TUGAS AKHIR

ANALISIS VOLUME SEDIMENTASI PADA *SEDIMENT POND* AKIBAT EROSI LAHAN DI BLOK PERTAMBANGAN PT VALE SOROWAKO, SULAWESI SELATAN

(*ANALYSIS OF SEDIMENTATION VOLUME IN SEDIMENT POND DUE TO LAND EROSION IN PT VALE SOROWAKO MINING BLOCK, SOUTH SULAWESI*)



RAMADHIKA GUSTI PERMANA

20511381

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS VOLUME SEDIMENTASI PADA *SEDIMENT POND* AKIBAT EROSI LAHAN DI BLOK PERTAMBANGAN PT VALE SOROWAKO, SULAWESI SELATAN

(*ANALYSIS OF SEDIMENTATION VOLUME IN SEDIMENT POND DUE TO LAND EROSION IN PT VALE SOROWAKO MINING BLOCK, SOUTH SULAWESI*)

Disusun Oleh

RAMADHIKA GUSTTI PERMANA

20 511 381

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal 13 November 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Shofwatul Fadilah, S.T.P., M. Eng.	**Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.**	**Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.**
NIK: 215111308	**NIK: 165110105**	**NIK:215111305**

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng),. IPM.

NIK:095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 13 November 2025

yang membuat pernyataan,



Ramadhika Gusti Permana

(20 511 381)

LEMBAR DEDIKASI

Tugas Akhir ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua saya yaitu Bapak Tri iswanto dan Ibu Kisdiarti yang sudah membimbing dan memberikan segalanya untuk hidup saya tanpa memikirkan diri mereka sendiri, memberikan dukungan serta senantiasa menemani dan mendoakan saya sepanjang waktu. Serta abang dan semua teman disekitar saya yang selalu memberikan dukungan moral dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Terimakasih

ABSTRAK

Tingginya laju sedimentasi pada pertambangan PT. Vale membuat permasalahan serius terkait dengan kapasitas tampung pada sediment pond. Pentingnya mengetahui volume sediment pond pada kawasan pertambangan PT. Vale karena apabila tidak diperhatikan akan dapat menyebabkan banjir. kerusakan lingkungan sekitar dan terganggunya operasi infrastruktur. sehingga diperlukan maintanance terkait hal tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis volume sedimentasi yang terjadi pada area pertambangan aktif dan area disposal tanah penutup dengan menggunakan metode Modified Universal Soil Loss Equation yang dimodelkan melalui HEC-HMS. Penelitian dilakukan pada dua Daerah Aliran Sungai dengan outlet sediment pond, yaitu Hassan dan Watulabu2. Data penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer berupa data sampel tanah di lapangan dan data sekunder berupa data curah hujan pada tahun 2024, data topografi, data foto udara dan data sedimen eksisting.

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua metode dalam menggambarkan besarnya volume sedimen yang terjadi di lapangan. Pada DAS Hassan, metode analitik menghasilkan volume sedimen sebesar 17820 m^3/tahun, jauh lebih rendah dibandingkan data sedimen eksisting sebesar 25796 m^3/tahun. Sebaliknya, pemodelan HEC-HMS memberikan nilai yang identik dengan data eksisting yakni 25793 m^3/tahun. Pola serupa juga terjadi pada DAS Watulabu2, dimana perhitungan analitik menghasilkan 11081 m^3/tahun, lebih rendah dari data eksisting sebesar 15513 m^3/tahun, sementara HEC-HMS memberikan nilai 15865 m^3/tahun yang sangat mendekati kondisi aktual. Perbedaan antara kedua metode lebih terlihat dari nilai kesalahan relatif. Pada metode analitik, kesalahan relatif mencapai 30,91% pada DAS Hassan dan 28,57% pada DAS Watulabu2, menunjukkan bahwa metode ini jauh dengan sedimen eksisting. Sebaliknya, pemodelan HEC-HMS menghasilkan kesalahan relatif sangat kecil, yaitu 0,011% dan 2,26% pada masing-masing DAS, yang membuktikan tingkat akurasi jauh lebih tinggi dibandingkan pendekatan manual.

Kata Kunci : Sedimen, Erosi, MUSLE , Pertambangan dan *Sediment Pond*

ABSTRACT

The high rate of sedimentation at PT Vale's mining operations has created serious problems related to the storage capacity of sediment ponds. Understanding the volume of sediment ponds in PT Vale's mining areas is crucial because if neglected, it can cause flooding, damage the surrounding environment, and disrupt infrastructure operations. Therefore, maintenance is essential.

This study aims to analyze the volume of sedimentation occurring in active mining areas and overburden disposal areas using the Modified Universal Soil Loss Equation modeled through HEC-HMS. The study was conducted in two watersheds with sediment pond outlets: Hassan and Watulabu2. The study used primary and secondary data. Primary data consisted of field soil samples, while secondary data included rainfall data for 2024, topography, aerial photographs, and existing sediment data.

The results showed significant differences between the two methods in describing the volume of sediment occurring in the field. In the Hassan watershed, the analytical method yielded a sediment volume of 17820 m³/year, significantly lower than the existing sediment data of 25796 m³/year. In contrast, HEC-HMS modeling yielded a value identical to the existing data, namely 25793 m³/year. A similar pattern also occurred in the Watulabu2 watershed, where analytical calculations yielded 11081 m³/year, lower than the existing data of 15513 m³/year, while HEC-HMS yielded a value of 15865 m³/year, which was very close to the actual conditions. The difference between the two methods was more visible from the relative error values. In the analytical method, the relative error reached 30,91% in the Hassan watershed and 28,57% in the Watulabu2 watershed, indicating that this method was far from the existing sediment. In contrast, HEC-HMS modeling yielded very small relative errors, namely 0,011% and 2,26% in each watershed, which proved a much higher level of accuracy compared to the manual approach.

Keywords: Sediment, Erosion, MUSLE, Mining and Sediment Pond.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Volume Sedimentasi pada Sediment Pond Akibat Erosi Lahan di Blok Pertambangan PT.Vale Sorowako, Sulawesi Selatan". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas anugerah-Nya yang tak terhingga, kesehatan, kekuatan, serta kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Ibu Shofwatul Fadilah, S.T.P., M. Eng, Selaku Dosen Pembimbing. Penulis mengucapkan rasa terima kasih atas bimbingan, nasihat, dan dorongan yang diberikan sepanjang penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. dan Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Penguji. Penulis mengucapkan terimakasih atas nasihat,ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa.
4. Bapak Rusmin S. Ariyanto S.T., M.T. dan Ibu Andi Nilawati, Selaku keluarga penmulis yang memberikan selalu memberikan do'a, nasihat, ilmu dan dukungannya dilokasi penelitian.
5. Tri Iswanto dan Kisdiarti, selaku ayahanda dan ibunda penulis tercinta yang telah berkorban begitu banyak, yang telah memberikan kasih dan sayangnya tiada henti, selalu memberikan dukungan baik moral maupun materil dari awal hingga selesainya Skripsi ini.

6. Ratih Puspita Dewanti, Reni Novita Sari, Fernanda Aurellia, dan Thoriq Nabillah Basri selaku kakak penulis yang selalu memberikan do'a dan dukungannya demi kesuksesan penulis.
7. Bapak Aswat T. Ranggo dan Ibu Andi Arfah ,Selaku keluarga penulis yang selalu memberikan do'a dan dukungannya dilokasi penelitian demi kesuksesan penulis.
8. Amanda Allisya Aswat yang selalu menemani dan memberikan dukungannya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
9. Bapak Khomaini Ahmad fauzan, S.T., M.Eng, Selaku mentor atau pembimbing di PT.Vale. Penulis mengucapkan rasa terima kasih atas bimbingan, nasihat, dan ilmu yang diberikan sepanjang penyusunan tugas akhir ini.
10. Guntur Tri Widyanto, Abrar Hibrizy, Arvien Dwi Rivaldy, Syawqy Al Haq, Geraldin Firyan Shandy, Nurrazzaq Barru Fitradi, Adisti Regita Pramesti, Shafa Anugerah, Raihan Garneta Lana Andrea, Zierly Mauliya As-Shofa, Aryo Damar Hatuwe, Yandi Ari Yudha Adnan,Arya puta, Fathi Fauzi teman seperjuangan penulis selama menempuh studi di Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, terima kasih sudah berjuang bersama dengan segala dramanya yang telah memberikan semangat dan kerjasama yang baik selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam Tugas Akhir ini, namun penulis berharap hasil karya ini tetap dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta, 13 November 2025

Penulis

Ramadhika Gusti Permana

(20 511 339)

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN		ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI		iii
LEMBAR DEDIKASI		iv
ABSTRAK		v
ABSTRACT		vi
KATA PENGANTAR		vii
DAFTAR ISI		ix
DAFTAR TABEL		xii
DAFTAR GAMBAR		xiii
DAFTAR LAMPIRAN		xvi
DAFTAR NOTASI		xvii
BAB I PENDAHULUAN		1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	2
1.3	Tujuan Penelitian	3
1.4	Manfaat Penelitian	3
1.5	Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA		5
2.1	Tinjauan umum	5
2.2	Penelitian terdahulu	5
2.3	Keaslian penelitian	9
2.4	Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	9
BAB III LANDASAN TEORI		13
3.1	*Sediment Pond* pada Pertambangan	13
3.2	Curah Hujan Harian Maksimum	14
3.3	Erosi	14
3.4	Dampak Erosi	14

3.5 Sedimentasi 15
3.6 Metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) 15
3.6.1 Debit Puncak (Qp) dan Volume Aliran Permukaan (Vq) 16
3.6.2 Faktor Erodibilitas Tanah (K) 18
3.6.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS) 20
3.6.4 Faktor Tutupan Lahan (C) dan Faktor Pengelolaan Lahan (P) 21
3.7 HEC-HMS 25
3.7.1 Komponen HEC-HMS 26
3.8 Kesalahan Relatif 27
BAB IV METODE PENELITIAN 28
4.1 Lokasi Penelitian 28
4.2 Data penelitian 29
4.3 Metode Pengumpulan Data 30
4.3.3 Data primer 31
4.3.4 Data sekunder 31
4.4 Analisis Data 31
4.4.1 Analisis data menggunakan metode analitik 31
4.4.2 Analisis data menggunakan aplikasi HEC-HMS 32
4.5 Diagram Alir Penelitian 56
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 58
5.1 Curah Hujan Harian Maksimum 58
5.2 Debit Puncak (Qp) dan Volume Aliran Permukaan (Vq) 58
5.2.1 Debit Puncak(Qp) 60
5.2.2 Volume Aliran Permukaan(Vq) 61
5.3 Penentuan Nilai Erodibiltas Tanah (K) 62
5.4 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS) 63
5.5 Faktor Tutupan Lahan dan Faktor Pengelolaan Lahan (CP) 64
5.6 Perhitungan Laju Sedimentasi Sedimentasi 66
5.6.1 Perhitungan Analitik Menggunakan Metode *Modified Universal Soil Equation* (MUSLE) 66
5.6.2 Permodelan laju sedimentasi metode MUSLE HEC-HMS 67
5.7 Volume sedimentasi 67

5.8 Kesalahan Relatif 68
5.9 Pembahasan 69
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 75
6.1 Kesimpulan 75
6.2 Saran 76
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN 80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Sekarang 10
Tabel 3. 1 Nilai Koefisien Limpasan 17
Tabel 3. 2 Penilaian Kelas Struktur Tanah 19
Tabel 3. 3 Penilaian Kelas Permeabilitas Tanah 19
Tabel 3. 4 Batasan Ukuran partikel 19
Tabel 3. 5 Klasifikasi Kelas Erodibilitas Tanah 20
Tabel 3. 6 Nilai LS berdasarkan kemiringan rata-rata 21
Tabel 3. 7 Klasifikasi kemiringan Lereng 21
Tabel 3. 8 Nilai Faktor C 22
Tabel 3. 9 Nilai Faktor C 23
Tabel 3. 10 Nilai Faktor C 24
Tabel 3. 11 Nilai Faktor P 25
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Koefisien Aliran (C) 58
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Intensitas Hujan (I) 60
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Luasan Daerah Aliran Sungai (DAS) 60
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Debit Puncak (Qp) 61
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Analisis Gradasi Saringan Tanah 61
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Analisis Gradasi Saringan Tanah DAS Hassan 62
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Analisis Gradasi Saringan Tanah DAS Watulabu 2 62
Tabel 5. 8 Rekapitulasi faktor Erodibilitas Tanah (K) 63
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Nilai Faktor LS 64
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Faktor CP 65
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Nilai Laju Sedimentasi 66
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Konversi Nilai Laju Sedimentasi 68
Tabel 5. 13 Data Hasil Perhitungan dan Data Sedimen Eksisting 68
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Kesalahan Relatif 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tampilan Awal HEC-HMS 26
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian 28
Gambar 4. 2 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah 29
Gambar 4. 3 Tampilan Awal *HEC-HMS* 32
Gambar 4. 4 Tampilan Pembuatan *File Project* 32
Gambar 4. 5 Tampilan Membuat *Basin Model Manager* 33
Gambar 4. 6 Tampilan penamaan *Basin Model manager* 33
Gambar 4. 7 Tampilan *Terrain Data Manager* 34
Gambar 4. 8 Tampilan Penamaan *Terrain Data Manager* 34
Gambar 4. 9 Tampilan *Terrain Data Manager* Untuk *Mengatur Vertical Units* 35
Gambar 4. 10 Tampilan *Setting HEC-HMS* Untuk Menghubungkan *Subbasin* Dengan *Terrain* Yang Sudah Dibuat 36
Gambar 4. 11 Tampilan Pengaturan *Basin Model Coordinate System* 36
Gambar 4. 12 Tampilan Pengaturan T*ype Predefined Coordinate Systems* 37
Gambar 4. 13 Tampilan Pengaturan *Predefined Coordinate Systems* untuk *UTM Zone, Datum* dan *Hemisphere* 37
Gambar 4. 14 Hasil *Input Terrain* Yang Telah Dihubungkan Dengan *Basin Models* 38
Gambar 4. 15 Tampilan Input Map Layers 39
Gambar 4. 16 Tampilan Data *Layer* Yang Ingin dimasukan Pada *HEC-HMS* 39
Gambar 4. 17 Kotak Daftar *Layers* Yang Sudah Dimasukan 40
Gambar 4. 18 Tampilan HEC-HMS Untuk *Input Subbasin* 40
Gambar 4. 19 Tampilan HEC-HMS untuk *Input Sink Creation Tool* 41
Gambar 4. 20 Tampilan Penamaan *Sink Creation Tool* 41
Gambar 4. 21 Tampilan Hasil *Input Layers*, *Subbasin* dan *Sink Creation Tool* 42
Gambar 4. 22 Tampilan I*nput Time-Series Data Manager* 43
Gambar 4. 23 Penamaan *Time-Series Data Manager* 43
Gambar 4. 24 Kotak Editor *Table Time-Series Data Manager* 44

Gambar 4. 25 Tampilan *Input Control Specifications Manager* 44
Gambar 4. 26 Tampilan Penamaan *Control Specifications Manager* 45
Gambar 4. 27 Kotak *Editor Control Specifications* 45
Gambar 4. 28 Tampilan *Input Meteorologic Model Manager* 46
Gambar 4. 29 Tampilan Penamaan *Meteorologic Model Manager* 46
Gambar 4. 30 Kotak *Editor Specified Hyetograph* menghubungkan *Subbasin* dengan *Gage* 47
Gambar 4. 31 Tampilan Penambahan *Parameters Loss* 47
Gambar 4. 32 Tampilan Pemilihan Metode Untuk *Paramters Loss* 48
Gambar 4. 33 Tampilan *Input Parameters Transform* 48
Gambar 4. 34 Tampilan Pemilihan Metode Untuk *Paramters Transform* 49
Gambar 4. 35 Tampilan *Basin Model Setting* untuk penambahan pengukuran *Sediment* 50
Gambar 4. 36 Tampilan *Input Diameter Percentage Functions* pada *Paired Data Manager* 50
Gambar 4. 37 Penamaan *Diameter Percentage Functions* pada *Paired Data Manager* 51
Gambar 4. 38 Kotak Editor Untuk Input Gradasi Butir 51
Gambar 4. 39 Tampilan HEC-HMS untuk Menentukan Metode erosi yang digunakan 52
Gambar 4. 40 Kotak *Editor input parameters* Pada *Components erosion* 52
Gambar 4. 41 Tampilan untuk *Simulation Run Manager* 53
Gambar 4. 42 Penamaan Pada *Simulation Run* 53
Gambar 4. 43 Pemilihan *basin model* pada *Simulation Run* 54
Gambar 4. 44 Pemilihan *meteorologic model* pada *Simulation Run* 54
Gambar 4. 45 Pemilihan *control specifications* pada *Simulation Run* 55
Gambar 4. 46 Tampilan *Proses Running* dari simulasi permodelan Erosi 55
Gambar 4. 47 Tampilan hasil rekap simulasi erosi 56
Gambar 4. 48 Bagan Alir Penelitian 57
Gambar 5. 1 Analisis Kemiringan Lereng 64
Gambar 5. 2 Analisis Tutupan Lahan 65

Gambar 5. 3 Rekapitulasi nilai laju sedimentasi permodelan HEC-HMS 67
Gambar 5. 4 Grafik Perbandingan Volume Sedimen 71
Gambar 5. 5 Peta kemiringan Lereng Hassan 71
Gambar 5. 6 Peta kemiringan Lereng Watulabu2 72

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L-1. 1 Data Curah Hujan Tahun 2024 81
Gambar L-2. 1 Pengambilan Sampel Tanah FPB-03 Disposal 82
Gambar L-2. 2 Pengambilan Sampel Tanah FPB-01 PIT 82
Gambar L-2. 3 Sampel Tanah FPB-03 Disposal 83
Gambar L-2. 4 Sampel Tanah FPB-01 PIT 83
Gambar L-2. 5 Pencatatan Analisis Hidrometer di Lab PT.Vale 84
Gambar L-2. 6 Hasil pemaparan penelitian di departemen Hidrologi dan Geotek PT.Vale 84
Gambar L-2. 7 Lembar Uji Hidrometer DISPOSAL FPB-03 85
Gambar L-2. 8 Lembar Analisis Butir Tanah DISPOSAL FPB-03 96
Gambar L-2. 9 Lembar Uji Hidrometer PIT FPB-01 105
Gambar L-2. 10 Lembar Analisis Butir Tanah PIT FPB-01 116
Gambar L-2. 11 Grafik Grainsize Disposal FPB-03 125
Gambar L-2. 12 Grafik Grainsize PIT FPB-01 125

DAFTAR NOTASI

MUSLE	= Modified Universal Soil Loss Equation
USLE	= Universal Soil Loss Equation
DAS	= Daerah Aliran Sungai
ASTM	= American Society for Testing and Materials
K	= Faktor Erodibilitas Tanah
C	= Faktor Vegetasi
P	= Faktor Penggunaan Lahan
LS	= Faktor panjang dan kemiringan lereng
Qp	= Debit Puncak (m^3/det)
Vq	= Volume Permukaan Air (m/jam)
Tc	= *Time Concentration* (jam)
TL	= Time Lag (menit)
I	= Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
R^{24}	= Curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm)
A	= Luas (m^2)
CP	= Faktor Penggunaan dan Konservasi Lahan
M	= Ukuran partikel yaitu (%Silt *x* (100-%Clay)
a	= Bahan Organik (%)
b	= Kode Struktur Tanah
c	= Kode Permeabilitas Tanah
SR	= Laju sedimentasi (Ton/Tahun)
SY	= Laju Sedimentasi (Ton/Tahun)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pertambangan merupakan salah satu penyumbang utama bagi pertumbuhan ekonomi nasional, khususnya di negara yang kaya akan sumber daya alam seperti Indonesia (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023). Salah satu area strategis dalam sektor ini adalah blok pertambangan Vale yang berlokasi di Sorowako, Sulawesi Selatan. Wilayah ini dikenal sebagai salah satu produsen nikel terbesar di dunia, sehingga pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya alamnya menjadi isu yang sangat penting.

PT Vale Indonesia Tbk. merupakan salah satu perusahaan tambang nikel terbesar di Indonesia yang beroperasi di wilayah Sorowako, Sulawesi Selatan. Aktivitas pertambangan terbuka yang dilakukan di wilayah ini menyebabkan gangguan signifikan terhadap kondisi lahan alami, termasuk hilangnya vegetasi penutup tanah, perubahan morfologi lahan, dan meningkatnya potensi erosi tanah. Studi ini bertujuan untuk menganalisis volume sedimentasi yang dihasilkan akibat proses erosi pada lahan bekas tambang aktif maupun area disposal tanah penutup. Sedimentasi yang terjadi tidak hanya memengaruhi kapasitas *sediment pond*. namun juga berdampak terhadap kualitas air, produktivitas tanah, dan potensi degradasi lingkungan di wilayah hilir.

