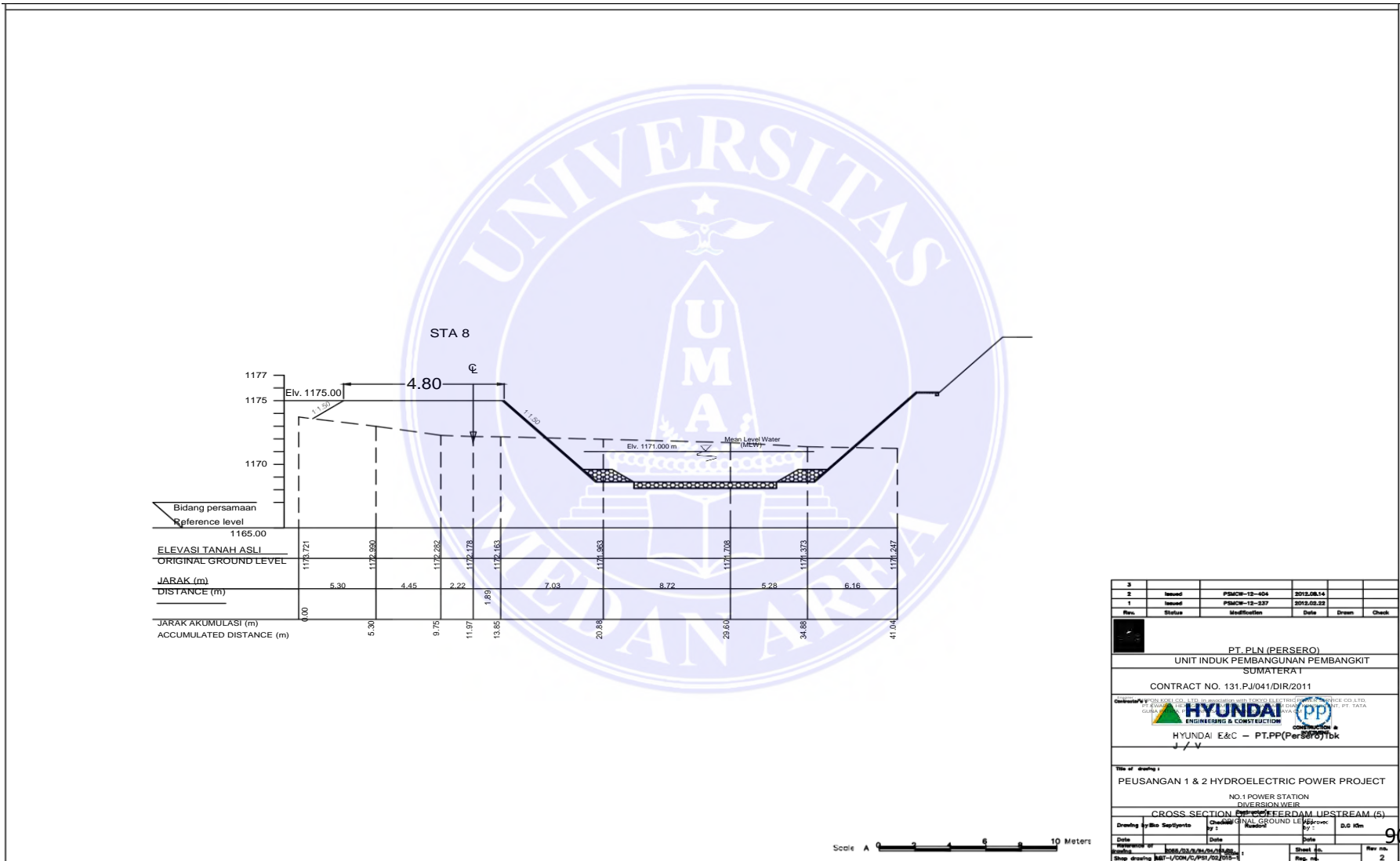
Client's
HYUNDAI
 ENGINEERING & CONSTRUCTION
 HYUNDAI E&C - PT.PP(Per.2010)Tbk

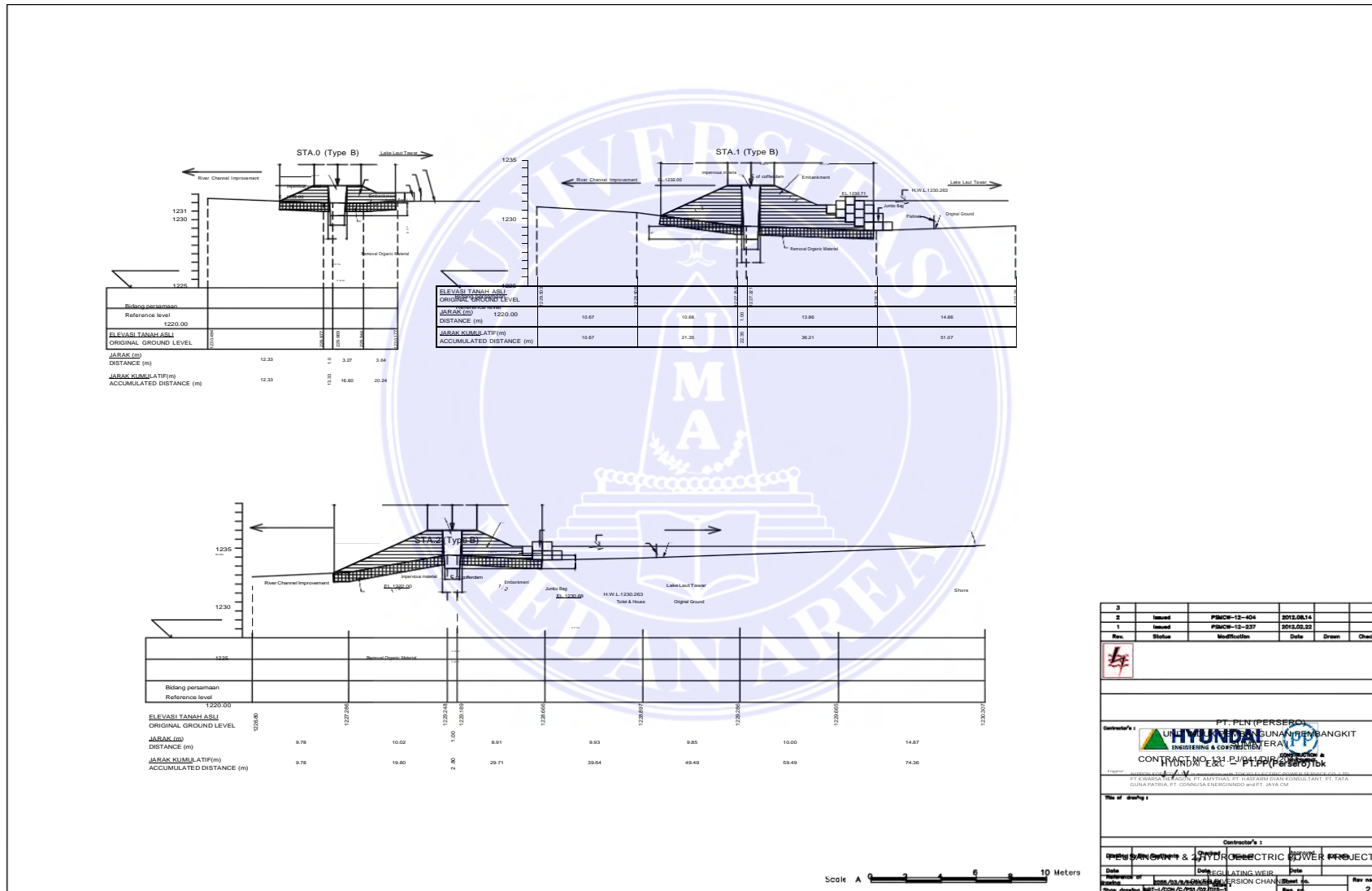
Title of drawing :
 PEUSANGAN 1 & 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT

Drawing by: **Sharyanto** Checked: **DIMAS** Date: **06/08/2012**
 Date: **06/08/2012** Original Ground Level: **1175.00** Scale: **1:100** Sheet No: **2**
 Date: **06/08/2012** Original Ground Level: **1175.00** Scale: **1:100** Sheet No: **2**

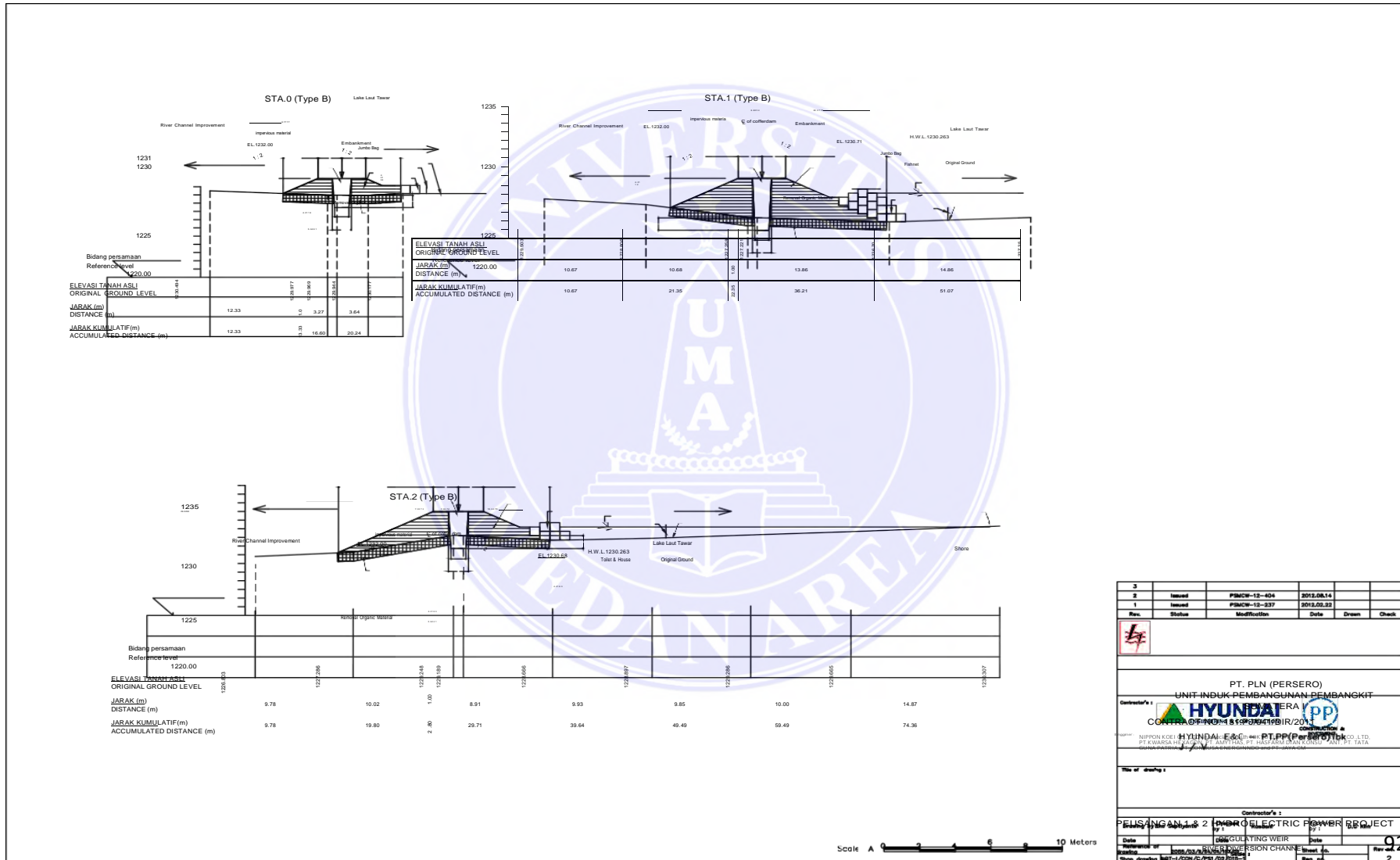


3	Issued	PSMCH-12-004	2013.08.14		
2	Issued	PSMCH-12-227	2013.02.28		
1	Issued				
Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check
PT. PLN (PERSERO) UNIT INDUK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT SUMATERA I					
Contractor's CONTRACT NO. 131.P/041/DIR/2011 HYUNDAI E&C (P) PT. HYUNDAI ENGINEERING & CONSTRUCTION PT. HYUNDAI INFRACONSTRUCTION CO., LTD. PT. HYUNDAI CONSTRUCTION (INDONESIA) CO., LTD. PT. HYUNDAI CONSTRUCTION (INDONESIA) CO., LTD. PT. TATA GUNA HYUNDAI E&C - PT.PP(Per5070)Tbk J / V					
Title of drawing :					
PEUSANGAN 1 & 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT					
NGA JOHORE BARU STATION					
DIVERSION WEIR					
CROSS SECTION OF COFFERDAM UPSTREAM (4)					
Drawing by: [Signature]					
Date: [Date]					
Scale: [Scale]					
Sheet no. [Sheet no.]					
Rev no. [Rev no.]					
Shop drawing [Shop drawing]					