Blok pertambangan Vale di Sorowako memberikan tantangan tersendiri karena karakteristik geologis dan hidrologis yang kompleks. Topografi yang curam, curah hujan yang tinggi, serta aktivitas tambang yang masif membuat dinamika sedimen di kawasan ini menjadi sangat rumit. Tingginya laju sedimentasi pada pertambangan PT. Vale membuat permasalahan serius terkait dengan kapasitas tampung pada *sediment pond*. Pentingnya mengetahui volume *sediment pond* pada kawasan pertambangan PT. Vale karena apabila tidak diperhatikan akan dapat

menyebabkan banjir, kerusakan lingkungan sekitar dan terganggunya operasi infrastruktur, sehingga diperlukan *maintanance* terkait hal tersebut.

Sediment pond berperan sebagai salah satu metode pengendalian erosi dan sedimentasi yang bertujuan untuk menahan material sedimen sebelum masuk ke badan air alami. Namun, efektivitas *sediment pond* sangat bergantung pada kapasitasnya dalam menampung sedimen yang dihasilkan dari proses erosi di lahan pertambangan. Akumulasi sedimen yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan kapasitas *sediment pond.*

Kondisi di lapangan yang curam tersebut menyebabkan erosi yang masif ketika terjadi hujan. Sedimen-sedimen yang ada pada daerah hulu akan terbawa sampai ke daerah hilir yaitu *sediment pond* (*Outlet*). Untuk menunjang kinerja *sediment pond* agar optimal, dengan menganalisis terkait masalah erosi lahan dan laju sedimentasi. Salah satu metode yang sering digunakan dalam perhitungan erosi dan sedimentasi adalah *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). Metode ini mampu memperkirakan jumlah sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan dengan mempertimbangkan faktor hidrologi dan karakteristik tanah.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan mengkaji besarnya volume sedimentasi pada *sediment pond* menggunakan metode MUSLE dengan bantuan *HEC-HMS*. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis berapa besar sedimentasi yang terdapat dalam *sediment pond* akibat erosi lahan pertambangan dengan menggunakan metode MUSLE.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besaran volume sedimentasi DAS Hasan dan Watulabu2 dengan *outlet sediment pond* Hasan dan Watulabu2 dengan metode MUSLE ?
2. Berapa besaran volume sedimentasi DAS Hasan dan Watulabu2 dengan *outlet sediment pond* Hasan dan Watulabu2 dengan permodelan menggunakan HEC-HMS?
3. Perbandingan hasil volume sedimen antara analisis menggunakan metode MUSLE secara manual , permodelan HEC-HMS dan sedimen eksisting di lapangan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penilitian ini antara lain:

1. Mengetahui besaran volume sedimentasi DAS Hasan dan Watulabu2 dengan *outlet sediment pond* Hasan dan Watulabu2 dengan metode MUSLE ?
2. Mengetahui besaran volume sedimentasi DAS Hasan dan Watulabu2 dengan *outlet sediment pond* Hasan dan Watulabu2 dengan permodelan menggunakan HEC-HMS?
3. Mengetahui perbandingan hasil volume sedimen antara analisis menggunakan metode MUSLE secara manual dan permodelan HEC-HMS dan sedimen eksisting di lapangan ?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Memberikan rekomendasi berbasis ilmiah bagi pemangku kepentingan dalam merancang kebijakan terkait pengelolaan sedimen untuk menjaga kualitas lingkungan dan infrastruktur air.
2. Meningkatkan pemahaman pengguna tentang kemampuan dan keterbatasan aplikasi *HEC-HMS* dalam simulasi laju sedimen akibat erosi lahan pertambangan.
3. Memberikan wawasan kepada peneliti lain mengenai kelebihan dan keterbatasan dari metode yang digunakan peneliti.
4. Dapat dijadikan bahan pertimbangan atau dikembangkan lebih lanjut.
5. Membantu mengidentifikasi metode yang lebih tepat untuk diterapkan dalam konteks lokal. sehingga mendukung efisiensi biaya dan waktu dalam implementasi proyek.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya dilakukan di DAS hassan dan Watulabu2 yang berada di area blok pertambangan PT Vale Sorowako, Sulawesi Selatan.
2. Fokus penelitian ini pada analisis volume sedimentasi yang terakumulasi dalam *sediment pond*.

3. Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian bersumber dari stasiun cuaca yang di miliki oleh PT VALE yaitu stasiun hujan *Plant site* tahun 2024.
4. Simulasi erosi lahan terhadap laju sedimentasi menggunakan metode MUSLE dilakukan analisis secara manual dan menggunakan aplikasi HEC-HMS.
5. Gradasi butir diperoleh dengan melakukan uji sampel analisis saringan dan *hydrometer* di Laboratrium Gunung Batu, Departemen Geoteknik, PT. Vale.
6. Penentuan gradasi butir mengacu pada ASTM D 1140 dan ASTM C 136-01.
7. Hasil perhitungan erosi didapat nilai laju erosi dan volume sedimentasi akan dibandingkan dengan nilai kapasitas sedimen eksisting.
8. Penelitian ini tidak menghitung biaya maintanance *sediment pond* tersebut.
9. Metode yang digunakan metode MUSLE (*Modified Universal Soil Equation*).
10. Sampel uji diambil di FPB-03-Disposal dan FPB-01-PIT.
11. Analisis *Hydrometer* dilakukan dengan menggunakan acuan ASTM D 422-63.
12. Tidak mengkaji aspek analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL).
13. Tidak mencakup analisis ekonomi dan biaya, serta evaluasi terhadap kekuatan dan stabilitas struktur bangunan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan umum

Tinjauan pustaka membahas tentang penelitian terdahulu sebagai sumber referensi dalam penelitian ini. Penelitian mengenai analisis volume sedimentasi sudah diamati oleh beberapa peneliti sebelumnya yang tentunya memiliki beberapa kesamaan sehingga menambah pengetahuan untuk mengkaji dan memudahkan pelaksanaan penelitian ini. Pada bab ini akan menjelaskan perbedaan antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya.

2.2 Penelitian terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang berkaitan dengan analisis volume sedimen adalah sebagai berikut.

2.2.1 Penerapan HEC-HMS untuk Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Metode MUSLE pada Waduk Paselloreng di Kabupaten Wajo.

Zefri, dkk. (2022) melakukan penelitian mengenai masalah erosi tanah akibat limpasan permukaan yang masuk ke Waduk Paselloreng, Menggunakan metode MUSLE dan USLE. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran erosi lahan dan sedimentasi pada Waduk Paselloreng. Kabupaten Wajo. Untuk mempelajari erosi tanah. model HEC-HMS diterapkan untuk mensimulasikan erosi tanah dan hasil sedimen. Untuk memperkirakan hasil sedimen dari model HEC-HMS diperlukan model curah hujan-limpasan. Oleh karena itu, sebelum simulasi model erosi dilakukan analisis hidrologi dan untuk faktor erodibilitas tanah (K) senilai 0,212. faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) senilai 3,725. faktor penutupan vegetasi (C) senilai 0,175 dan faktor konservasi lahan (P) senilai 1,00. Dari perhitungan Metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) didapat besar laju erosi sebesar 79,25 ton/ha/thn dan laju sedimentasi sebesar 4,50 ton/ha/thn. Hasil simulasi model presipitasi-runoff diperoleh debit puncak sebesar 28,30 m^3/dt.

Untuk mensimulasikan model erosi dan sedimen di HEC-HMS persamaan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) dipilih berdasarkan tutupan lahan dari wilayah studi kedap air. Perhitungan manual Metode MUSLE didapat besar laju erosi sebesar 99,96 ton/ha/thn dan laju sedimentasi sebesar 5,59 ton/ha/thn sedangkan dengan pemodelan HEC-HMS didapat total beban sedimen selama tahun 2021 adalah 89.688,10 ton dengan nilai laju erosi sebesar 98,48 ton/ha/thn dan laju sedimentasi sebesar 5,59 ton/ha/thn atau 0,23 mm/thn dengan kelas bahaya erosi adalah Kelas III (sedang).

2.2.2 Perbandingan Antara Metode USLE dan MUSLE Dalam Analisis Erosi Lahan Pada Daerah Tangkapan Air Waduk Cengklik.

Saputra, dkk. (2022) melakukan penelitian analisis masalah erosi lahan Pada daerah tangkapan air Waduk Cengklik, Menggunakan metode MUSLE dan USLE. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran erosi lahan dan sedimentasi pada Waduk Cengklik, Kabupaten Boyolali. Waduk Cengklik adalah waduk yang terletak di Desa Ngargorejo, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. Waduk Cengklik sendiri memiliki fungsi utama sebagai pemasok air irigasi pada 3 kecamatan yaitu Sambi, Ngemplak, dan Nogosari. Oleh karena setiap tahunnya waduk cengklik mengalami penurunan tampungan air menyebabkan kurangnya pasokan air ke pertanian di 3 kecamatan terutama saat musim kemarau. Hal ini disebabkan oleh besarnya laju sedimentasi yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung laju sedimentasinya yang nantinya bisa dilakukan penangan agar sedimentasi di waduk bisa berkurang dan tampungan air pada waduk tidak berkurang. Prediksi erosi dan laju sedimentasi pada penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dan MUSLE *(Modified Universal Soil Loss Equation*). Dari hasil penelitian ini diperoleh nilai faktor erosifitas hujan (R) dari tahun 2010-2019, faktor erodibilitas tanah (K) sebesar 0,23. faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) sebesar 0,4. faktor tanaman penutup lahan dan faktor tindakan konservasi (CP) sebesar 0,491 sehingga didapatkan besar erosi dan laju sedimentasi menggunakan Metode USLE sebesar 66,698 ton/ha/tahun dan 14,653 ton/ha/tahun. Lalu diperoleh nilai debit banjir maksimum (QP). volume aliran permukaan (VQ) dan limpasan permukaan (R)

tahun 2010-2019 sehingga erosi dan laju sedimentasi menggunakan Metode MUSLE sebesar 35,106 ton/ha/tahun dan 7,713 ton/ha/tahun. Kemudian didapatkan rasio pembadingan antara Metode USLE dan MUSLE sebesar 1,90 : 1,00.

2.2.3 Perbandingan Hasil Prediksi Laju Erosi dengan metode USLE. MUSLE. RUSLE Berdasarkan Literatur Review.

Lesmana, dkk. (2022) melakukan penelitian terkait dengan hasil laju erosi pada metode USLE, MUSLE, dan RULSE. Dengan menggunakan metode literatur *review*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat erosi yang terjadi dan laju erosi tanah serta arahan untuk melakukan konservasi di sekitar area penambangan. Dampak negatif dari kegiatan pertambangan adalah terjadinya perubahan bentuk lahan yang ada pada kawasan pertambangan dimana dari perubahan bentuk lahan tersebut pada umumnya mengakibatkan erosi dan gerakan massa tanah karena pertambangan yang dilakukan secara tradisional umumnya tidak berwawasan lingkungan karena tidak memiliki perencanaan penambangan. Pada lahan miring sering tidak memperhatikan tindakan konservasi tanah terutama pada penggunaan lahan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis prediksi laju erosi tanah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat erosi yang terjadi dan laju erosi tanah serta arahan untuk melakukan konservasi di sekitar area penambangan dengan melihat parameter erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng, praktek pengelolaan lahan, serta praktek pengelolaan tanaman sehingga dapat mengetahui tingkat erosi dan arah penyebaran erosi yang terjadi di daerah penelitian dengan menggunakan pendekatan metode USLE. metode MUSLE dan metode RUSLE serta memberikan arahan untuk melakukan konservasi lahan.

2.2.4 Analisis erosi menggunakan USLE pada area disposal dan sekatan Sump Angsana Pit Tutupan PT Adaro Indonesia.

Inhazama, dkk. (2022) melakukan penelitian mengenai masalah erosi pada area disposal dan sekatan sump pada PT Adaro Indonesia, Dengan menggunakan metode USLE. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran erosi lahan dan

sedimentasi pada angsana pit PT. Adaro Indonesia, Kabupaten Wajo. Dari Hasil Perhitungan dan analisis pada area disposal laju erosi adalah sebesar 271 ton/ha/th yang dimana kehilangan tanah termasuk pada 180-480 dengan tingkat bahaya erosi tersebut jika dikorelasikan dengan tabel klasifikasi menurut departemen kehutanan 1998 dapat diketahui tingkat bahaya erosi pada area disposal menunjukan tingkat bahaya erosi berat. Pada area sekatan laju erosi adalah sebesar 64 ton/ha/th dimana kehilangan tanah termasuk pada 16-60 dengan tingkat bahaya erosi tersebut jika dikorelasikan dengan tabel klasifikasi menurut departemen kehutanan 1998 dapat diketahui tingkat bahaya erosi pada area sekatan menunjukan tingkat bahaya erosi sedang.

2.2.5 Pendugaan erosi menggunakan metode *modified universal soil loss equation* (MUSLE) di sub DAS Bale.

Salviya, dkk. (2023) melakukan penelitian mengenai pendugaan erosi tanah di Sub DAS Bale, Dengan menggunakan metode MUSLE. Tujuan penelitian ini untuk menduga besaran erosi di sub DAS Bale. Sub Daerah Aliran Sungai Bale berada di Desa Tulungrejo, Kecamatan Gandusari, Kabupaten Blitar yang memiliki lahan dengan topografi yang bergelombang dan berada pada ketinggian antara 519–846 mdpl dan didominasi dengan kelerengan yang curam hingga sangat curam. Penggunaan lahan di sebagian besar wilayah sub DAS Bale, yaitu berupa hutan telah banyak berubah menjadi lahan pertanian atau kebun campuran. Dimana alih fungsi lahan tersebut dilakukan tanpa atau dengan tindakan konservasi dan kondisi penutup lahan yang kurang baik. Pemanfaatan lahan yang tidak sesuai dengan ketentuan konservasi lahan akan berakibat pada kerentanan sub DAS Bale terhadap kejadian erosi, ditambah Sub DAS Bale memiliki kemiringan lereng yang curam. Dengan demikian, tujuan dari kajian ini adalah untuk menduga/prediksi besaran erosi di Sub DAS Bale. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan survei lapangan dengan data yang digunakan berupa data primer dan sekunder. Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode MUSLE *(Modified Universal Soil Loss Equation)* untuk pendugaan besarnya erosi pada wilayah kajian. Hasil dari penelitian ini. terdapat 18 unit lahan di Sub DAS Bale dengan nilai erosi terbesar pada unit lahan 4 sebesar 647,99 ton/ha/tahun. Satuan unit lahan 4,

memiliki nilai faktor Vq sebesar 2.322,76 m^3. nilai K sebesar 0,50. nilai LS sebesar 1,7 dan nilai CP sebesar 0,60 dengan penggunaan lahan permukiman tanpa adanya upaya konservasi. Sementara itu, nilai erosi terkecil terdapat pada unit lahan 17 sebesar 1,09 ton/ha/tahun. Nilai Vq pada unit lahan tersebut sebesar 686,05 m^3. nilai K sebesar 0,30. nilai LS sebesar 3,8. dan nilai CP sebesar 0,02 dengan penggunaan lahan hutan serta upaya konservasi berupa guludan dan rumput penguat.

2.3 Keaslian penelitian

Berdasarkan penyajian mengenai penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, perbedaanya dengan penelitian yang akan dilakukan adalah Lokasi penelitian yang akan dilakukan adalah DAS hassan dan watulabu2 yang berada di wilayah blok pertambangan Sorowako. Penelitian ini membahas tentang volume sedimentasi dilakukan menggunakan metode *Modified Universal Soil Equation* (MUSLE) dan juga analisis laju sedimentasi dilakukan menggunakan *software HEC-HMS*. Penelitian ini menggunakan data curah hujan pada tahun 2024 di wilayah petambangn sorowako.

2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Perbandingan penelitian sekarang dengan beberapa penelitian di atas disajikan dalam bentuk tabel. dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Sekarang

Penelitian Sebelumnya				
Nama Peneliti	**Judul Penelitian**	**Tujuan Penelitian**	**Metode Penelitian**	**Hasil Penelitian**
Zefri, dkk. (2022)	Penerapan HEC-HMS untuk Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Metode MUSLE pada Waduk Paselloreng di Kabupaten Wajo.	Tujuan dari penelitian ini untuk mensimulasikan erosi tanah dan hasil sedimen.	Menggunakan *Metode Universal Soil Loss Equation* (USLE) dan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) dengan menggunakan aplikasi HEC-HMS.	Dari perhitungan Metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) didapat besar laju erosi sebesar 79,25 ton/ha/thn dan laju sedimentasi sebesar 4,50 ton/ha/thn. Hasil simulasi model presipitasi-runoff diperoleh debit puncak sebesar 28,30 m3/dt. Perhitungan manual Metode MUSLE didapat besar laju erosi sebesar 99,96 ton/ha/thn dan laju sedimentasi sebesar 5,59 ton/ha/thn sedangkan dengan pemodelan HEC-HMS didapat total beban sedimen selama tahun 2021 adalah 89.688,10 ton dengan nilai laju erosi sebesar 98,48 ton/ha/thn dan laju sedimentasi sebesar 5,59 ton/ha/thn atau 0,23 mm/thn dengan kelas bahaya erosi adalah Kelas III (sedang)
Saputra, dkk. (2022)	Perbandingan Antara Metode USLE dan MUSLE Dalam Analisis Erosi Lahan Pada Daerah Tangkapan Air Waduk Cengklik.	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghitung besar erosi dan laju sedimentasi.	Menggunakan Metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE)	Didapatkan besar erosi dan laju sedimentasi menggunakan Metode USLE sebesar 66,698 ton/ha/tahun dan 14,653 ton/ha/tahun. Lalu diperoleh nilai debit banjir maksimum (QP). volume aliran permukaan (VQ) dan limpasan permukaan (R) tahun 2010-2019 sehingga erosi dan laju sedimentasi menggunakan Metode MUSLE sebesar 35,106 ton/ha/tahun dan 7,713 ton/ha/tahun. Kemudian didapatkan rasio pembadingan antara Metode USLE dan MUSLE sebesar 1,90 : 1,00.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Sekarang

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Lesmana, dkk. (2020)	Perbandingan Hasil Prediksi Laju Erosi dengan metode USLE, MUSLE, RUSLE Berdasarkan Literatur Review.	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat erosi yang terjadi dan laju erosi tanah serta arahan untuk melakukankonservasi disekitar area penambangan.	Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode literatur review.	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat erosi yang terjadi dan laju erosi tanah serta arahan untuk melakukan konservasi disekitar area penambangan dengan melihat parameter erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang dan kemiringan lereng. Praktek pengelolaan lahan.Serta praktek pengelolaan tanaman sehingga dapat mengetahui tingkat erosi dan arah penyebaran erosi yang terjadi di daerah penelitian dengan menggunakan pendekatan metode USLE, metode MUSLE dan metode RUSLE serta memberikan arahan untuk melakukan konservasi lahan.
Inhazama, dkk. (2023)	Analisis erosi menggunakan USLE pada area disposal dan sekatan Sump Angsana Pit Tutupan PT Adaro Indonesia	Untuk mengetahui klasifikasi tingkat bahaya erosi dan hasil sedimen pada lokasi yang diteliti.	Menggunakan Metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE).	Dari Hasil Perhitungan dan analisis pada area disposal laju erosi adalah sebesar 271 ton/ha/th yang dimana kehilangan tanah termasuk pada 180-480 dengan tingkat bahaya erosi tersebut jika dikorelasikan dengan tabel klasifikasi menurut departemen kehutanan 1998 dapat diketahui tingkat bahaya erosi pada area disposal menunjukan tingkat bahaya erosi berat. Pada area sekatan laju erosi adalah sebesar 64 ton/ha/th dimana kehilangan tanah termasuk pada 16-60 dengan tingkat bahaya erosi tersebut jika dikorelasikan dengan tabel klasifikasi menurut departemen kehutanan 1998 dapat diketahui tingkat bahaya erosi pada area sekatan menunjukan tingkat bahaya erosi sedang.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Sekarang

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Salviya, dkk. (2023)	Pendugaan erosi menggunakan metode *modified universal soil loss equation* (MUSLE) di sub DAS Bale.	Tujuan penelitian ini untuk menduga besaran erosi di sub DAS Bale.	Penelitian ini menggunakan metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE).	Hasil dari penelitian ini. terdapat 18 unit lahan di Sub DAS Bale dengan nilai erosi terbesar pada unit lahan 4 sebesar 647,99 ton/ha/tahun. Satuan unit lahan 4, memiliki nilai faktor Vq sebesar 2.322,76m3, nilai K sebesar 0,50, nilai LS sebesar 1,7 dan nilai CP sebesar 0,60 dengan penggunaan lahan permukiman tanpa adanya upaya konservasi. Sementara itu, nilai erosi terkecil terdapat pada unit lahan 17 sebesar 1,09 ton/ha/tahun. Nilai Vq pada unit lahan tersebut sebesar 686,05 m3, nilai K sebesar 0,30, nilai LS sebesar 3,8, dan nilai CP sebesar 0,02 dengan penggunaan lahan hutan serta upaya konservasi berupa guludan dan rumput penguat .
Penelitian Sekarang				
Permana (2025)	Analisis Volume Sedimentasi Pada *Sediment Pond* Akibat Erosi Lahan Di Blok Pertambangan PT VALE Sorowako. Sulawesi Selatan.	Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui laju sedimentasi pada lahan pertambangan.	Penelitian ini menggunakan metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) dengan aplikasi HEC-HMS.	-

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 *Sediment Pond* pada Pertambangan

Dalam kegiatan pertambangan nikel. aktivitas seperti pembukaan lahan dan pengerukan tanah serta batuan secara intensif dapat meningkatkan risiko erosi permukaan. Tanah yang tererosi ini kemudian terbawa oleh aliran air hujan, membawa partikel sedimen yang berpotensi mencemari badan air di sekitar lokasi tambang. Salah satu upaya yang umum diterapkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah pembangunan kolam pengendapan (*sediment pond*). Struktur ini dirancang untuk menampung sementara air yang mengandung sedimen, memberikan waktu bagi partikel padat untuk mengendap sebelum air tersebut dilepaskan kembali ke lingkungan (Goldman dkk ,1986). Oleh karena itu, *sediment pond* menjadi komponen penting dalam sistem pengendalian erosi dan sedimentasi di kawasan tambang nikel.

Kinerja *sediment pond* sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor teknis, seperti kapasitas tampung kolam, lamanya waktu retensi air, ukuran partikel sedimen, serta desain dan lokasi pembangunannya. Perawatan berkala juga sangat diperlukan, karena sedimen yang menumpuk dalam jangka waktu lama dapat menurunkan daya tampung kolam, menyebabkan limpasan yang membawa sedimen keluar, dan pada akhirnya mencemari perairan di hilir (US EPA, 2005). Dampak dari kondisi ini tidak hanya terbatas pada penurunan kualitas air. tetapi juga dapat merusak ekosistem akuatik yang ada.

Dengan memperhatikan aspek teknis dan ketentuan hukum yang berlaku, desain dan pengelolaan *sediment pond* harus direncanakan secara matang agar tetap efektif sepanjang umur operasional tambang. Terlebih lagi, di wilayah tropis seperti Indonesia yang memiliki curah hujan tinggi. *Sediment pond* memainkan peran strategis dalam menjaga keseimbangan antara kegiatan eksploitasi sumber daya dan pelestarian lingkungan.

3.2 Curah Hujan Harian Maksimum

Curah hujan harian maksimum adalah jumlah curah hujan tertinggi yang tercatat dalam periode 24 jam pada suatu tahun di stasiun pengamatan. dan biasanya digunakan sebagai data utama dalam analisis hidrologi. Data ini diperoleh dengan mengambil nilai hujan harian terbesar dari periode tahun tertentu. Curah hujan harian maksimum pada penelitian ini sebagai parameter yang digunakan untuk mencari volume aliran permukaan (Vq).

3.3 Erosi

Menurut Utomo (1994), sebenarnya erosi ialah proses dalam meratakan permukaan tanah dengan menghancurkan, pengangkut, serta mengendapkan. Perubahan bentuk dari permukaan bumi seiring waktu terjadi karena terdapatnya wilayah yang terkikis dan tertimbun. Proses erosi ini dapat terjadi secara alami yang membutuhkan waktu lebih lama bahkan manusia sering tidak sadar bahwa erosi tengah terjadi, hasil dari proses ini baru tampak dalam beberapa puluh tahun ke depan bahwa memakan waktu hingga beberapa ratus tahun kemudian. Kegiatan manusia, contohnya bertani, malah membuat lajunya erosi semakin cepat.

Sejumlah lahan yang digunakan untuk bercocok tanam ini tanpa berhenti ditanami ,dan juga tumbuhan, tanah, dan air tidak dikelola secara tepat. Khususnya di daerah basah dimana memiliki curah hujan yang lebih dari 1500 mm/tahun akan mengakibatkan menurunnya kesuburan tanah yang menyebabkan berkurangnya produktivitas tanah. Penurunan tingkat kesuburan tanah dapat terjadi disebabkan lenyapnya unsur hara di dalam lapisan tanah bagian atas ketika erosi berlangsung. Disebabkan hal tersebut, lahan yang diperuntukkan untuk pertanian harus dilestarikan (Suripin, 2001).

3.4 Dampak Erosi

Menurut Lal (1999), erosi dapat menyebabkan banyak perubahan pada bentuk fisik tanah. Akibat dari erosi. kesuburan pada *topsoil* akan menghilang. Proses erosi mampu mengubah sifat fisik tanah yang penting, perubahan ini sering kali menjadi hal yang tak baik. Pada saat bagian *topsoil* tererosi, kandungan bahan organik pada tanah akan berkurang. karena pada kebanyakan tanah kandungan ini

berada pada bagian teratas tanah. Proses erosi, baik erosi yang akibat angin maupun air akan menghilangkan tanah liat dan humus dari tanah, yang kemudian akan meninggalkan pasir kasar, batu kerikil, atau bebatuan yang kurang berguna.

Menurunnya kualitas tanah akibat proses erosi, dapat memberikan dampak buruk bagi kualitas air. Hal ini dapat terjadi ketika endapan dari material hasil erosi terbawa dan tersimpan di badan sungai

3.5 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses pengendapan material yang terbawa oleh aliran air, angin, atau es, yang kemudian tertimbun di suatu lokasi tertentu. Sedimentasi yang berlebihan dapat berdampak pada kapasitas *sediment pond*, mengurangi volume air yang dapat dialirkan, serta bisa menimbulkan kekeruhan pada aliran sungai. Hal ini disebabkan oleh akumulasi sedimen yang menyempitkan penampang saluran, sehingga menurunkan daya tampung air yang mengalir.

Laju sedimentasi juga dapat mengalami perubahan akibat faktor lingkungan di sekitar aliran area menuju *sediment pond*. Aktivitas seperti pembukaan lahan yang memicu peningkatan erosi dapat menyebabkan lebih banyak material terlepas dan terbawa arus, sehingga meningkatkan jumlah sedimen yang diendapkan. Sebaliknya, intervensi manusia seperti pembangunan bendungan atau rekayasa aliran sungai dapat mengubah pola sedimentasi, sering kali menyebabkan peningkatan erosi di beberapa area akibat perubahan dinamika aliran dan distribusi material sedimen.

Oleh karena itu, strategi pengelolaan sedimentasi yang tepat sangat diperlukan untuk menjaga kapasitas *sediment pond* tetap optimal, memastikan kualitas airnya sesuai batasan yang ditentukan oleh pemerintah, serta melindungi keseimbangan ekosistem sungai.

3.6 Metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE)

Metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (*MUSLE)* merupakan modifikasi dari metode *Universal Soil Loss Equation* (*USLE)*. Dalam metode ini digunakan faktor aliran debit puncak (Qp) dan Volume limpasan permukaan (Vq).

menggantikan erosifitas hujan (EI) yang digunakan dalam metode USLE, Suripin 2002 (dalam Krisnayanti 2018) ,dengan persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$SY = 11{,}8\ (Qp\ x\ Vq)^{0{,}56} x\ K\ x\ LS\ x\ CP \quad (3.1)$$

Keterangan :

SY = *Sediment Yield*

Qp = Debit Puncak (m^3/det)

Vq = Volume Aliran Permukaan (m^3)

K = Faktor Erodibilitas Tanah

LS = Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

CP = Faktor Tutupan Lahan (C) dan Faktor Pengelolaan Lahan (P)

3.6.1 Debit Puncak (Qp) dan Volume Aliran Permukaan (Vq)

1. Debit puncak (Qp)

Curah hujan menghasilkan aliran permukaan (limpasan) dan infiltrasi. Jika laju infiltrasi tanah lebih rendah daripada laju limpasan, maka akan terjadi limpasan pada DAS tersebut dan dari limpasan tersebut akan membawa sedimen-sedimen akibat erosi ke bagian hilir dan menyebabkan penumpukan sedimen dan pencemaran kualitas air. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan memperkiranakan erosi yang terjadi, diperlukan pehitungan terkait sedimentasi yang terjadi pada daerah tersebut terutama pada area pertambangan. Perhitungan besaran sedimentasi tersebut didasarkan pada analisis debit banjir dengan menggunakan metode Rasional. Metode ini memperhitungkan hubungan antara debit limpasan dengan intensitas dan durasi hujan untuk daerah aliran sungai (DAS) dengan luas tidak lebih dari 600 hektar. Persamaaan 3.2 digunakan dalam metode Rasional sebagai berikut.

$$Q = 0{,}278\ x\ C\ x\ I\ x\ A \quad (3.2)$$

Keterangan:

Q = Debit aliran (m^3/det)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan (km^2)

C = Koefisien aliran (Tabel 3. 12) .Untuk C komposit dihitung dengan persamaan (3.3)

$$C_{Komposit} = \frac{A_1.C_1 + A_2.C_2 \ldots + A_nC_n}{A_1+A_2+\ldots A_n} \quad (3.3)$$

Koefisien aliran permukaan didefinisikan sebagai rasio antara debit puncak aliran permukaan terhadap intensitas curah hujan. Nilai koefisien sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain karakteristik tanah (laju infiltrasi, porositas, tekstur), kondisi topografi (kemiringan lereng), tutupan lahan (vegetasi), dan karakteristik hujan (intensitas, durasi, distribusi). Selain itu, kondisi hidrogeologi seperti kedalaman dan kualitas air tanah, porositas tanah, derajat kepadatan tanah, serta simpanan depresi juga turut mempengaruhi nilai koefisien aliran. Besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dicari dengan mencari representasi dari wilayah DAS dengan nilai koefisien aliran pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Nilai Koefisien Limpasan

Topografi (Ct)	Tanah (Cs)	Vegetasi (Cv)
Datar (< 1%) 0,03	Pasir dan Gravel 0,04	Hutan 0,04
Bergelombang (1–10%) 0,08	Lempung berpasir 0,08	Pertanian 0,11
Perbukitan (10–20%) 0,16	Lempung dan lanau 0,16	Padang rumput 0,21
Pegunungan (> 20%) 0,26	Lapisan batu 0,26	Tanpa tanaman 0,28

Sumber: Suripin (2004)

2. Volume Aliran Permukaan (Vq)

Volume aliran permukaan (*surface runoff volume*) adalah jumlah air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah dan tidak meresap ke dalam tanah. Air ini terbentuk ketika intensitas curah hujan melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Volume aliran permukaan menjadi salah satu komponen utama dalam siklus hidrologi yang sangat penting dalam perencanaan tata air, pengendalian banjir, dan manajemen kualitas air. Persamaan 3.4 digunakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Vq = R^{24} \; x \; A \; x \; CP \quad (3.4)$$

Dengan :

Vq = Volume Aliran Permukaan (m^3)

R^{24} = Curah hujan harian maksimum(m)

A = Luas (m^2)

CP = Faktor Penggunaan dan Konservasi Lahan

3.6.2 Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Menurut Sarief (1985) faktor erodibilitas tanah, dengan kata lain faktor kepekaan erosi tanah, diartikan sebagai mudah-tidaknya tanah tersebut tererosi. Faktor erodibilitas tanah menunjukkan kemampuan dari partikel tanah terhadap proses terkelupasnya tanah dan pergeseran tanah dari sejumlah partikel tanah terhadap terdapatnya energi kinetik dari air hujan. Penentuan atas besaran erodibitas dapat ditentukan dengan melihat beberapa ciri yang dimiliki tanah contohnya tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, dan kandungan bahan organik dan juga bahan kimia dari tanah. Faktor erodibilitas tanah besarnya tergantung pada jenis tanah di lokasi terkait. Besar nilai K dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.5 dari Wischmeimer (1978) sebagai berikut.

$$K = \frac{1{,}292\ \{2{,}1 \times M\ 1{,}14\ (10^{-4}) x(12-a)+3{,}25(b-2)+2{,}5(c-3)\}}{100} \quad (3.5)$$

Keterangan :

K = Nilai Erodibilitas Tanah

M = UkuranPartikel yaitu(%*Silt*) x (100 - %*Clay*)

a = Bahan Organik (%)

b = Kode Struktur Tanah (Tabel 3.2)

c = Kode Permeabilitas Tanah (Tabel 3.3)

Pada faktor erodibilitas tanah ini terdapat parameter struktur tanah dan permeabilitas tanah mempunyai koefisien berdasarkan pengelompokannya bisa dilihat pada Tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3. 2 Penilaian Kelas Struktur Tanah

Struktur	Kelas
Granular Sangat halus	1
Granular halus	2
Granular Sedang sampai Kasar	3
Granular , lempeng, pejal	4

Sumber: Arsyad (1989)

Tabel 3. 3 Penilaian Kelas Permeabilitas Tanah

Kelas Kecepatan Permeabilitas Tanah	Kelas
Sangat lambat (<0,5 cm/jam)	1
Lambat (0,5-2,0 cm/jam)	2
Lambat sampai sedang (2,0-6,3 cm/jam)	3
Sedang (6,3-12,7 cm/jam)	4
Sedang sampai cepat (12,7-25,4 cm/jam)	5
Cepat (>25,4 cm/jam)	6

Sumber: Arsyad (1989)

Untuk ukuran partikel pada faktor erodibilitas tanah ini diklasifikasikan menjadi 4 kategori yang beradasarkan ASTM. Adapun juga klasifikasi kelas erodbilitas tanah untuk menetukan kategorinya yang bisa lihat pada Tabel 3.4 dan 3.5

Tabel 3. 4 Batasan Ukuran partikel

Kategori material	Ukuran (mm)
Gravel	> 4,75 - 75
Sand	0,075 – 4,75
Silt	0,002 – 0,075
Clay	< 0,002

Sumber: ASTM D2487 (2017)

Tabel 3. 5 Klasifikasi Kelas Erodibilitas Tanah

Nilai Erodibilitas(K)	Kategori
0,00 - 0,11	Sangat rendah
0,11 - 0,21	Rendah
0,22 - 0,32	Sedang
0,33 - 0,44	Agak Tinggi
0,45 - 0,55	Tinggi
0,56 - 0,64	Sangat Tinggi

Sumber: Arsyad (2010)

3.6.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Dalam kajian erosi tanah, khususnya yang menggunakan persamaan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE), faktor panjang dan kemiringan lereng (dikenal sebagai faktor LS) merupakan salah satu komponen utama yang memengaruhi laju kehilangan tanah akibat erosi air. Faktor ini mencerminkan pengaruh kondisi topografi terhadap potensi erosi, yang terdiri dari dua elemen: panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S). Panjang lereng mengacu pada jarak horizontal antara titik awal aliran permukaan hingga titik di mana aliran terkonsentrasi atau mencapai dataran rendah. Semakin panjang suatu lereng, semakin besar energi kinetik yang dapat dikumpulkan oleh air permukaan, sehingga meningkatkan kapasitasnya dalam mengikis dan mengangkut partikel tanah. Sementara itu, kemiringan lereng menggambarkan seberapa curam suatu permukaan tanah. Lereng yang lebih curam menyebabkan kecepatan aliran air meningkat, sehingga mengurangi waktu untuk infiltrasi dan meningkatkan kekuatan aliran permukaan dalam mengerosi tanah. Oleh karena itu, kombinasi panjang dan kemiringan lereng menjadi faktor penting dalam menentukan besarnya risiko erosi, khususnya di daerah yang mengalami gangguan vegetasi atau aktivitas manusia seperti pertambangan dan pertanian. Faktor panjang dan kemiringan lereng dari masing-masing daerah itu berbeda oleh karena itu digunakan Tabel 3.6 untuk mendapatkan nilai LS tersebut.

Tabel 3. 6 Nilai LS berdasarkan kemiringan rata-rata

No.	Kemiringan Rata-Rata	Nilai LS
1	0 – 8 %	0,4
2	>8 – 15 %	1,4
3	>15 – 25%	3,1
4	>25 – 45%	6,8
5	>45%	9,5

Sumber: Arsyad (1989)

Kemiringan lereng juga dikategorikan beberapa klasifikasi kemiringan lereng dengan menggunakan tabel kemiringan lereng dari departemen kehutanan pada tahun 1998 bisa dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Klasifikasi kemiringan Lereng

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi
I	0 - 8	Datar
II	>8 - 15	Landai
III	>15- 25	Agak Curam
IV	>25- 45	Curam
V	>45	Sangat Curam

Sumber: Departemen Kehutanan (1998)

3.6.4 Faktor Tutupan Lahan (C) dan Faktor Pengelolaan Lahan (P)

Faktor tutupan lahan (C) dan faktor pengelolaan lahan (P) merupakan komponen penting yang merepresentasikan pengaruh aktivitas manusia dan kondisi penutup permukaan tanah terhadap tingkat kehilangan tanah. Faktor tutupan lahan (C) menggambarkan perbandingan antara erosi aktual yang terjadi pada lahan yang memiliki vegetasi atau penutup permukaan tertentu dengan erosi maksimum yang mungkin terjadi pada lahan tanpa penutup (*bare soil*). Nilai C berkisar antara 0 (penutup sempurna, seperti hutan lebat) hingga 1 (tanah terbuka tanpa vegetasi). dan menunjukkan seberapa besar perlindungan yang diberikan oleh vegetasi terhadap proses erosi. Semakin rendah nilai C, semakin efektif tutupan lahan tersebut dalam menahan aliran permukaan dan meminimalkan erosi.

Sementara itu, faktor pengelolaan lahan (P) mencerminkan efektivitas penerapan praktik konservasi tanah dalam mengurangi erosi, seperti penggunaan terasering, pengolahan lahan sejajar kontur, guludan, atau saluran pembuangan air. Nilai P juga bervariasi antara 0 hingga 1 yang berarti nilai yang lebih kecil menunjukkan bahwa praktik pengelolaan tersebut sangat efektif dalam mengendalikan erosi. Kombinasi faktor C dan P sangat menentukan seberapa besar laju kehilangan tanah yang sesungguhnya terjadi, karena keduanya secara langsung berkaitan dengan intervensi vegetatif maupun struktural yang dilakukan di atas permukaan lahan. Oleh karena itu, pemilihan jenis penutup lahan dan strategi pengelolaan yang tepat menjadi kunci dalam upaya pengendalian erosi. terutama pada kawasan rawan seperti area pertambangan atau lahan miring. Pada analisis ini menggunakan beberapa referensi untuk mencari nilai koefisien C dan P bisa dilihat pada Tabel 3.8, 3.9, 3.10, dan 3.11 berikut.