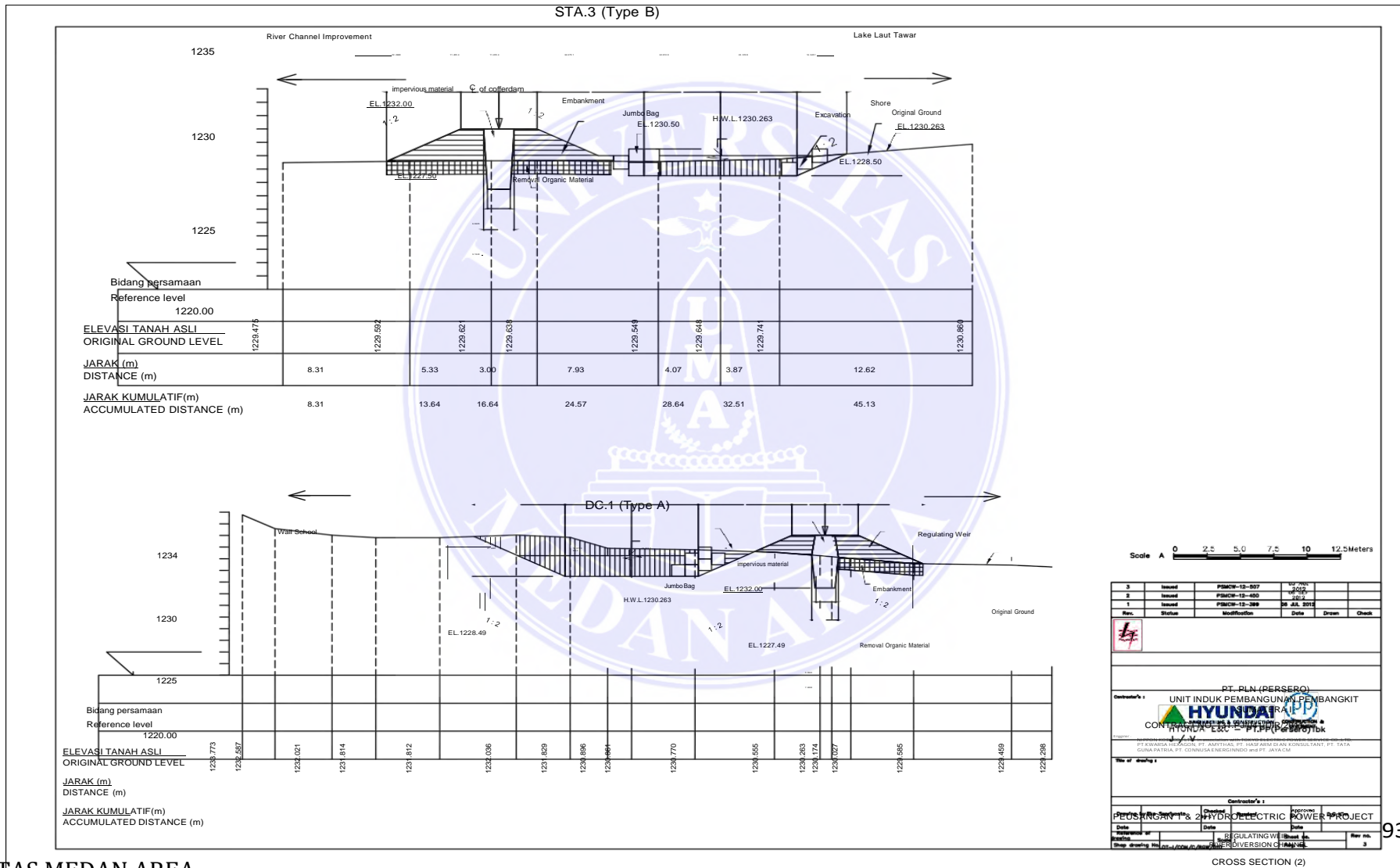


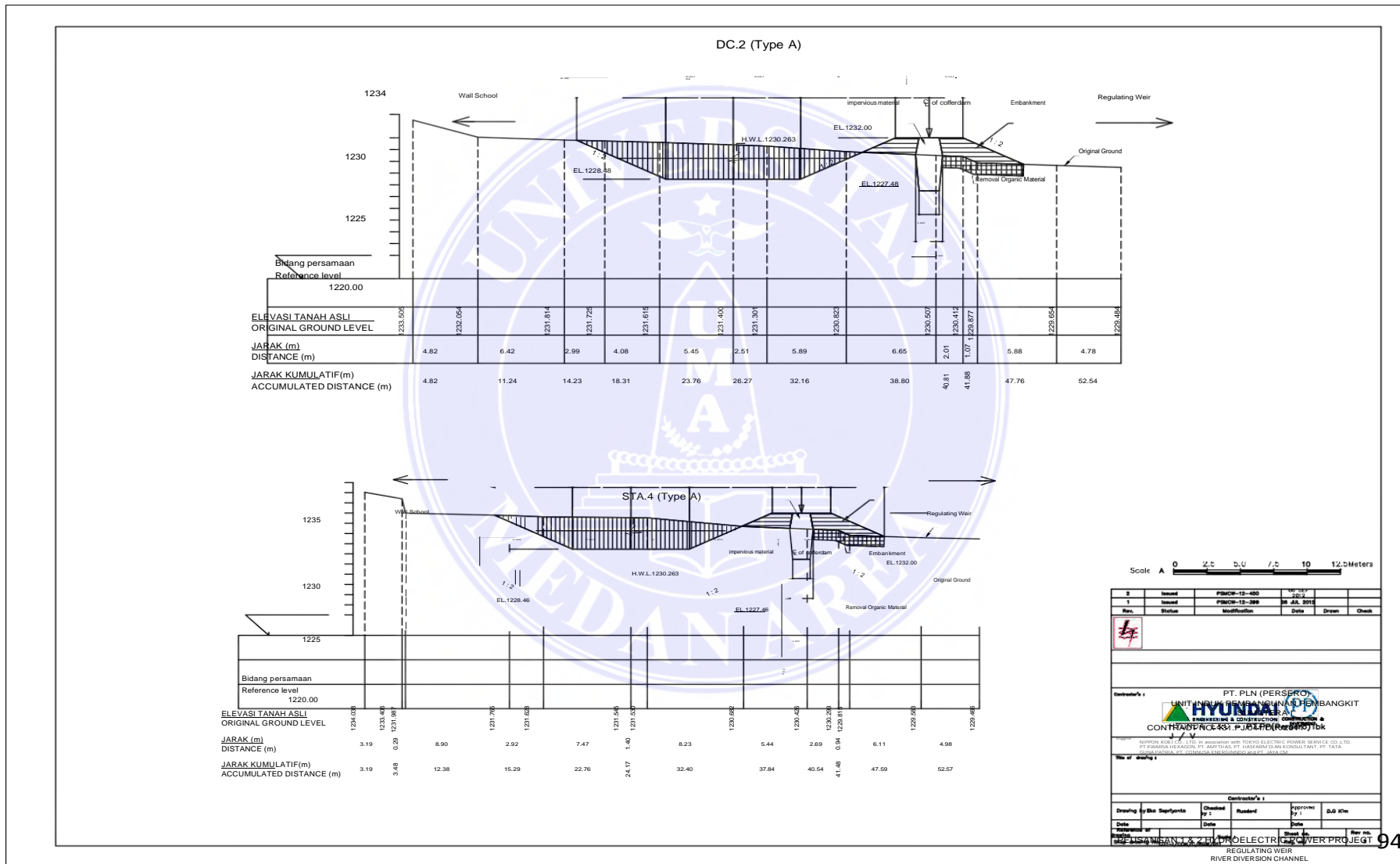


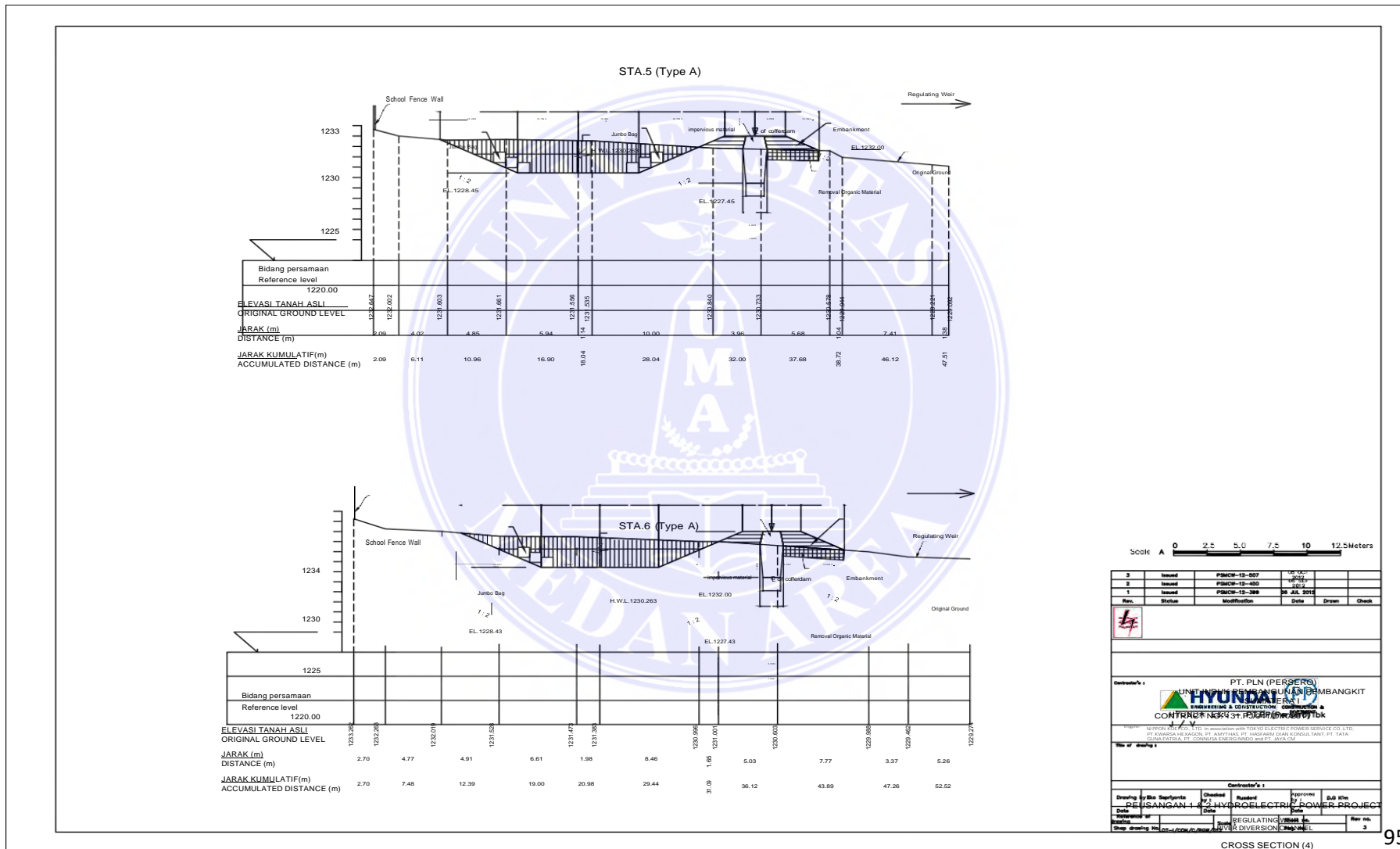
3	Issued	PSMCP-12-404	2015.04.14		
2	Issued	PSMCP-12-237	2015.05.02		
1	Issued	PSMCP-12-237	2015.05.02		
Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check
1					
Contractor's: PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANAAN PEMBANGKIT UNIVERSAL TERPADU ENGINEERING & CONSTRUCTION CONTRACT NO. P/011/P/2015/010 PT. SWASIDA PERKASA, PT. ASPIKASIA, PT. BAKARSI BAWA KONSULTANTI, PT. TARA GUNA PATRIA, PT. CONNUSA ENERGINDDO and PT. JAWA CM					
Title of drawing:					
Contractor's: PT. SWASIDA PERKASA & PT. CONNUSA ENERGINDDO REGULATING WEIR					
Date	15/05/2015	Revision	1	Drawn by	
Drawn by	15/05/2015	Checked by		Rev. no.	2
Shop drawing	15/05/2015	Scale		Rev. no.	



3	Issued	PSMOW-12-004	2012.08.14		
2	Issued	PSMOW-12-237	2012.02.22		
1	Issued				
Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check
1					
PT. PLN (PERSERO) UNIT INDUK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT CONTRACTOR : HYUNDAI E&C CONSTRUCTION : PT. PIP (PERSERO) HYUNDAI E&C - PT. PIP (PERSERO)					
PELAKSANAAN 1 & 2 PROJEK : HYUNDAI ELECTRIC POWER PROJECT GROUND CUTTING WEIR RIVER SECTION CHANNEL Scale: 1:1000 Date: 2012.02.22 Drawn: [Signature] Checked: [Signature]					







Scale A 0 2.5 5.0 7.5 10 12.5 Meters

3	Issued	PSMCH-13-007	13 JUL 2016		
2	Issued	PSMCH-13-050	02 JUL 2016		
1	Issued	PSMCH-13-288	26 JUL 2016	Drawn	Check
Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check