Tabel 3. 8 Nilai Faktor C

No	Tutupan Lahan	Nilai C
1	Belukar rawa	0,01
2	Rawa	0,01
3	Semak/Belukar	0,3
4	Pertanian lahan kering campur semak	0,19
5	Pertanian lahan kering	0,28
6	Perkebunan	0,5
7	Pemukiman	0,95
8	Hutan lahan kering sekunder	0,01
9	Hutan mangrove sekunder	0,01
10	Hutan rawa sekunder	0,01
11	Hutan tanaman	0,05
12	Sawah	0,01
13	Tambak	0,05
14	Tanah terbuka	0,95
15	Tubuh air	0,0
16	Pertambangan	0,95

Sumber: Arsyad (2010)

Tabel 3. 9 Nilai Faktor C

No	Jenis Tanaman	Abdulrachman, dkk (1981)
1	Rumput Brachiaria decumbers tahun I	0,278
2	Rumput Brachiaria decumbers tahun II	0,002
3	Kacang tunggak	0,161
4	Sorghum	0,242
5	Ubi kayu	-
6	Kedelai	0,399
7	Serai wangi	0,434
8	Kacang tanah	0,20
9	Padi (lahan kering)	0,561
10	Jagung	0,637
11	Padi sawah	0,067
12	Kentang	0,4
13	Kapas. tembakau	0,5-0,7*
14	Nanas - mulsa dibakar	0,2-0,5*
	Nanas - mulsa dibenam	0,1-0,3*
	Nanas - mulsa di permukaan	0,01*
15	Tebu	-
16	Pisang (jarang monoculture)	-
17	Talas	-
18	Cabe, jahe, dll	-
19	Kebun campuran rapat	-
20	Kebun campuran ubi kayu + kedelai	-
20	Kebun campuran gude + kacang tanah (jarang)	0,495
21	Ladang berpindah	-
22	Tanah kosong diolah	1,0
23	Tanah kosong tak diolah	0,5
24	Hutan tak terganggu	0,001
25	Semak tak terganggu sebagian rumput	0,01
26	Alang-alang permanen	0,10
27	Alang-alang dibakar 1 kali	0,15
28	Semak lantana	0,051
29	Albizia dengan semak campuran	0,012
30	Albizia bersih tanpa semak dan tanpa seresah	0,02
31	Pohon tanpa semak	0,32
32	Kentang ditanam searah lereng	1,0

Sumber: Abdulrachman, dkk (1981)

Tabel 3. 10 Nilai Faktor C

No	Macam Penggunaan Lahan	Nilai faktor C
1	Tanah terbuka tanpa tanaman	1,0
2	Hutan atau semak belukar	0,001
3	Savannah dan praire dalam kondisi baik	0,01
4	Savannah dan praire yang rusak untuk gembalaan	0,1
5	Sawah	0,02
6	Tegalan tidak dispesifikasi	0,1
7	Ubi kayu	0,8
8	Jagung	0,7
9	Kedelai	0,399
10	Kentang	0,4
11	Kacang tanah	0,2
12	Padi Gogo	0,561
13	Tebu	0,2
14	Pisang	0,6
15	Akar wangi (sereh wangi)	0,4
16	Rumput bede (tahun pertama)	0,287
17	Rumput bede (tahun kedua)	0,002
18	Kopi dengan penutup tanah buruk	0,9
19	Talas	0,866
20	Kebun campuran - Kerapatan tinggi	0,2
	Kebun campuran - Kerapatan sedang	0,4
	Kebun campuran - Kerapatan rendah	0,5
21	Perladangan	0,5
22	Hutan alam - Serasah banyak	0,001
	Hutan alam - Serasah sedikit	0,005
	Hutan alam - Tebang habis	0,1
	Hutan alam - Tebang pilih	0,01
23	Semak belukar. padang rumput	0,05
24	Semak tak terganggu	0,01
25	Ubi kayu + kedelai	0,195
26	Ubi kayu + kacang tanah	0,185
27	Padi - sorgum	0,341
28	Padi - kedelai	0,417
29	Alang-alang murni subur	0,35
30	Padang rumput (stepa) dan savana	0,001

Sumber: Suripin (2004)

Tabel 3. 11 Nilai Faktor P

No	Macam Penggunaan Lahan	Nilai P
1	Tanpa tindakan pengendalian erosi	1,00
2	Terras Bangku - Konstruksi sedang	0,04
	Terras Bangku - Konstruksi baik	0,15
	Terras Bangku - Konstruksi kurang baik	0,35
3	Strip tanaman - Terras tradisional	0,40
	Strip tanaman - Rumput Bahia	0,40
	Strip tanaman - Clotaria	0,60
	Strip tanaman - dengan kontur	0,25
4	Pengolahan tanah dan penanaman menurut garis kontur:	
	Kemiringan 0 - 8 %	0,50
	Kemiringan 8 - 20 %	0,75
	Kemiringan > 20 %	0,90

Sumber: Suripin (2004)

Faktor pengelolaan tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus $P_{komposit}$ pada persamaan 3.6 sebagai berikut.

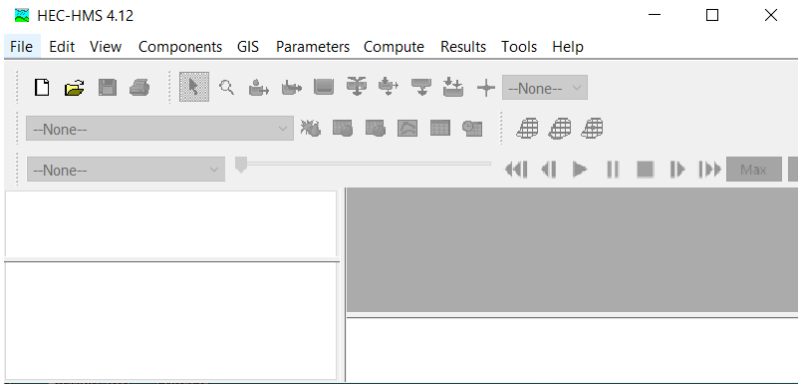
$$P_{komposit} = \frac{A_1.P_1 + A_2.P_2 \ldots + A_nP_n}{A_1+A_2+\cdots A_n} \quad (3.6)$$

3.7 HEC-HMS

Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) adalah perangkat lunak hidrologi yang dikembangkan oleh U.S. *Army Corps of Engineers* untuk mensimulasikan proses hidrologi di suatu daerah aliran sungai (DAS). Program ini dirancang untuk memodelkan berbagai komponen siklus hidrologi seperti curah hujan, infiltrasi, aliran permukaan, dan pengaliran melalui sungai atau saluran. HEC-HMS banyak digunakan dalam perencanaan dan analisis sumber daya air, termasuk perhitungan debit banjir, perencanaan pengendalian banjir, dan kajian dampak perubahan tata guna lahan terhadap karakteristik hidrologi.

Dalam penggunaannya. HEC-HMS memungkinkan pengguna aplikasi untuk menggabungkan berbagai parameter seperti karakteristik hujan, kemampuan infiltrasi tanah, serta bentuk dan panjang alur sungai untuk menghasilkan simulasi debit aliran yang realistis. Software ini dilengkapi dengan berbagai metode perhitungan seperti metode *Curve Number* (SCS), *Green-Ampt* untuk infiltrasi, dan metode *routing* seperti *Muskingum* untuk aliran sungai. Keunggulan utama HEC-

HMS adalah sifatnya yang gratis, fleksibel, serta mampu menangani berbagai skala DAS dari kecil hingga besar. Karena keakuratannya dan kemudahan penggunaannya. HEC-HMS telah menjadi salah satu alat utama dalam kajian hidrologi di berbagai proyek teknik sipil dan lingkungan di seluruh dunia. Berikut merupakan gambaran tampilan awal dalam program HEC-HMS pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Tampilan Awal HEC-HMS

3.7.1 Komponen HEC-HMS

Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi proses hidrologi di suatu daerah aliran sungai (DAS). Pada aplikasi tersebut mempunyai beberapa komponen terhadap kegunaannya masing-masing. Komponen pada HEC-HMS yaitu:

1. *Basin Model* ( ) yaitu komponen yang mewakili skema fisik daerah aliran sungai yang terdiri dari:
   a. *Sub-Basin* (anak DAS) : Menggambarkan wilayah kontribusi Limpasan.
   b. *Reach* (Saluran Sungai) : Untuk aliran terkonsentrasi dan transportasi air.
   c. *Junction* : titik pertemuan beberapa aliran.
   d. *Reservoir* : menyimpan air dan mengatur debit keluar.
   e. *Diversion* : membelokkan sebagian aliran.
   f. *Sink* : titik awal atau akhir aliran.

2. *Meteorologic Model* () komponen yang berfungsi sebagai penyediaan data iklim dan curah hujan untuk input ke sistem DAS.
3. *Control Specifications* () komponen yang berfungsi sebagai penentuan rentang waktu simulasi pada *HEC-HMS*. Berupa waktu mulai dan selesai ataupun interval waktu simulasi.
4. Input data (*Time-series* dan *Paired data*)
   a. *Time-series* () yaitu komponen yang digunakan untuk input data waktu nyata curah hujan.
   b. *Paired data* () yaitu komponen yang berfungsi untuk menghubungkan data gradasi butir dengan Basin models
5. *Terrain* () merupakan komponen fundamental dalam pemodelan hidrologi *HEC-HMS*. Dengan data elevasi yang akurat, kita bisa memetakan dan memahami sistem aliran air secara realistis untuk keperluan simulasi banjir, perencanaan bendungan, atau konservasi DAS.
6. *Simulation Run* () merupakan komponen yang berfungsi untuk menggabungkan *Basin Model, Meteorologic Model, dan Control Specifications* untuk menjalankan simulasi.

3.8 Kesalahan Relatif

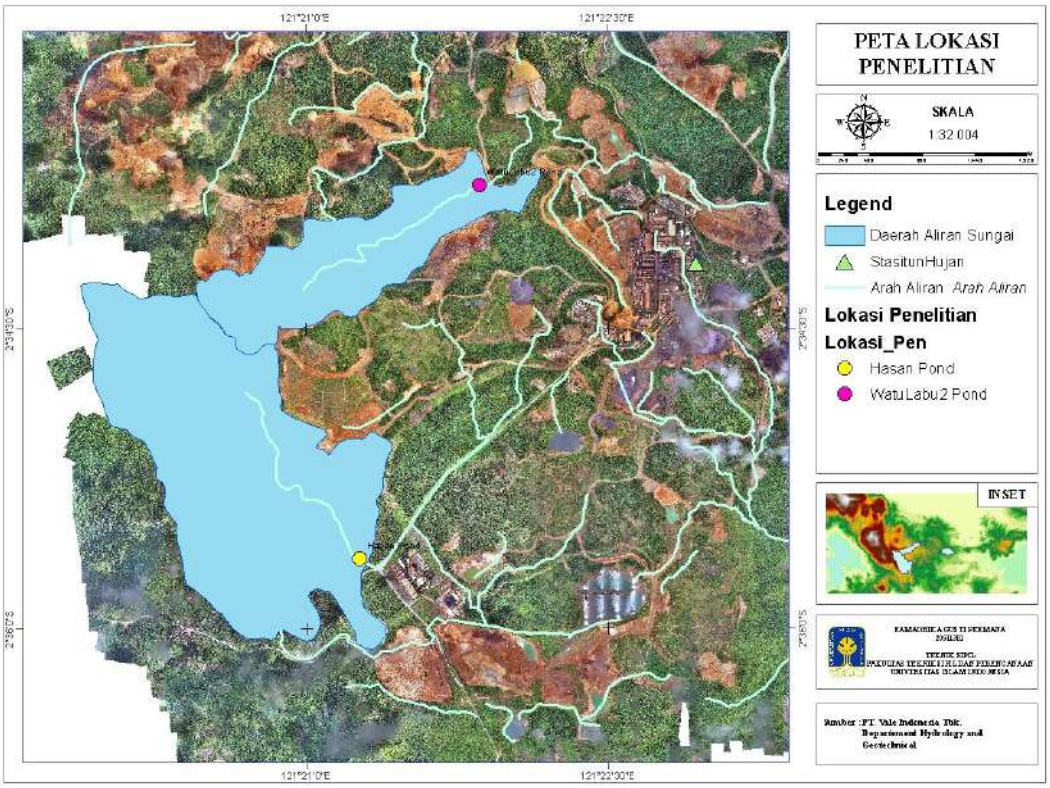
Kesalahan dalam pengukuran merupakan penyimpangan antara nilai hasil pengamatan dengan nilai sebenarnya. Arikunto (2002) menjelaskan bahwa data penelitian merupakan kumpulan fakta dan angka yang harus akurat agar dapat digunakan sebagai dasar pengambilan kesimpulan. Dalam konteks pengujian, salah satu indikator ketelitian adalah kesalahan relatif (*relative error*). Kesalahan relatif merupakan besar penyimpangan hasil pengukuran dibandingkan nilai sebenarnya dalam bentuk persen. Menurut Taylor (1997), kesalahan relatif digunakan untuk menilai seberapa baik suatu data dapat dipercaya dalam konteks eksperimen. Semakin besar nilai kesalahan relatif maka semakin salah perhitungannya, maka hasil kesalahan relatif yang baik maka yang mendekati 0%. Berikut merupakan rumus kesalahan relatif bisa dilihat pada persamaan 3.7.

$$\text{Kesalahan Relatif}(\%) = \left(\frac{\text{Data Aktual} - \text{Hasil Perhitungan}}{\text{Data Aktual}}\right) x\ 100 \qquad (3.7)$$

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Luas wilayah area blok pertambangan sorowako sebesar 30,908 Ha. Secara administratif, lokasi penelitian berada di Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Sedangkan secara astronomis terletak pada koordinat 2° 33’0.00” LS - 2 ° 34’30” LS dan 121 ° 20’30’’ BT - 121 ° 21’30’’ BT. Adapun Peta lokasi penelitian yang akan dilakukan ditunjukan pada Gambar 4. 1.



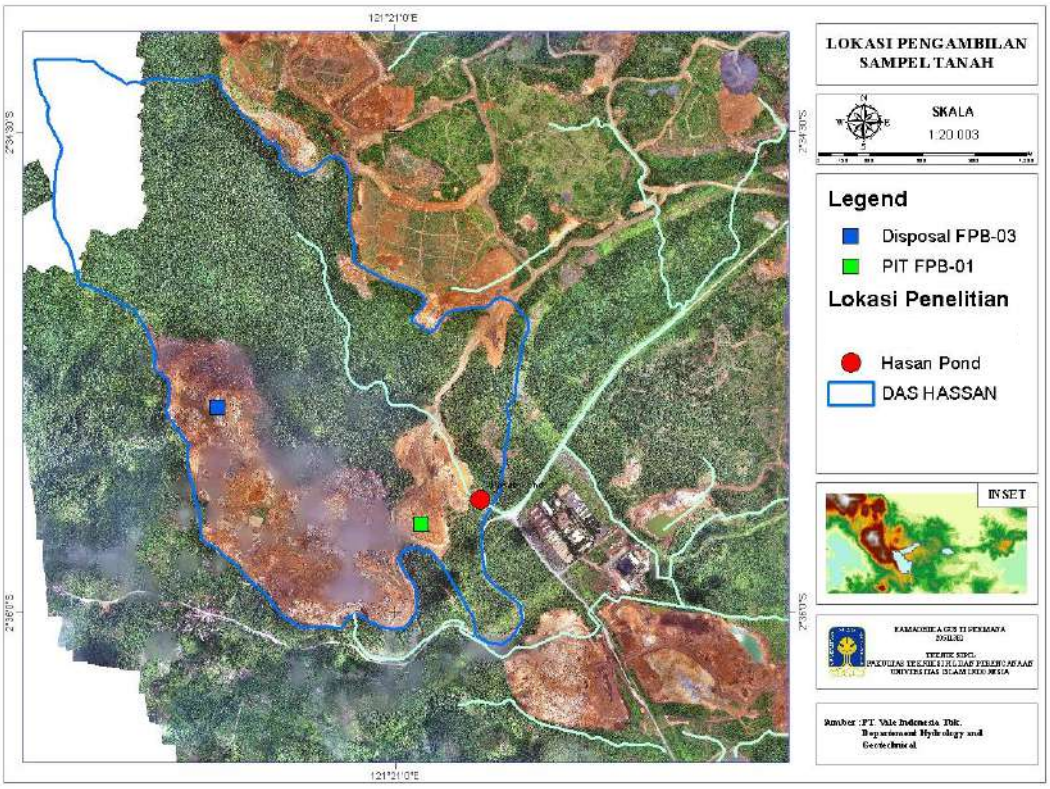
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian

4.2 Data penelitian

Data penelitian merupakan kumpulan fakta dan angka yang digunakan sebagai bahan dasar dalam penelitian (Arikunto, 2002). Data penelitian ini bersumber dari data primer dan sekunder.

4.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti dari sumber pertama atau langsung dari objek penelitian (Sugiyono, 2018). Sehingga data ini lebih relevan dan sesuai dengan kebutuhan spesifik penelitian. Data primer pada penelitian ini berupa sampel tanah yang diambil di area lahan pertambangan yang mengarah ke *sediment pond* yang berada di blok pertambangan Sorowako PT Vale. Data ini gunakan untuk mencari *grainsize* pada lokasi yang akan diteliti. Lokasi pengambilan sampel bisa dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

4.2.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber yang telah ada sebelumnya, seperti laporan penelitian, data statistik, publikasi, dan dokumen lainnya. Data sekunder biasanya dikumpulkan oleh pihak lain dan digunakan oleh peneliti untuk keperluan penelitian yang berbeda (Sugiyono, 2018). Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari departemen hidrologi dan geoteknik PT Vale. meliputi :

1. Data kemiringan lereng berupa data kemiringan lereng pada DAS yang akan diteliti. Data tersebut diolah menggunakan aplikasi Qgis sehingga mendapatkan parameter faktor panjang lereng (L) dan kemeringan lereng (S).
2. Data hidrologi yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum pada tahun 2024.
3. Data tata guna lahan yaitu berupa foto udara di ambil langsung menggunakan drone pada tahun 2024. Diolah menggunakan aplikasi Qgis sehingga terdapat pembagian tata guna lahan pada area yang diteliti yaitu faktor tutupan lahan (C) dan konservasi lahan (P).
4. Data ukuran partikel berupa data persentase ukuran debu, pasir sangat halus dan liat. Data tersebut digunakan sebagai parameter untuk mencari faktor *erodibilitas* tanah (K).
5. Data historis volume sedimen yaitu berupa data penumpukan sedimen akibat erosi lahan secara berkala di lokasi *sediment pond* yang akan diteliti pada tahun 2024 sebagai kalibrasi dengan hasil yang akan dianalisis.

4.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses tahapan yang teratur dilakukan untuk memperoleh seluruh sumber informasi yang diperlukan dalam penelitian (Sugiyono ,2018). Metode pengumpulan data sendiri terdapat 2 jenis yaitu pengambilan data primer dan pengambilan data sekunder. Berikut merupakan penjelasan jenis-jenis pengumpulan data.

4.3.3 Data primer

Data primer merupakan data yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti dari sumber pertama atau langsung dari objek penelitian. Sehingga data ini lebih relevan dan sesuai dengan kebutuhan spesifik penelitian. Data ini diperoleh melalui metode pengumpulan data yang dilakukan secara langsung oleh peneliti. Data primer pada penelitian ini diambil langsung oleh peneliti di lokasi penelitian berupa sampel tanah untuk mendapatkan parameter berupa gradasi butir.

4.3.4 Data sekunder

Data sekunder yakni data yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Pengambilan data sekunder diperoleh berdasarkan acuan dan literatur yang dikumpulkan dan berhubungan dengan materi penelitian. jurnal ilmiah yang berhubungan dengan penelitian. Data sekunder untuk penelitian ini dikumpulkan dari departemen hidrologi dan geoteknik PT. Vale.

4.4 Analisis Data

Analisis data adalah teknik atau prosedur yang digunakan untuk memproses dan menginterpretasi data dengan tujuan untuk menarik kesimpulan, mengidentifikasi pola, dan membuat keputusan berdasarkan informasi tersebut. Metode ini dapat bervariasi tergantung pada jenis data, tujuan analisis, dan bidang studi. Tahapan analisis data pada penelitian ini meliputi.

4.4.1 Analisis data menggunakan metode analitik

Perhitungan analitik erosi sedimen dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan parameter-parameter yang digunakan untuk perhitungan metode analitik. Parameternya yaitu Debit puncak (Qp), Volume Aliran Permukaan (Vq), faktor erodibilitas tanah (K), Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS), faktor tutupan lahan (C) dan faktor konservasi lahan (P).
2. Memilih metode perumusan erosi lahan dengan pertimbangan ketersediaan data dan kesesuaian kondisi yaitu metode *MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation)*.