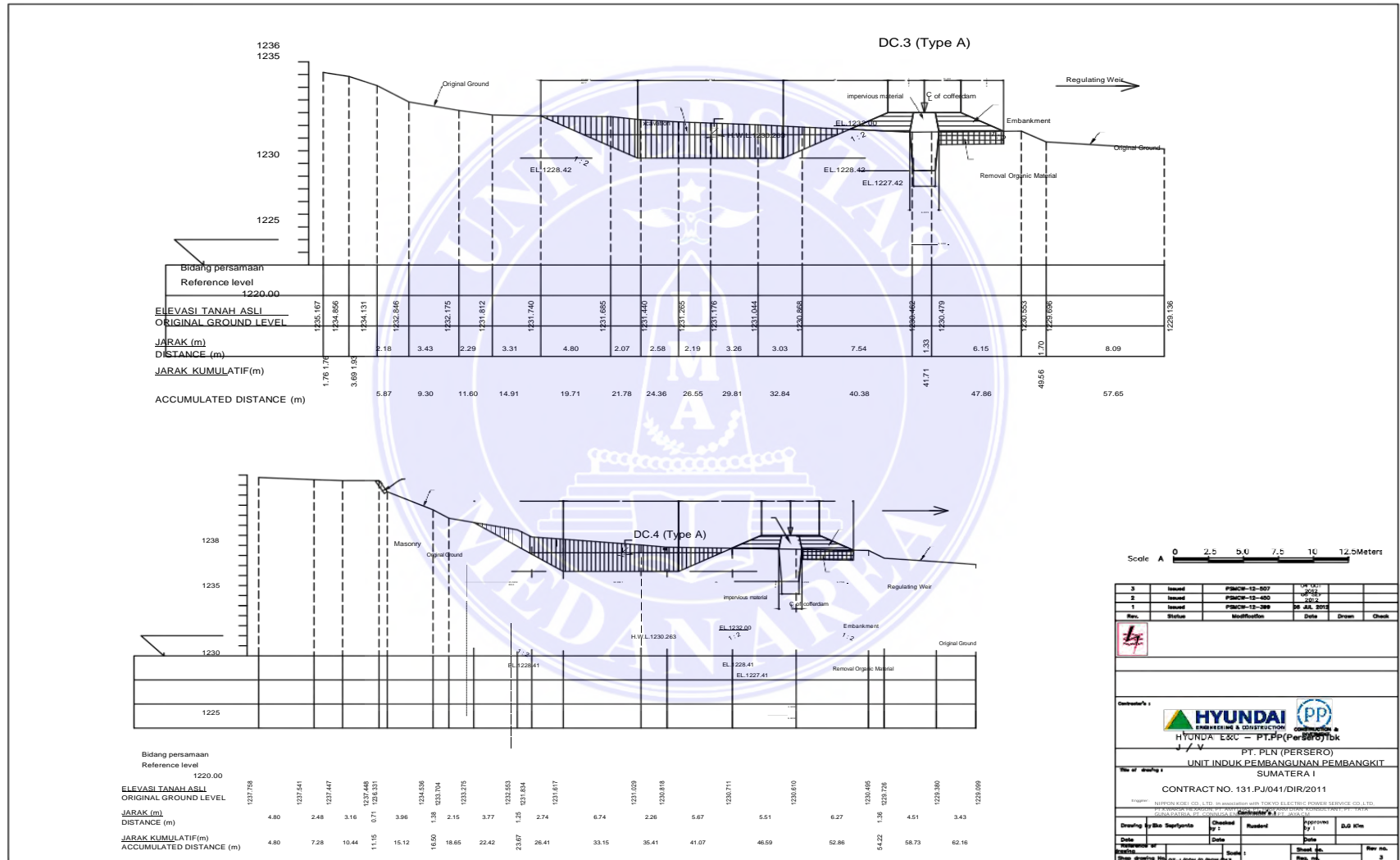
Contractor's 1: PT. PLN (PERSERO) UNIT PENGENDALAN DAN PEMBANGKIT TRONDONG
 ENGINEERING & CONSTRUCTION CONSULTING & CONTRACTOR
 CONTRACTOR 3333 PT. PLN (PERSERO) Tbk

PROJECT: PURWON M2.0. LTD. IN ASSOCIATION WITH TOKYO ELECTRIC POWER SERVICE CO. LTD.
 PT. ENERGA PURWON, PT. ANPTEL, PT. HANBARAH DAN PENGENDALAN PT. TATA
 CONSULTING & CONTRACTOR ENGINEERING AND PT. JAYA SU

Drawn by	Checked by	Revised by	Approved by	Scale
DEUSANGAN 1	1		B.D. IRI	1:1
Date	Scale	Project	Sheet No.	Rev. No.
26 JUL 2016	1:1	REGULATING WEIR	13	3

CROSS SECTION (4)

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



Scale A 0 2.5 5.0 7.5 10 12.5 Meters

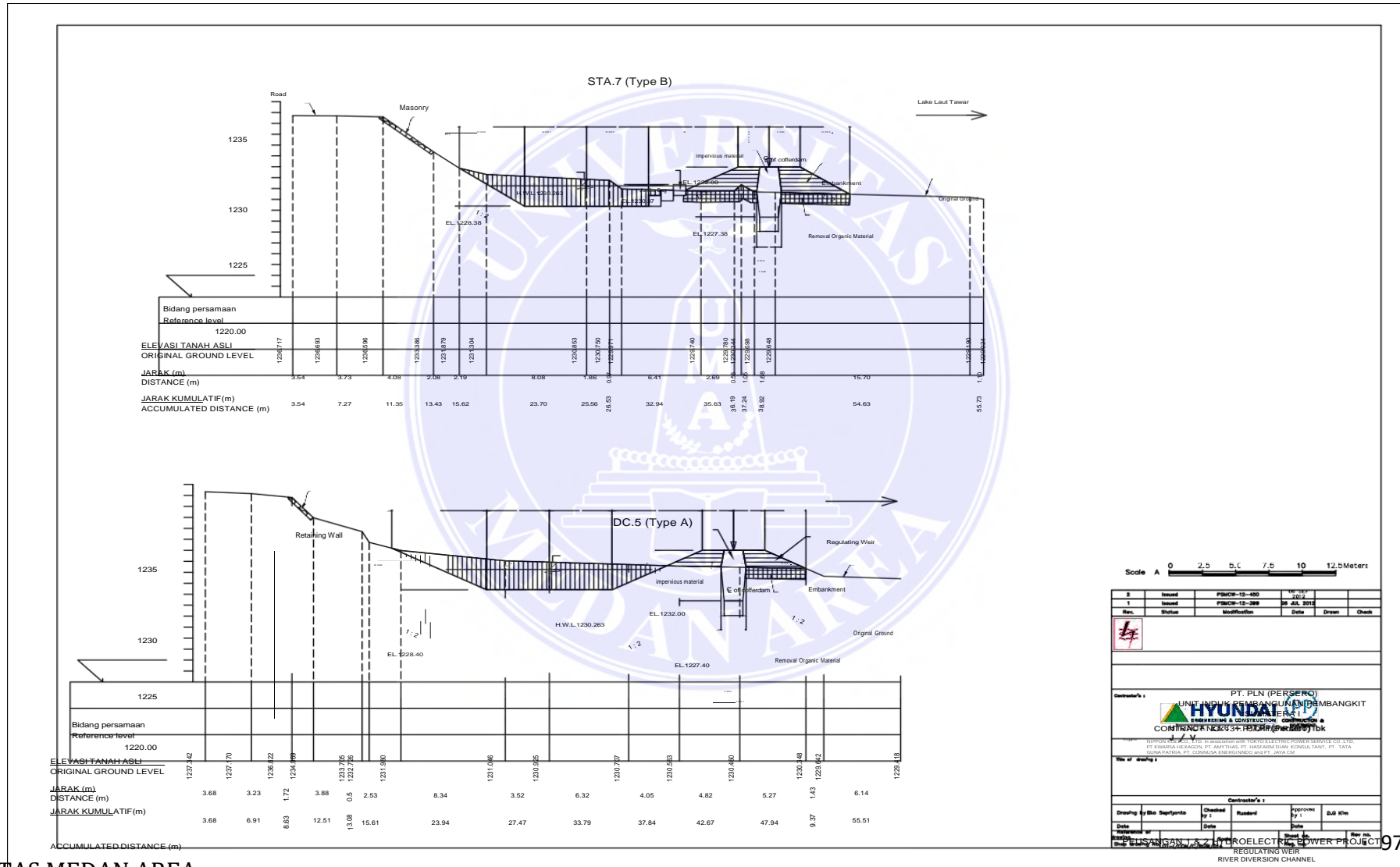
3	Issued	PSMCH-13-007	04/11/2016		
2	Issued	PSMCH-13-002	20/2/2016		
1	Issued	PSMCH-13-000	28.04.2015		
Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check

Contractor's:

HYUNDAI **PP**
 ENGINEERING & CONSTRUCTION
 HYUNDAI EXCO - PT.PP (Persero) Tbk
 PT. PLN (PERSERO)
 UNIT INDIK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
 SUMATERA I

CONTRACT NO. 131.PJ/041/DIR/2011

Drawn by	Shir Saprianto	Checked by	Rusdani	Approved by	B.D. Kim
Date		Date		Date	
Sheet no.	1	Sheet no.		Rev no.	
Shep drawing No.	01/1/2016/131/041/DIR/2011	Reg. no.			



Scale A 0 2.5 5.0 7.5 10 12.5 Meters

No.	Revisi	Status	Modifikasi	Date	Drawn	Check
2	Issued		PSMCH-12-400	2012		
1	Issued		PSMCH-12-388	26 JUL 2012		

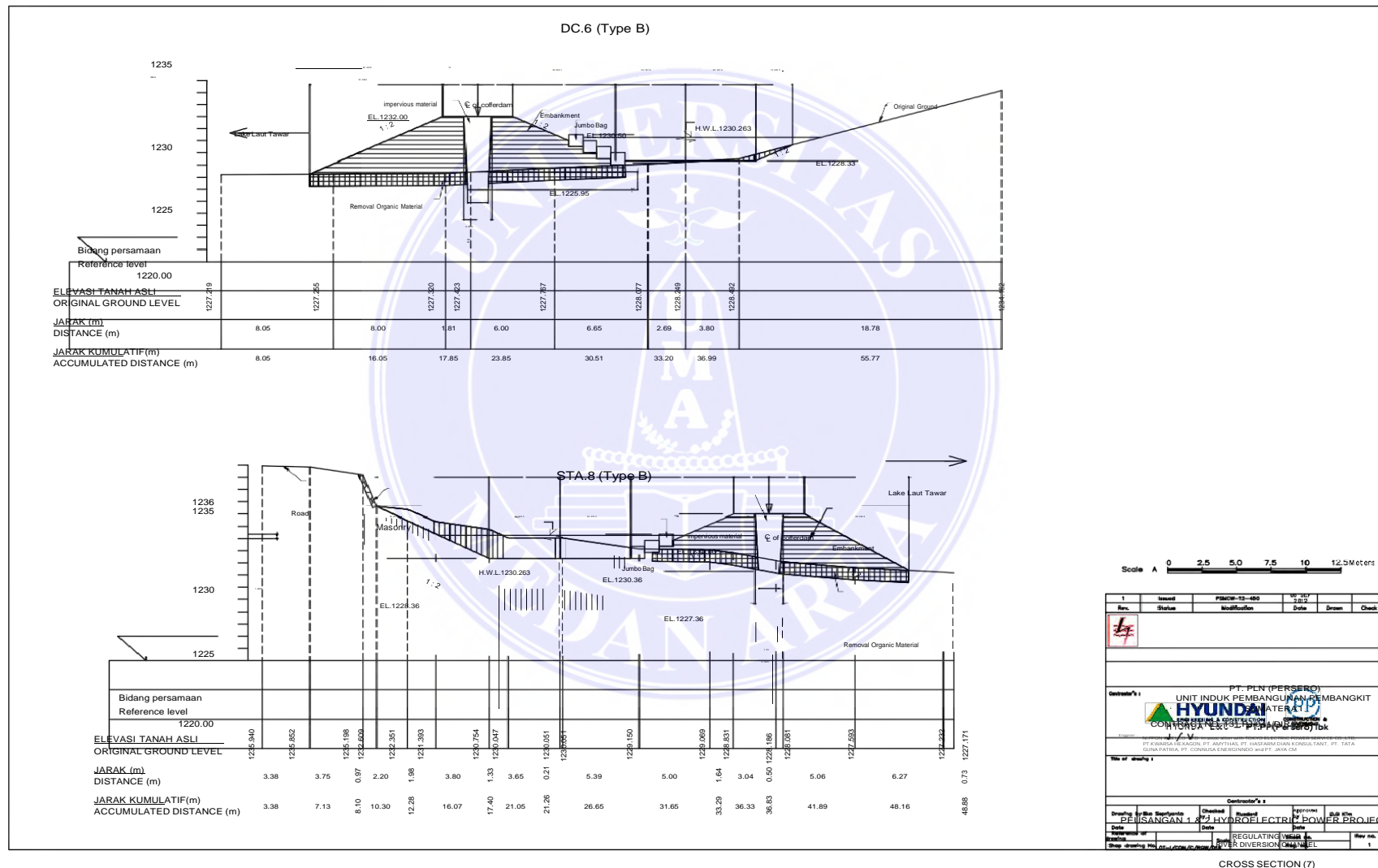
Contractor's: PT. PLN (PERSERO) UNIT INDIK PEMBANGUNAN DAN BANGKIT tenaga listrik