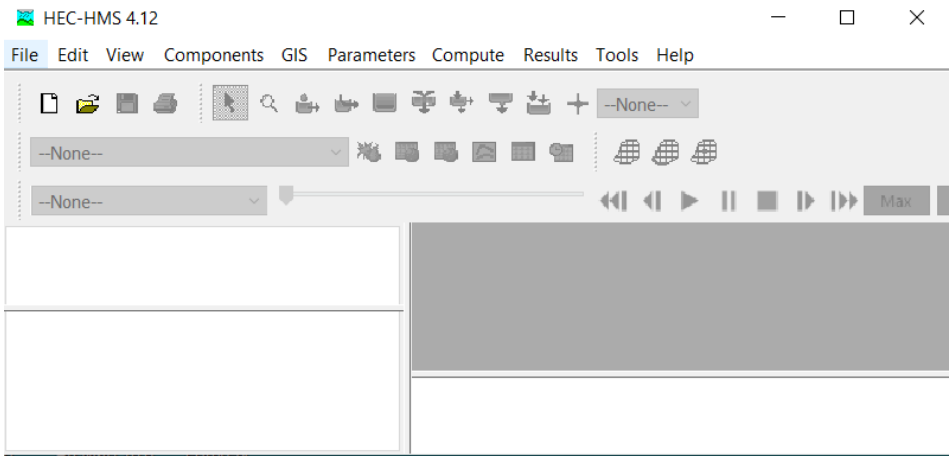
3. Menghitung erosi lahan sesuai dengan metode *MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation).*

4.4.2 Analisis data menggunakan aplikasi HEC-HMS

Pemodelan erosi lahan pada area blok pertambangan Sorowako PT Vale dengan menggunakan *HEC-HMS* dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Tampilan Awal HEC-HMS

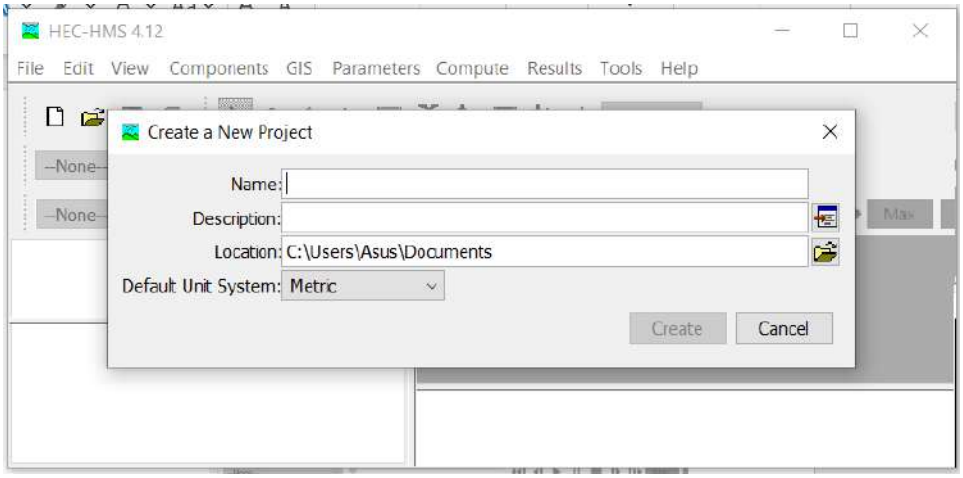
Tampilan awal pada HEC-HMS seperti yang dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Tampilan Awal HEC-HMS

2. Pembuatan *File Project*

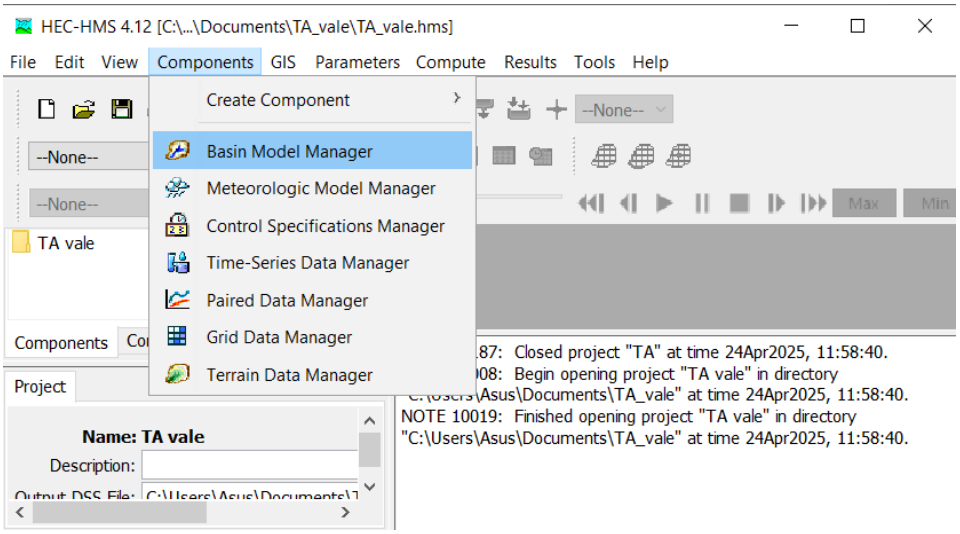
Langkah pertama pilih *File-new project*. Lalu pilih *Default unit system* ke satuan metric untuk satuan internasional. Dan beri nama file yang akan digunakan seperti terlihat pada Gambar 4.4.



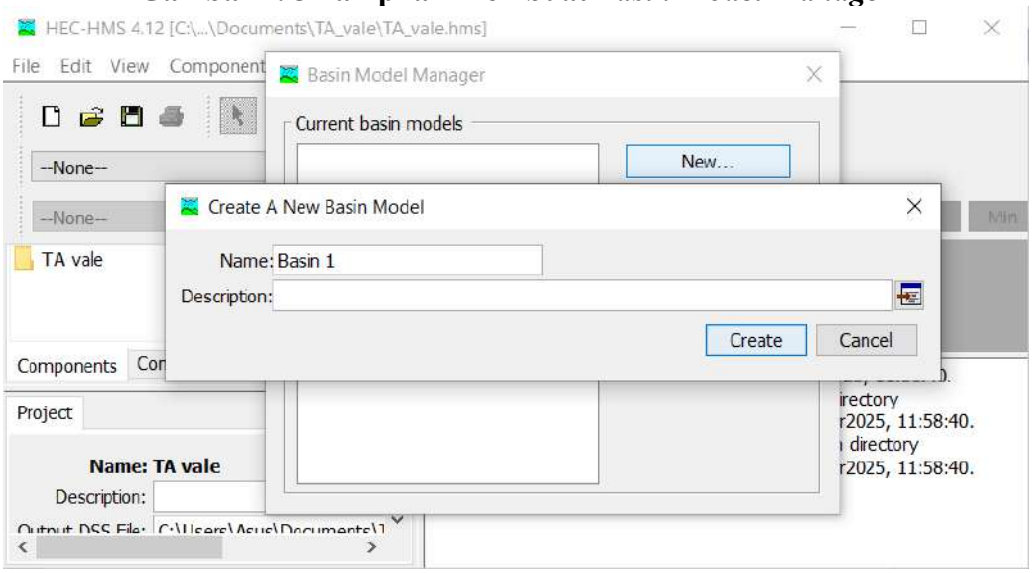
Gambar 4. 4 Tampilan Pembuatan *File Project*

3. Membuat *Basin Model Manager*

Pilih *components* pada tampilan awal HEC-HMS lalu pilih *Basin Model Manager* lalu beri nama file lalu pilih *create* ditunjukan oleh Gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4. 5 Tampilan Membuat *Basin Model Manager*

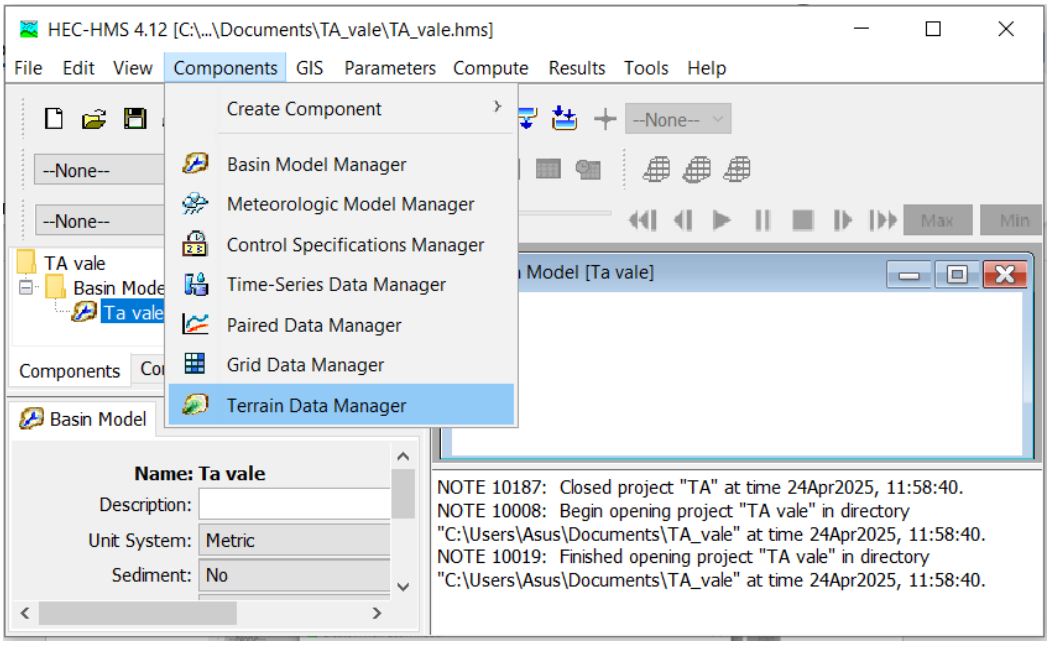


Gambar 4. 6 Tampilan penamaan *Basin Model manager*

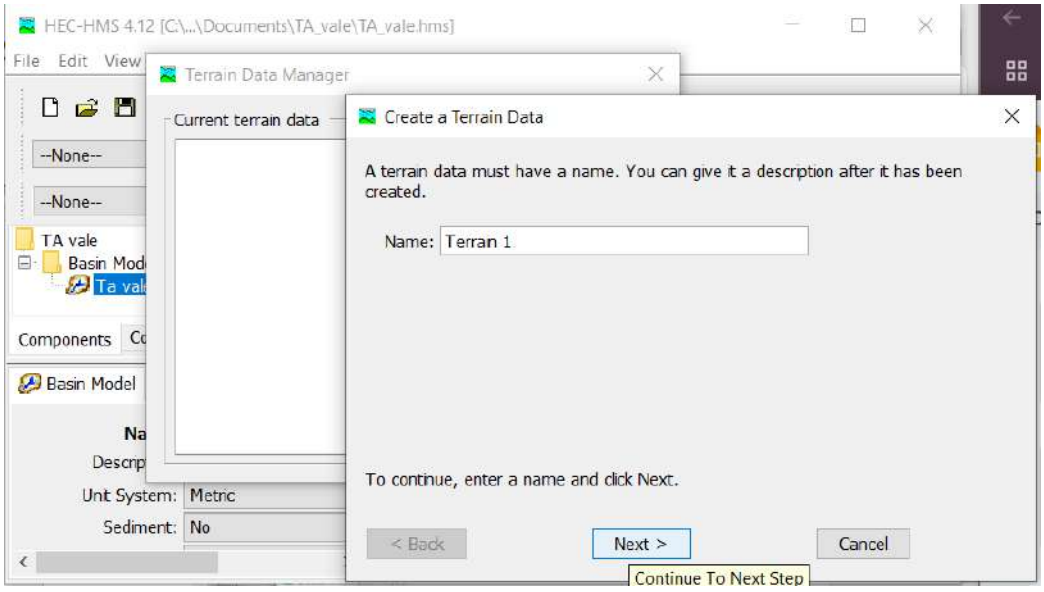
4. Membuat *Terrain data manager*

Pilih pada *components tab* lalu pilih *Terrain data manager*. masukan nama *file terrain data manager* lalu pilih *next*, masukan *file* DEM yang sudah di olah

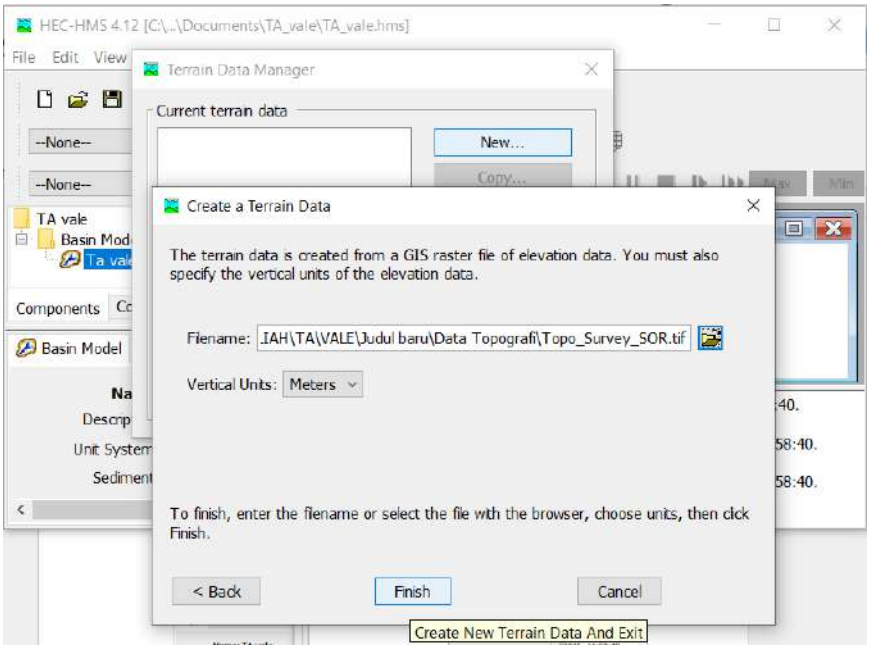
pada aplikasi Qgis sebelumnya dalam bentuk *file* tif dan pastikan pada kolom *vertical units* adalah meter bisa dilihat pada Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9.



Gambar 4. 7 Tampilan *Terrain Data Manager*



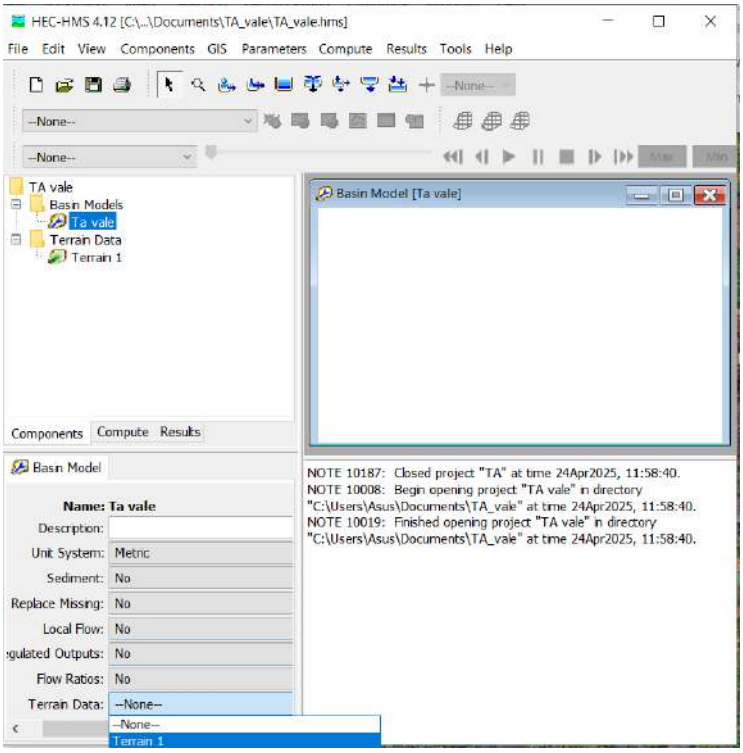
Gambar 4. 8 Tampilan Penamaan *Terrain Data Manager*



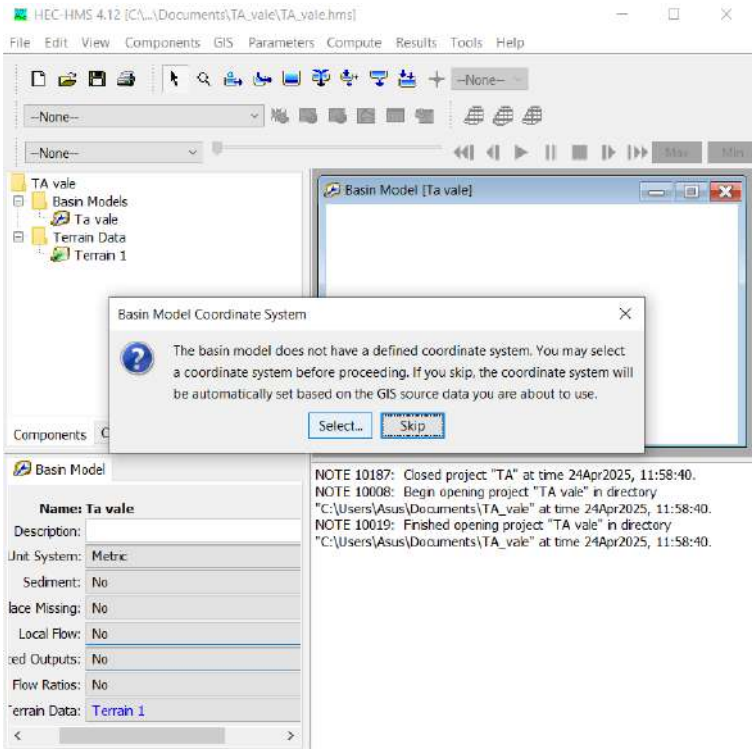
Gambar 4. 9 Tampilan *Terrain Data Manager* Untuk Mengatur *Vertical Units*

5. Mengatur koordinat sistem

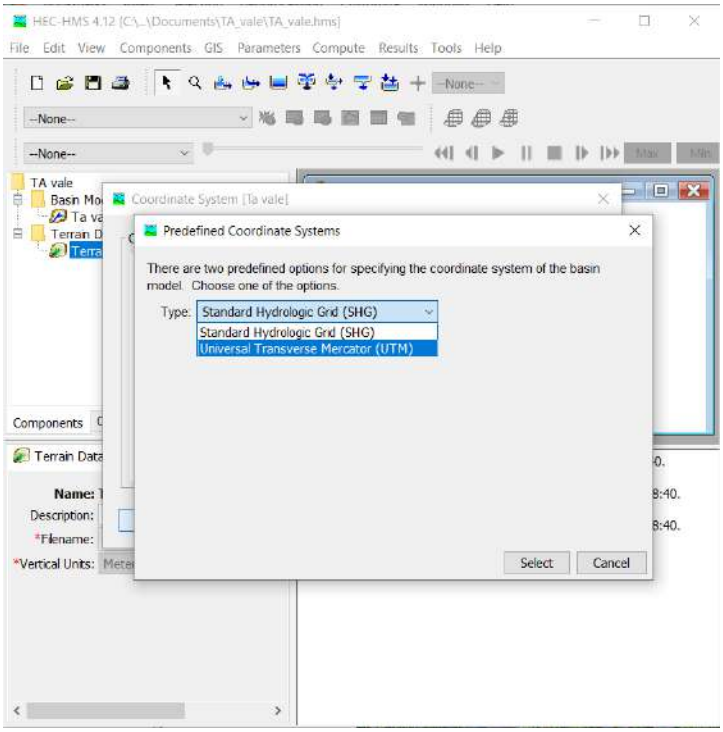
Hubungkan basin model yang dibuat dengan data DEM yang telah di masukan, lalu pilih *select* untuk mengatur koordinat lokasi berdasarkan zona wilayahnya, dilanjutkan dengan pilih *type* pada *predefined coordinate system* dengan memilih *Universal Transverse Mercator* (UTM). Pilih UTM *Zone* dengan 51, *hemisphere* dengan *southern* dan Datum dengan WGS 84. Setelah diprojeksikan koordinat wilayah akan terlihat data dem pada HEC-HMS tersebut yang ditunjukan pada Gambar 4.10., 4.11, 4.12, 4.13 dan 4.14.