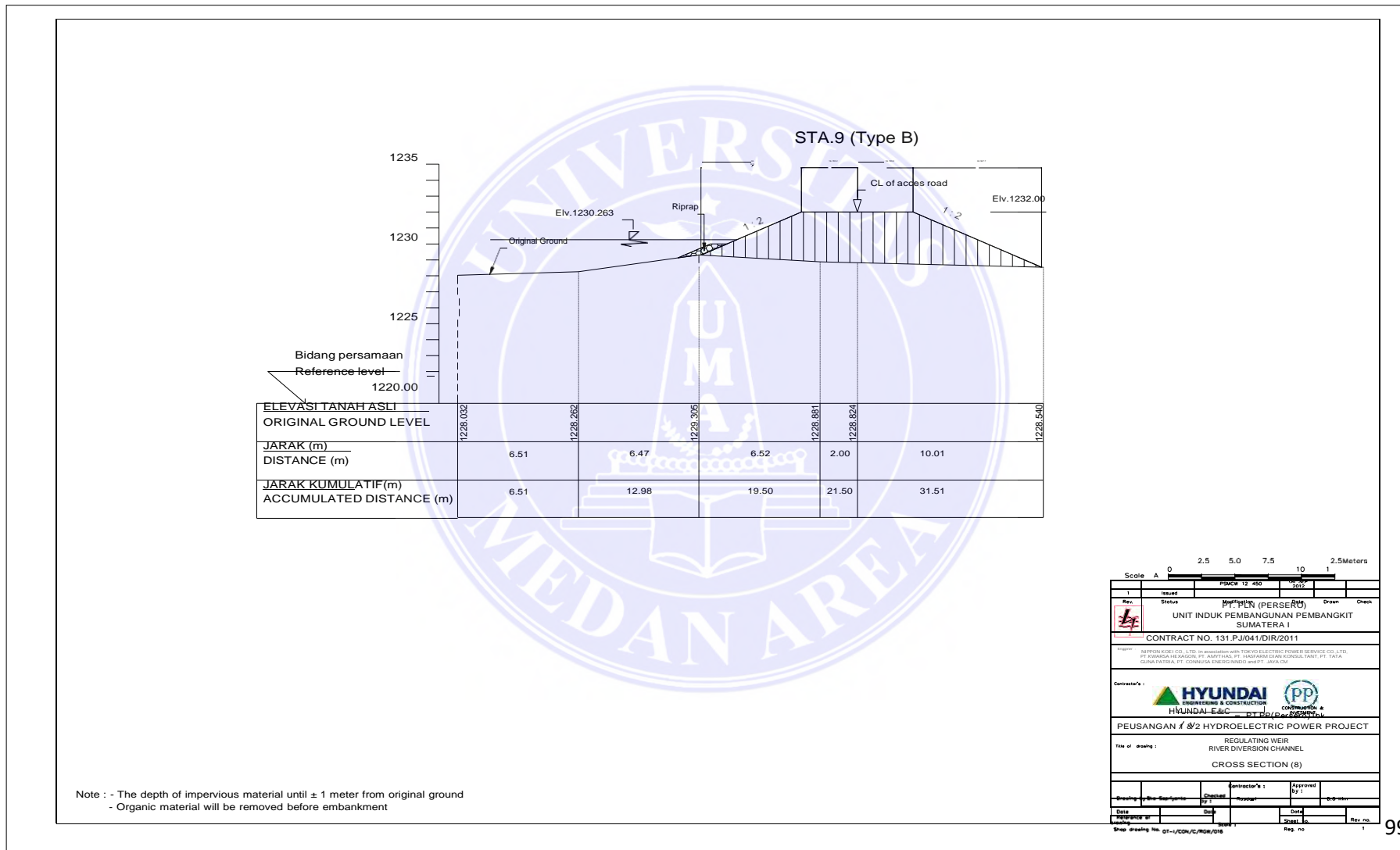
Contractor's: PT. HYUNDAI E&C ENGINEERING & CONSTRUCTION

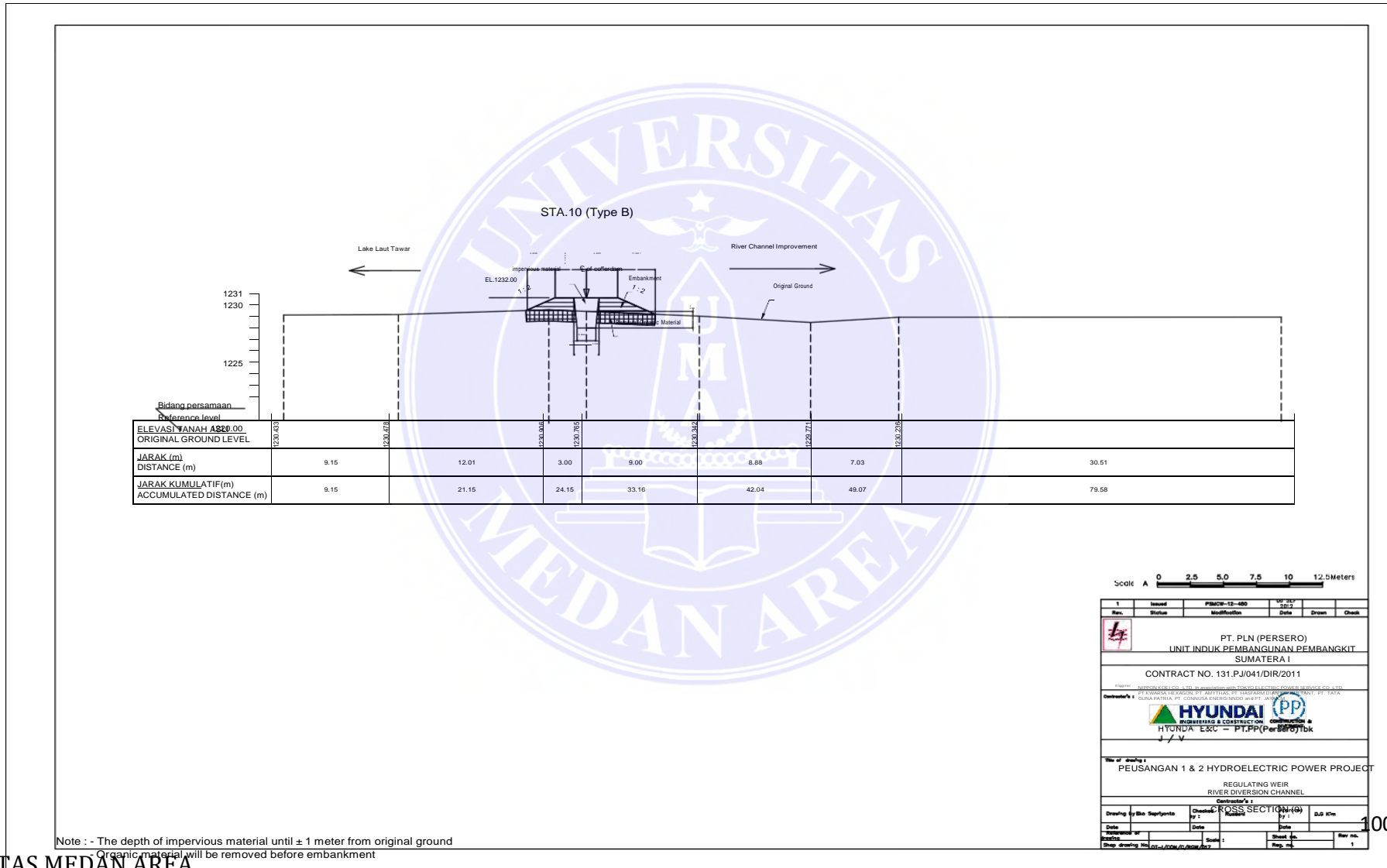
Contractor's: PT. CONNEXIA ENGINEERING AND PT. JAWA SUM