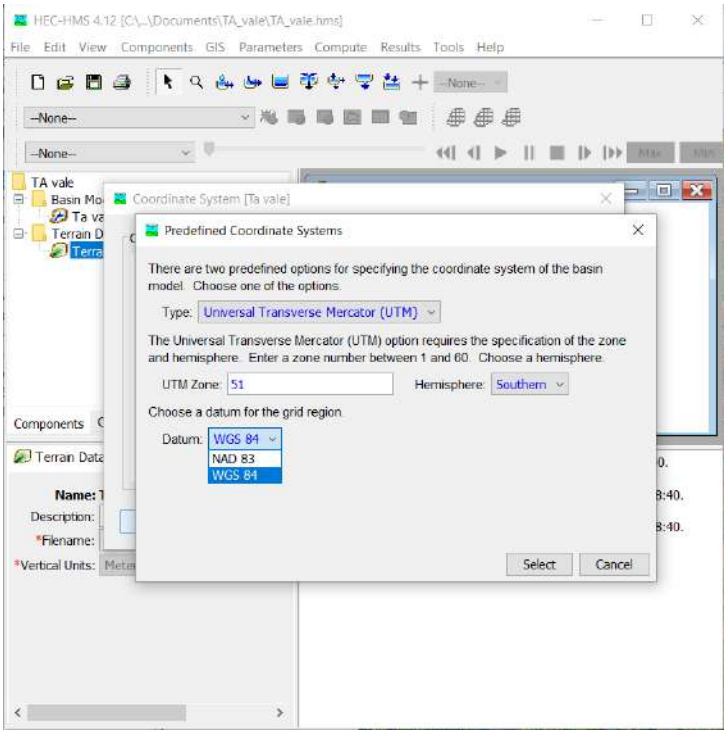
Gambar 4. 10 Tampilan *Setting* HEC-HMS Untuk Menghubungkan *Subbasin* Dengan *Terrain* Yang Sudah Dibuat



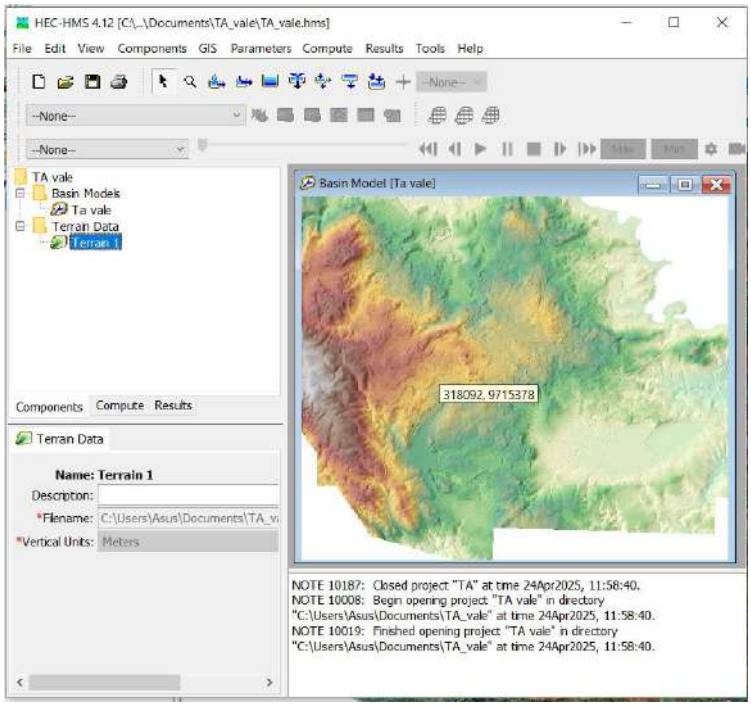
Gambar 4. 11 Tampilan Pengaturan *Basin Model Coordinate System*



Gambar 4. 12 Tampilan Pengaturan *Type Predefined Coordinate Systems*



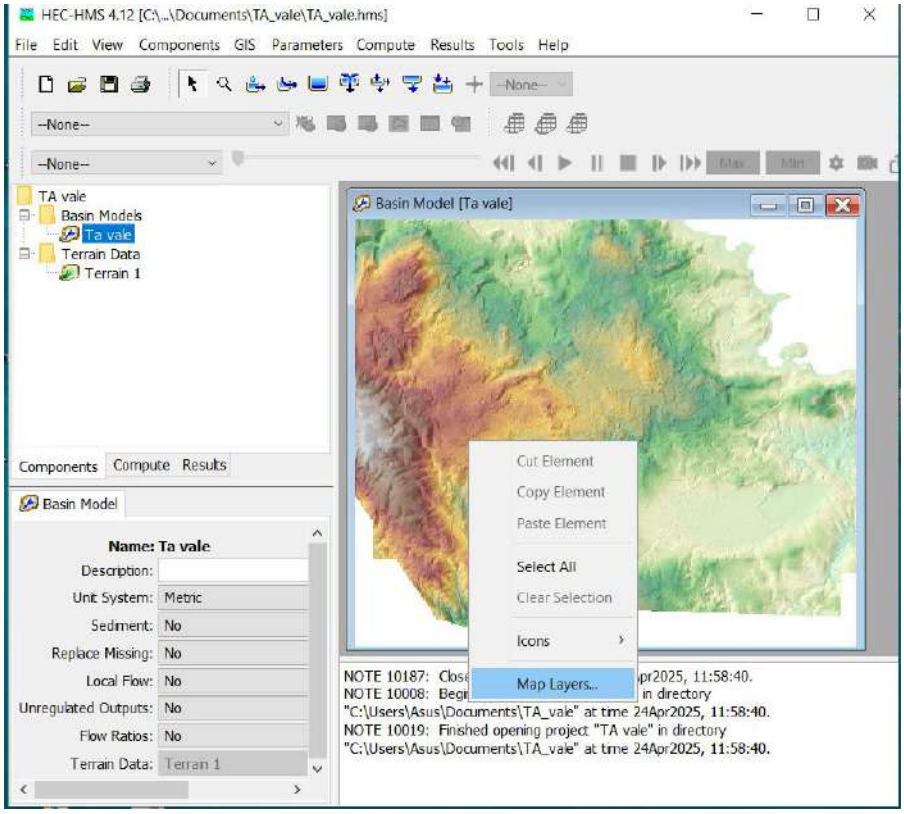
Gambar 4. 13 Tampilan Pengaturan *Predefined Coordinate Systems* untuk UTM Zone, Datum dan Hemisphere



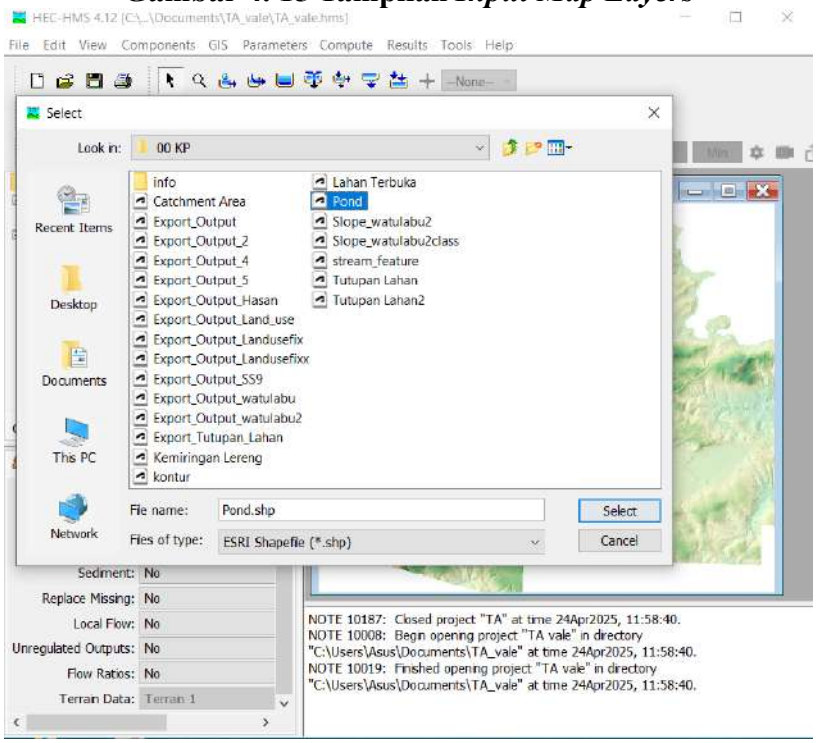
Gambar 4. 14 Hasil *Input Terrain* Yang Telah Dihubungkan Dengan *Basin Models*

6. Membuat *Subbasin* dan *Sink Creation Tool*

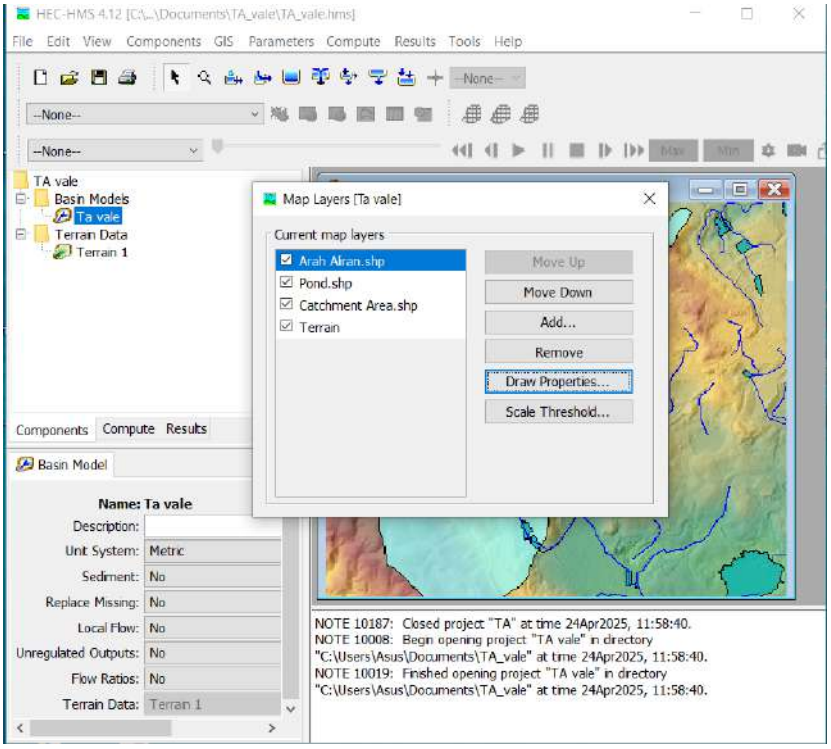
Klik kanan pada mouse di bagian gambar terrain, lalu pilih *Map Layers*, masukan layer yang dibutuhkan untuk penggambaran wilayah yang akan di teliti seperti *catchment area*, arah aliran dan *sediment pond* didapat dari pengolahan data pada aplikasi Qgis. Pilih kursor pada tab *subbasin* yang ada di tampilan HEC-HMS. Lalu klik *subbasin* tersebut pada *layer catchment* area yang sudah dimasukan sebagai representasi daerah aliran sungai lalu beri nama sesuai dengan nama catchment areanya. Pilih *cursor* pada area yang sama dengan *subbasin* yaitu dengan memilih *sink creation tool* lalu klik pada *layer pond* tersebut yang berfungsi sebagai titik akhir dari aliran atau pada penelitian ini direpresntasikan sebagai *sediment pond*. Lalu hubungkan *subbasin* dan *sink creation tool* pada *components-subbsain-downstream sink creation tool* sebagai titik akhir dari *subbasin* yang telah dibuat. Dan masukan area masing masing subbasin yang didapat pada olah data Qgis yang ditujukan pada Gambar 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20. dan 4.21.



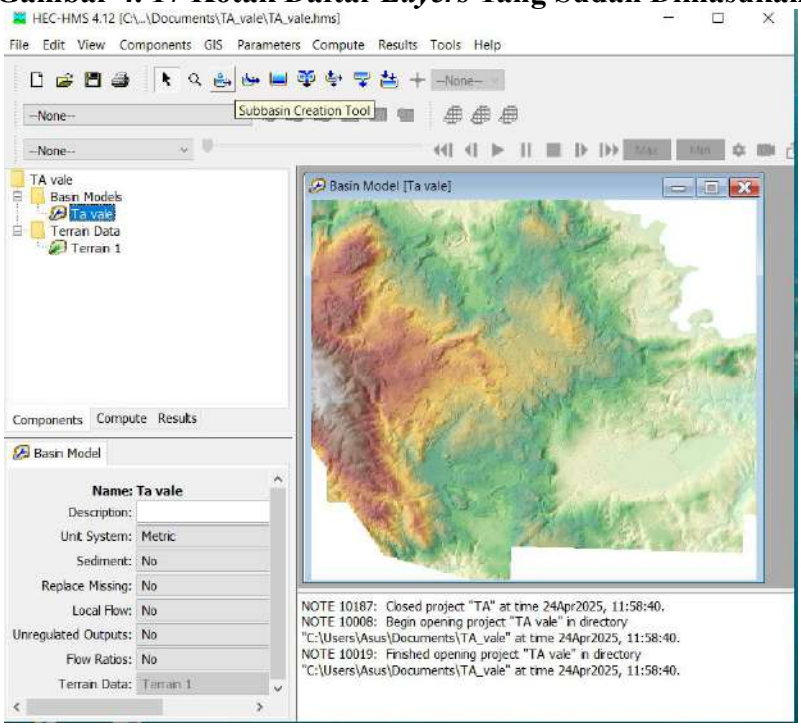
Gambar 4. 15 Tampilan *Input Map Layers*



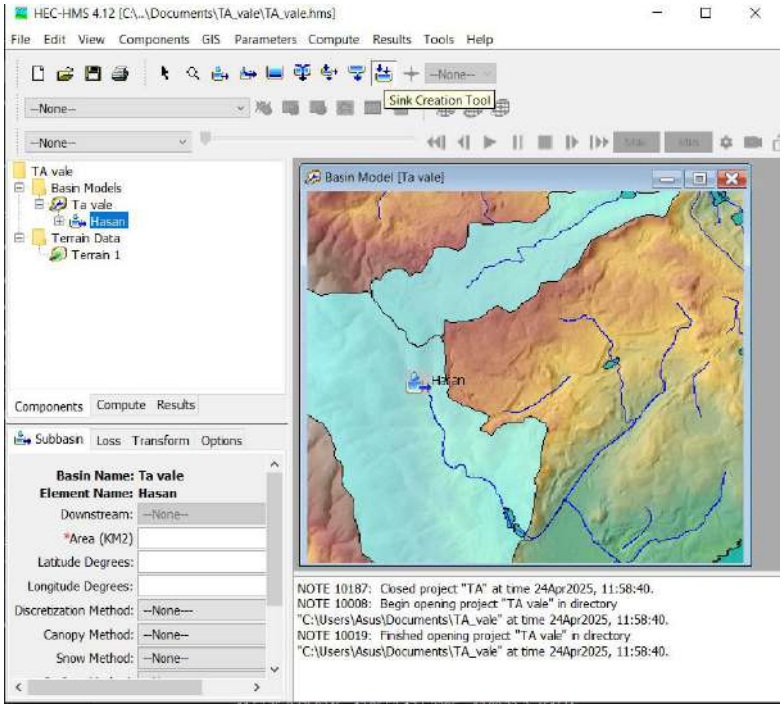
Gambar 4. 16 Tampilan Data *Layer* Yang Ingin dimasukan Pada HEC-HMS



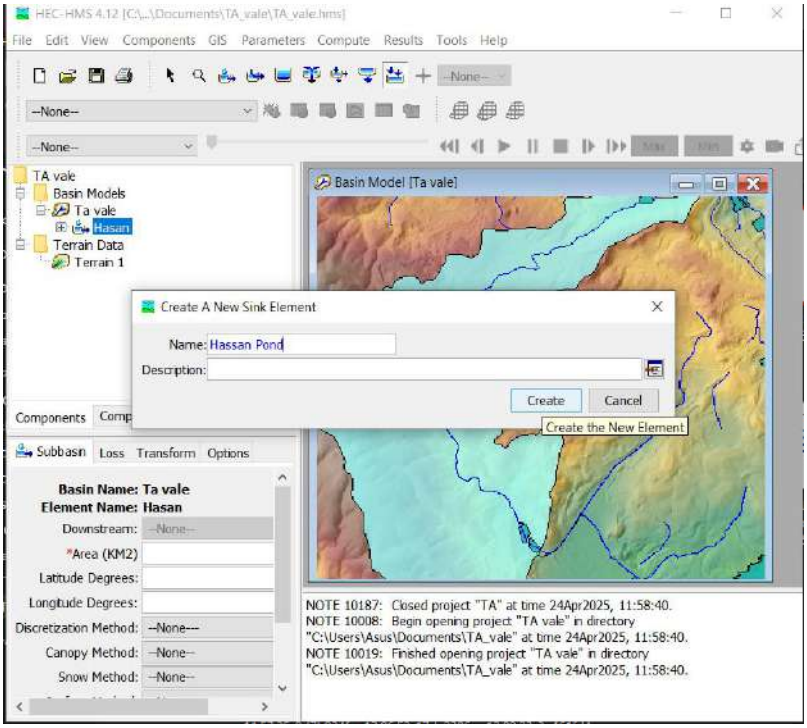
Gambar 4. 17 Kotak Daftar *Layers* Yang Sudah Dimasukan



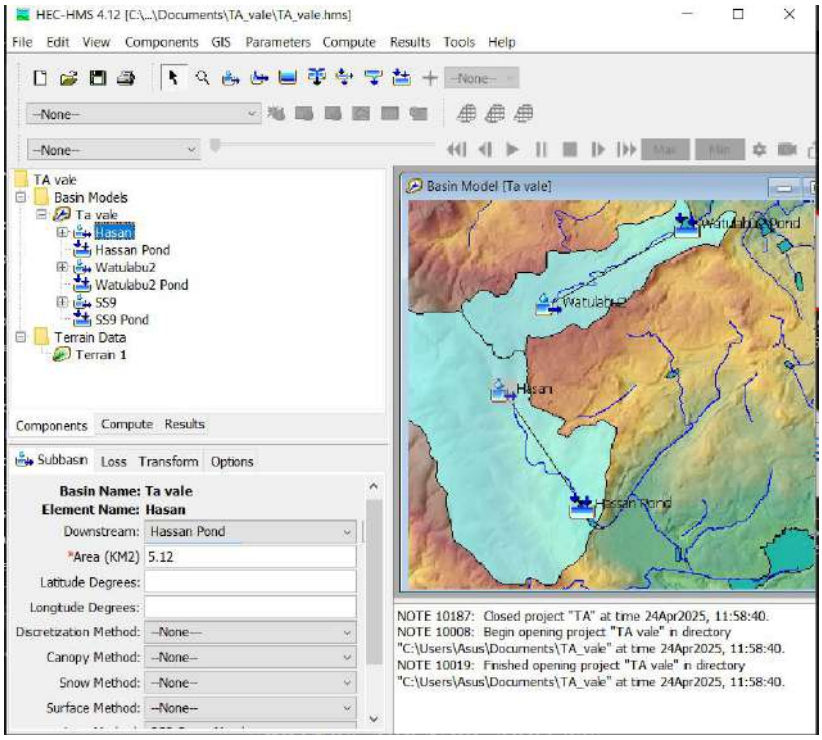
Gambar 4. 18 Tampilan HEC-HMS Untuk *Input Subbasin*



Gambar 4. 19 Tampilan HEC-HMS untuk *Input Sink Creation Tool*



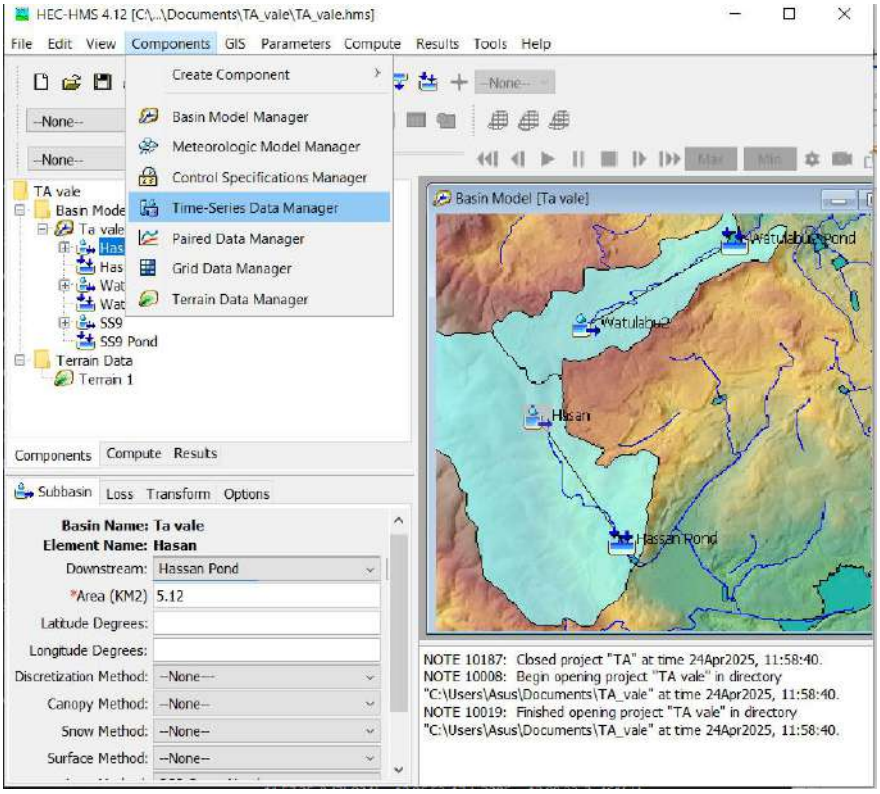
Gambar 4. 20 Tampilan Penamaan *Sink Creation Tool*



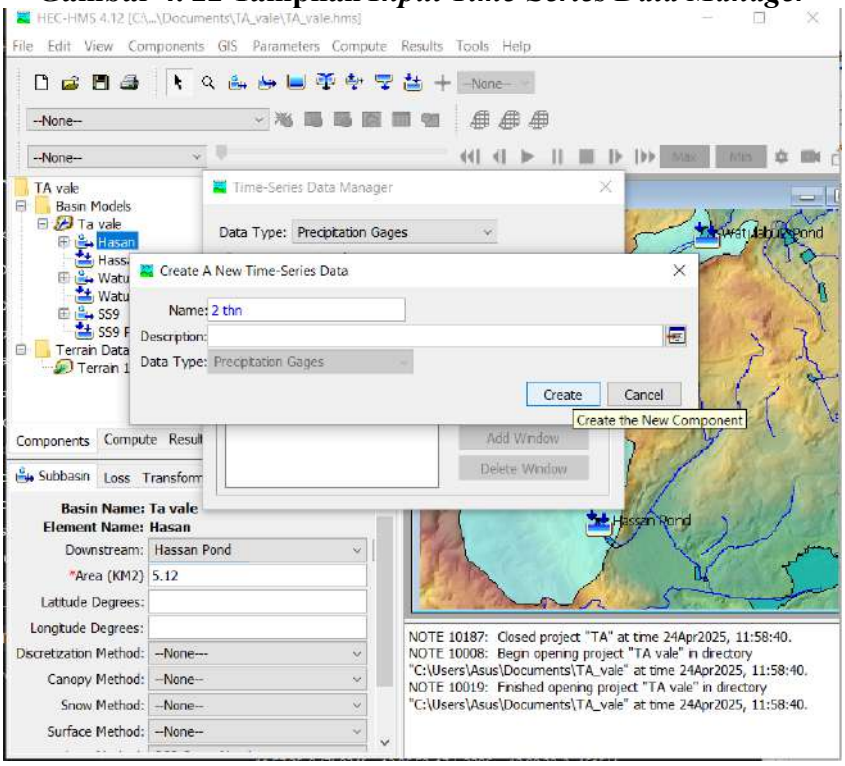
Gambar 4. 21 Tampilan Hasil *Input Layers*, *Subbasin* dan *Sink Creation Tool*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2025)

7. Pengaturan parameter hidrologi pada HEC-HMS

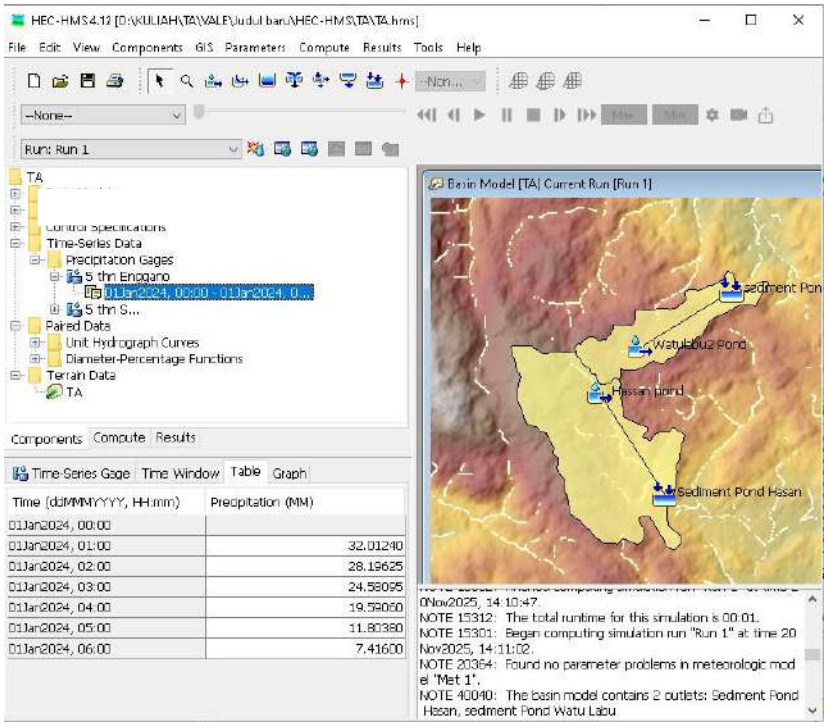
Tambahkan parameter *Time-Series Data Manager*. *Control Speification Manager* dan *Meteorogic Model Manager* pada HEC-HMS, lalu beri nama *file* tersebut sesuai dengan kegunaannya. *Time-series data manager* berfungsi untuk memasukan debit kala ulang yang sudah diolah menjadi hujan jam-jaman. *Control Speification Manager* berfungsi untuk mengatur lamanya simulasi yang akan dilakukan. *Meteorogic Model Manager* berfungsi untuk menghubungkan antara *subbasin* dengan *Time-Series Data Manager* yang telah ditentukan. Lalu tambahkan *parameters Loss* pada HEC-HMS yang dianggap sebagai banyaknya curah hujan yang tidak langsung mengalir ke sungai, melainkan diserap tanah, menguap atau tertahan vegetasi. Lalu tambahkan juga parameters *transform* yang befungsi untuk mentransformasikan curah hujan yang berlebih menjadi aliran permukaan pada suatu *catchment area* ditunjukan pada Gambar 4.22 sampai dengan Gambar 4.34.



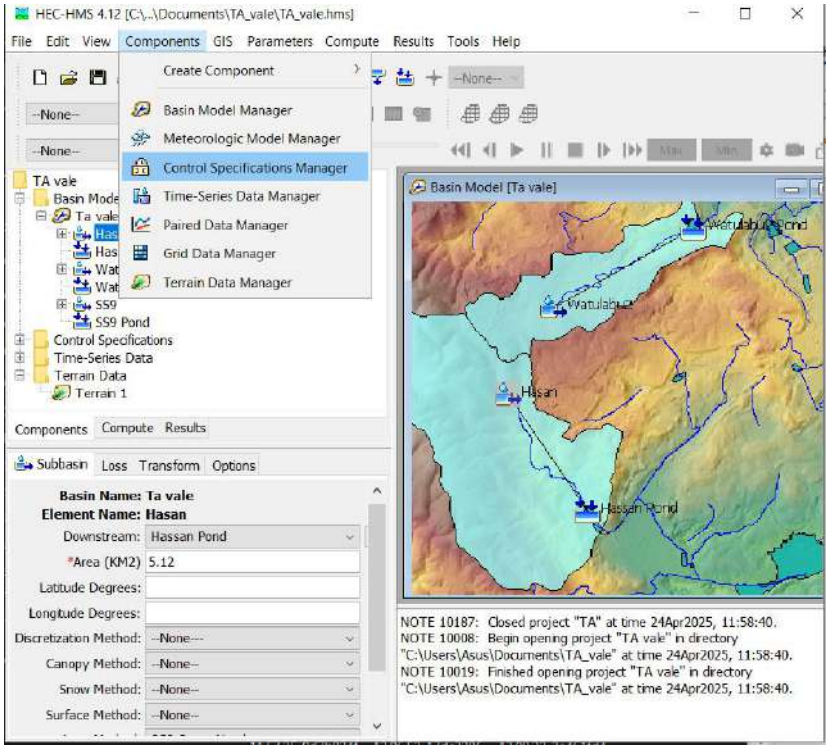
Gambar 4. 22 Tampilan *Input Time-Series Data Manager*



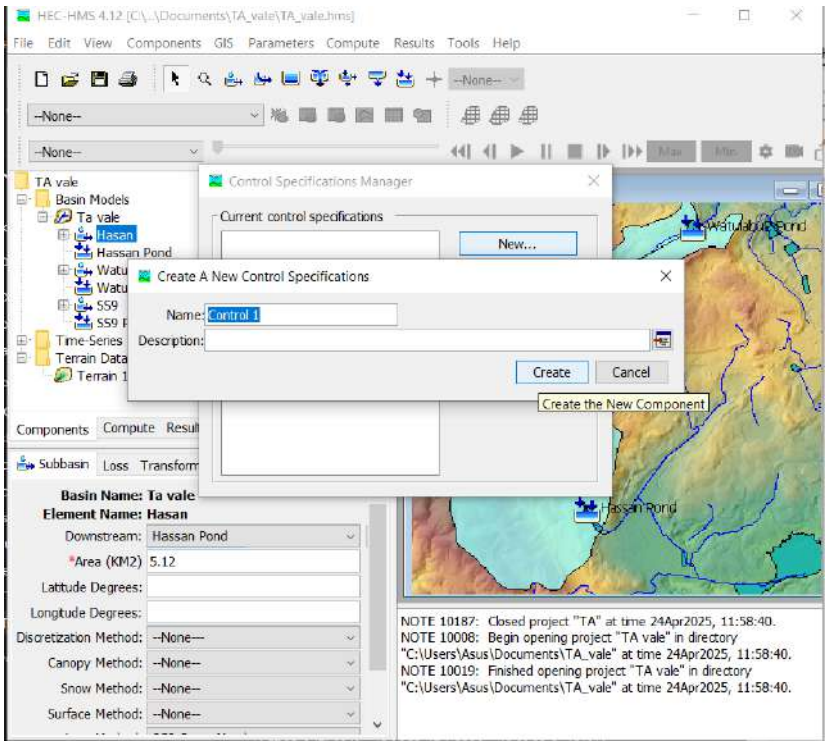
Gambar 4. 23 Penamaan *Time-Series Data Manager*



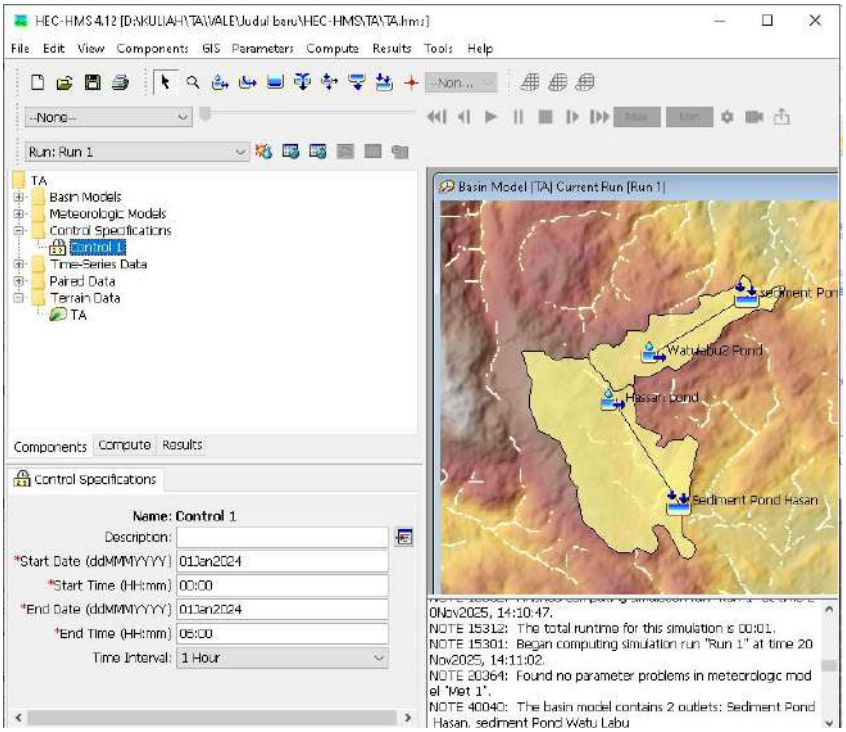
Gambar 4. 24 Kotak *Editor Table Time-Series Data Manager*



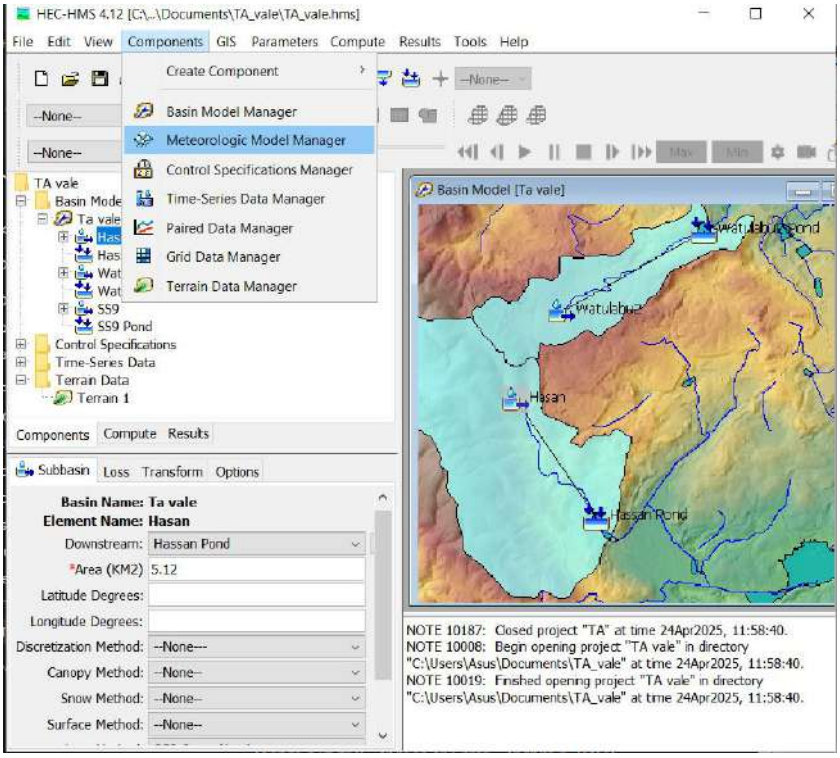
Gambar 4. 25 Tampilan *Input Control Specifications Manager*



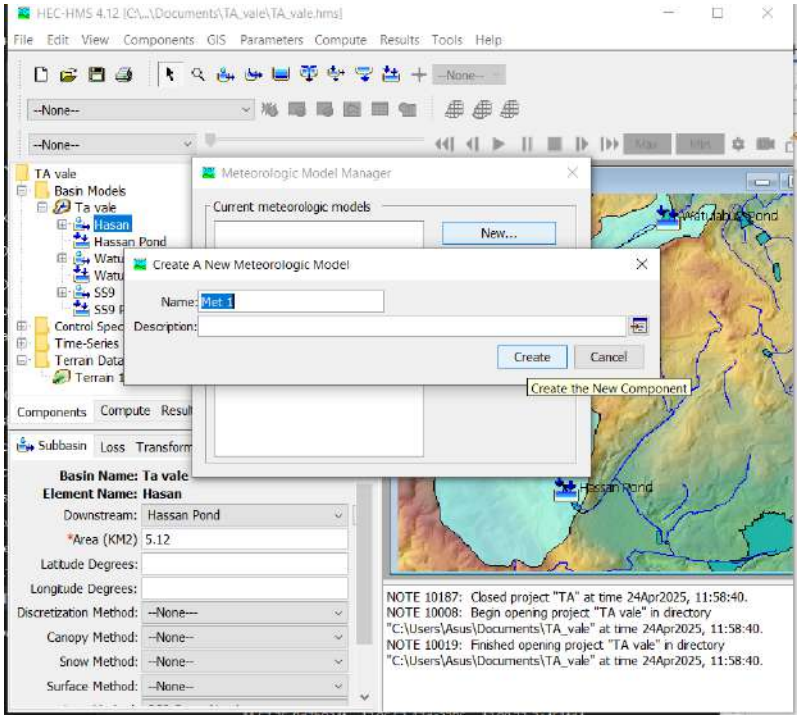
Gambar 4. 26 Tampilan Penamaan *Control Specifications Manager*



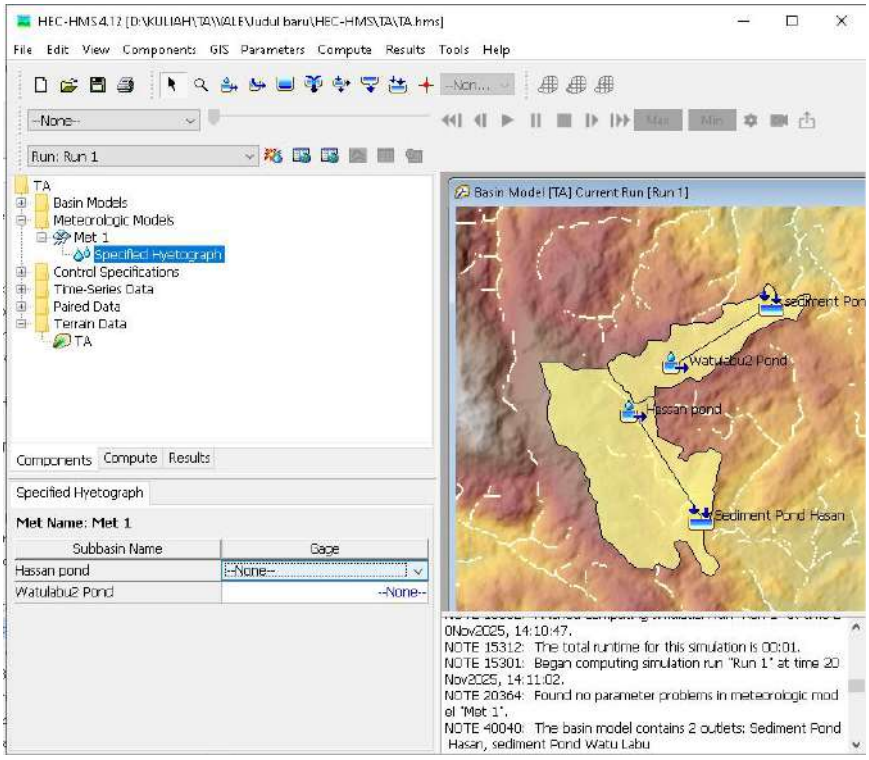
Gambar 4. 27 Kotak *Editor Control Specifications*



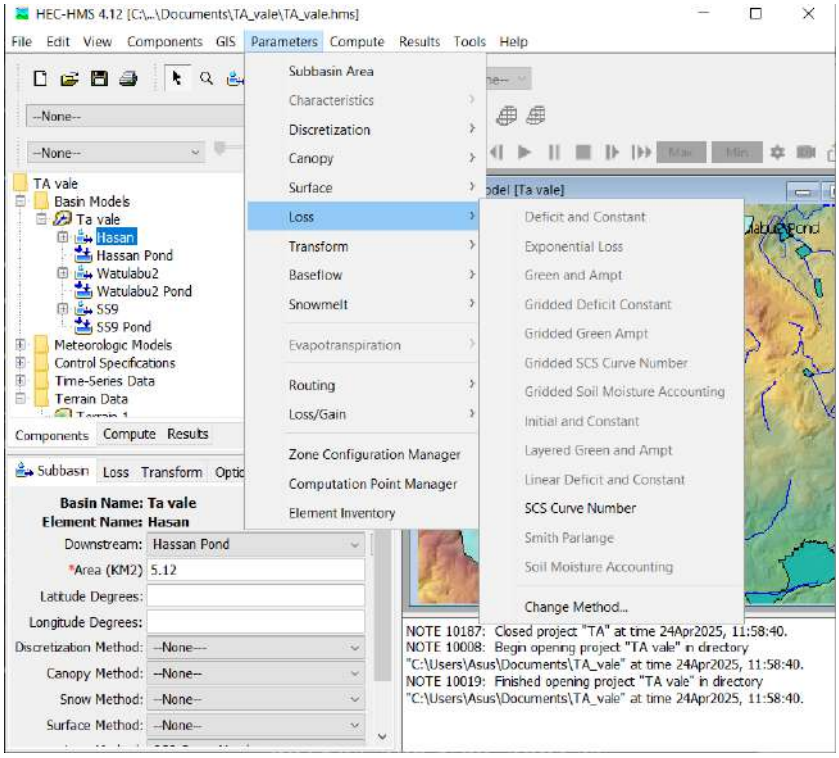
Gambar 4. 28 Tampilan *Input Meteorologic Model Manager*



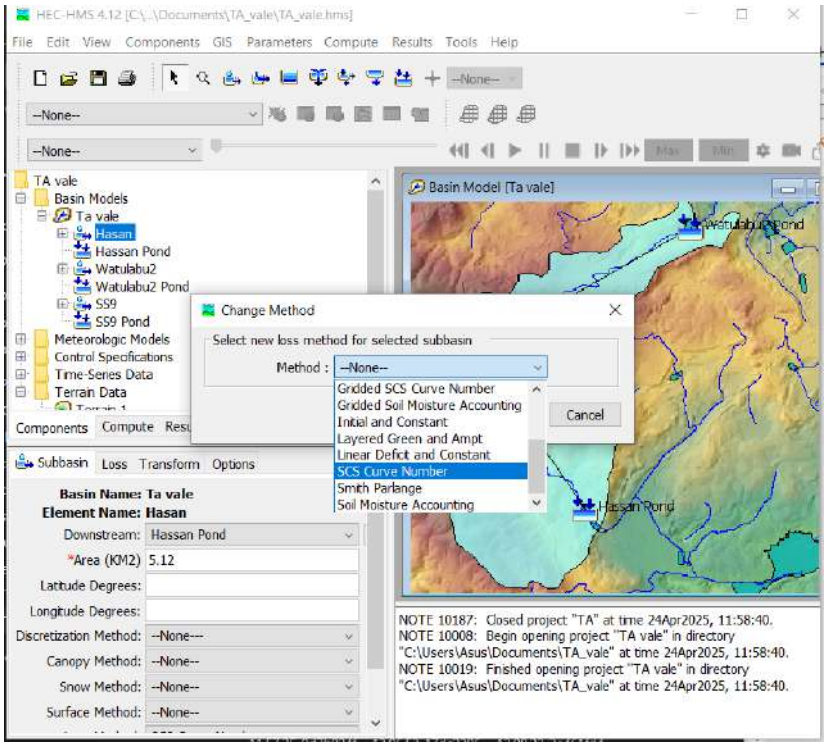
Gambar 4. 29 Tampilan Penamaan *Meteorologic Model Manager*