Drawing by	Supervisor	Checked by	Revised	Approved by	Date	Scale
						D.S. KRM

REGULATING WEIR
RIVER DIVERSION CHANNEL







Scale A 0 2.5 5.0 7.5 10 12.5 Meters

Rev.	Status	Modification	Date	Drawn	Check
1	Issued	PS/04-12-08	07/01/2011		

PT. PLN (PERSERO)
UNIT INDIK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
SUMATERA I

CONTRACT NO. 131.PJ/041/DIR/2011

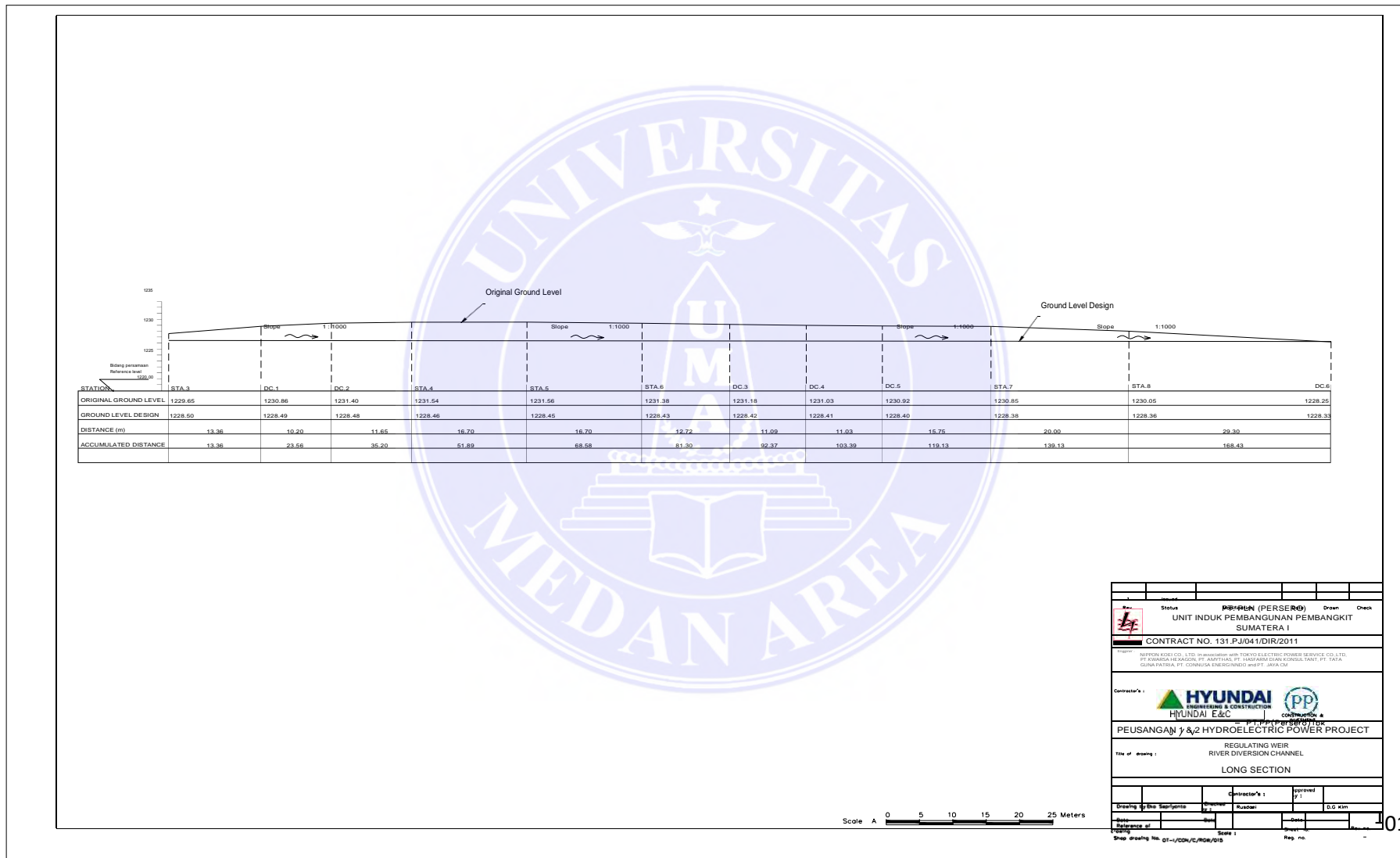
PT. HYUNDAI ENGINEERING & CONSTRUCTION (HYUNDAI E&C) - PT. PLN (PERSERO) Tbk

PEUSANGAN 1 & 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT
REGULATING WEIR
RIVER DIVERSION CHANNEL

Cross Section (A)
D.S. Km 1

Drawing by	Checked by	Date	Scale	Sheet No.	Rev. No.
...	1

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



Status				REVISI (PERSEK)		Drawn		Check	
UNIT INDUK PEMBANGUNAN PEMBANGKIT SUMATERA I									
CONTRACT NO. 131-PJ/041/DIR/2011									
<small> NIPPON KOGI CO., LTD. in association with TOKYO ELECTRIC POWER SERVICE CO., LTD. PT. KONGKA BANGKAL, PT. ANTAHNAS, PT. HANGKAM SUKSES KONGKAL, PT. TATA GUNA PATRA, PT. CONDISA ENERGINDO and PT. JAWA CEI </small>									
HYUNDAI ENGINEERING & CONSTRUCTION HYUNDAI E&C									
PEUSANGAN 1 & 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT REGULATING WEIR RIVER DIVERSION CHANNEL LONG SECTION									
Drawing No. _____ Date _____ Checked by _____ Date _____ Scale: 1:1000 Sheet no. _____ of _____									

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area