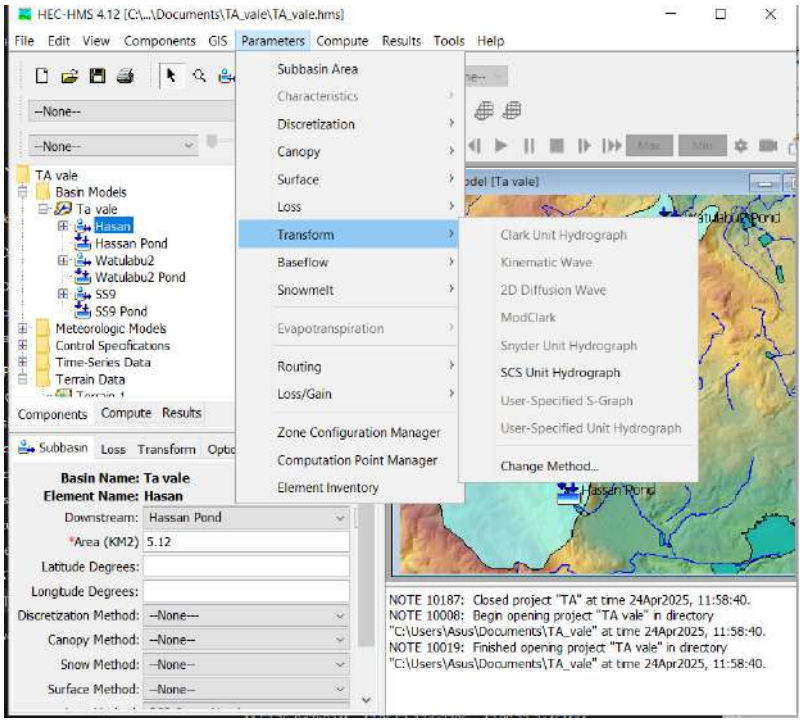
Gambar 4. 30 Kotak Editor *Specified Hyetograph* menghubungkan *Subbasin* dengan *Gage*



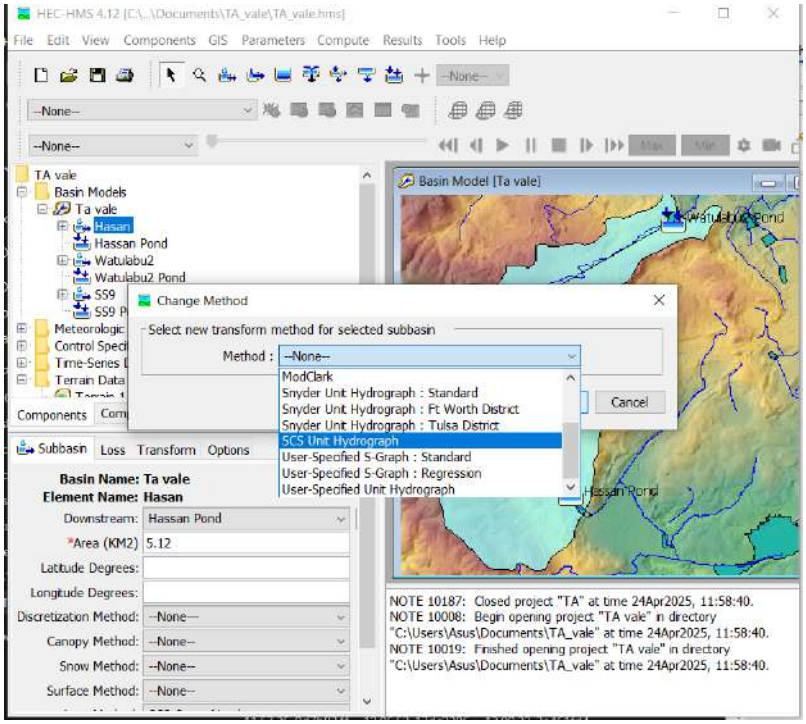
Gambar 4. 31 Tampilan Penambahan *Parameters Loss*



Gambar 4. 32 Tampilan Pemilihan Metode Untuk *Paramters Loss*



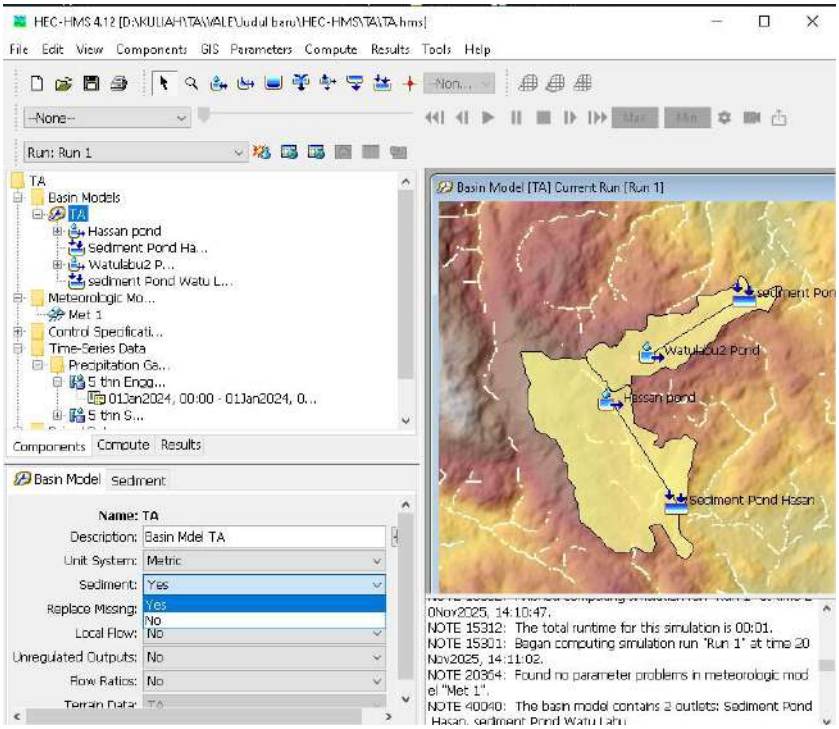
Gambar 4. 33 Tampilan *Input Parameters Transform*



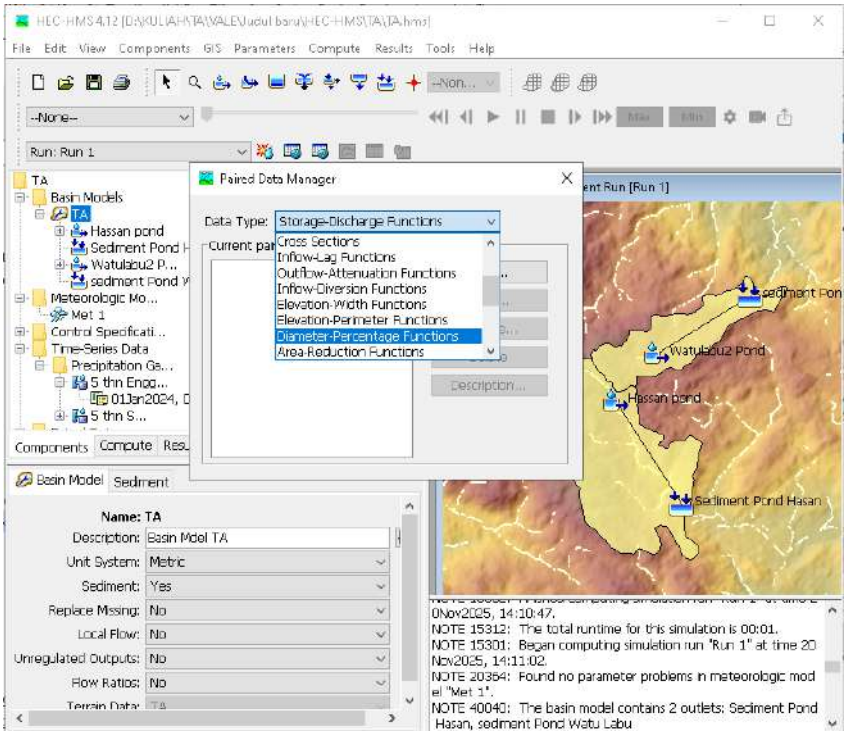
Gambar 4. 34 Tampilan Pemilihan Metode Untuk *Paramters Transform*

8. Analisis erosi lahan menggunakan metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*).

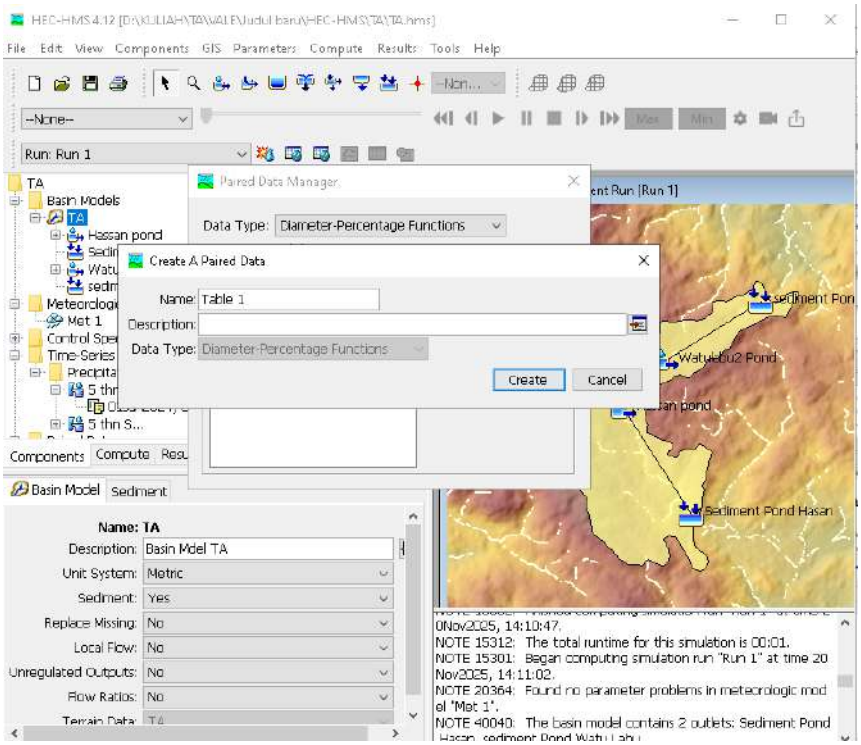
Untuk membuat analisis erosi lahan diperlukan penambahan parameters fungsi sediment pada basin model, menambahkan components yaitu paired data manager dengan data type diameter-percentage functions sebagai input gradasi butir sampel yang telah di ambil. Pada bagian subbasin dan pilih metode erosinya yaitu *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). Pada bagian *subbasin* lalu *components* dan pilih erosion masukan parameter untuk mencari erosi yaitu *erodibility factor, topographic factor, cover factor, practice faktor, threshold(m^3/s)* dan *exponent*. Untuk melihat hasil simulasi dilakukan pengaturan *simulation run manager* pada *compute*, lalu beri nama file pilih *basin model*, *meteorologic model* dan *control model*, lalu *finish* dan tunggu hingga hasil simulasi muncul pada *result* di tunjukan pada Gambar 4.35 sampai dengan Gambar 4.47.



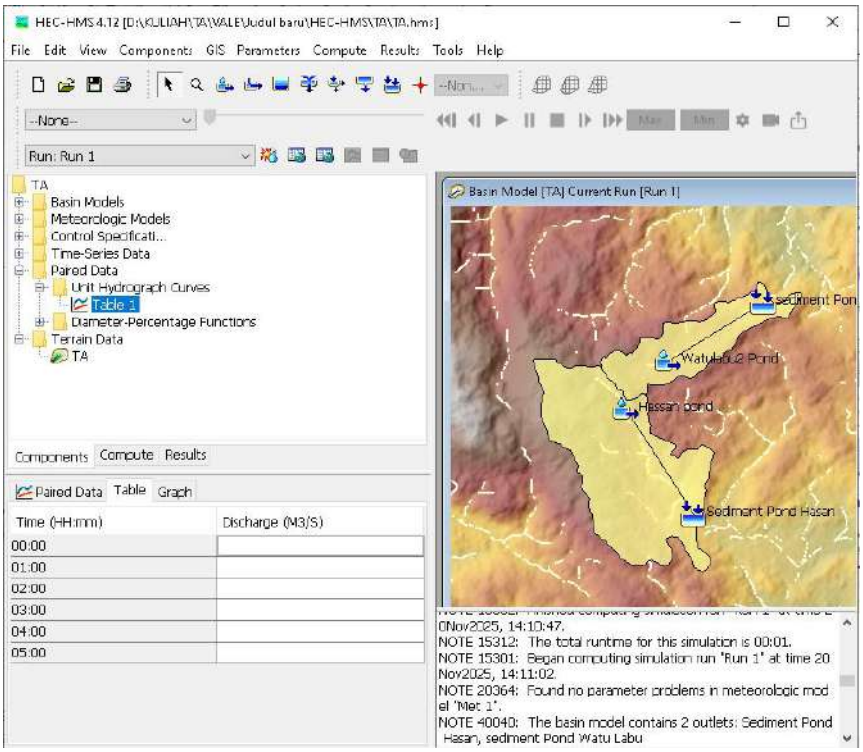
Gambar 4. 35 Tampilan *Basin Model Setting* untuk penambahan pengukuran *Sediment*



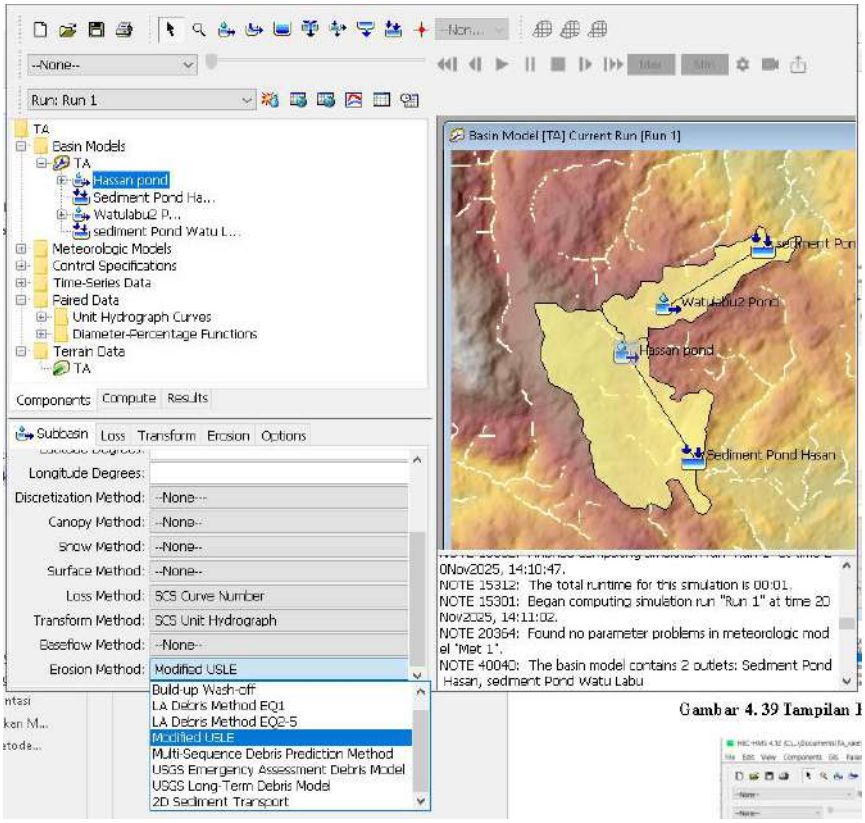
Gambar 4. 36 Tampilan *Input Diameter Percentage Functions* pada *Paired Data Manager*



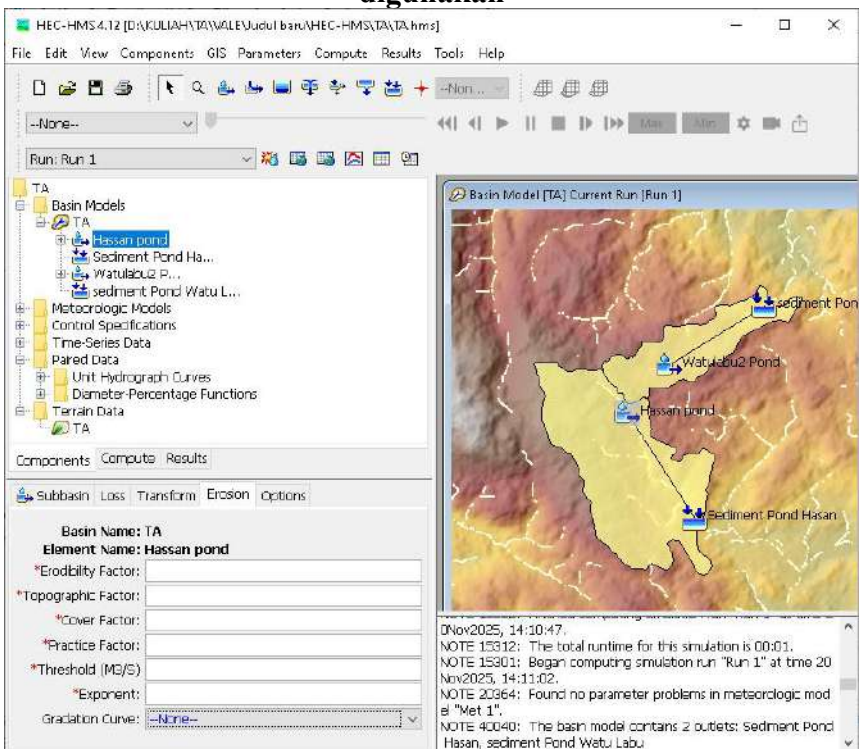
Gambar 4. 37 Penamaan *Diameter Percentage Functions* pada *Paired Data Manager*



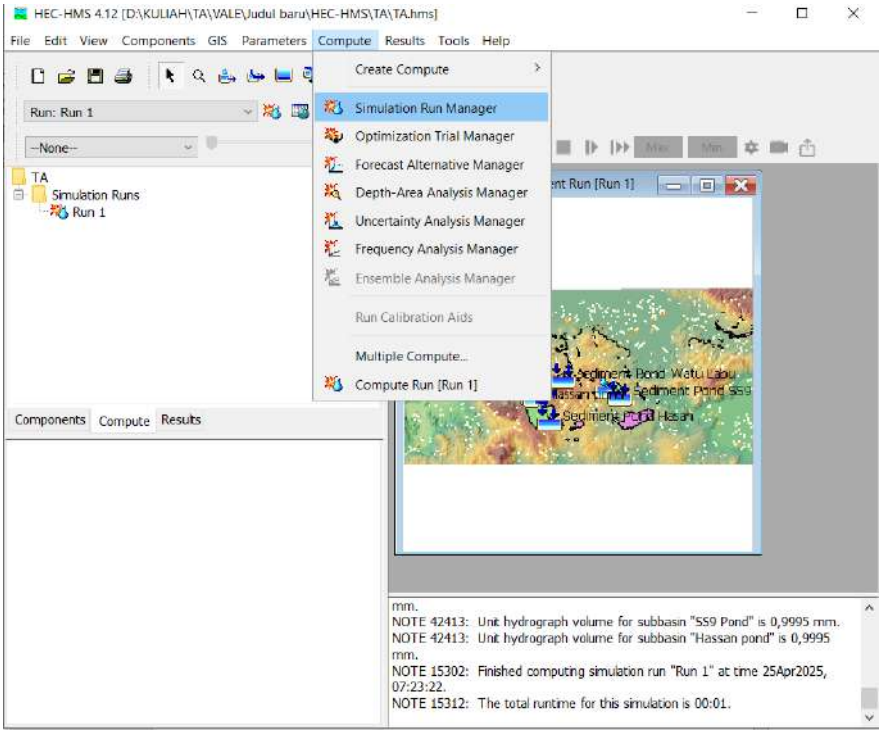
Gambar 4. 38 Kotak Editor Untuk *Input Gradasi Butir*



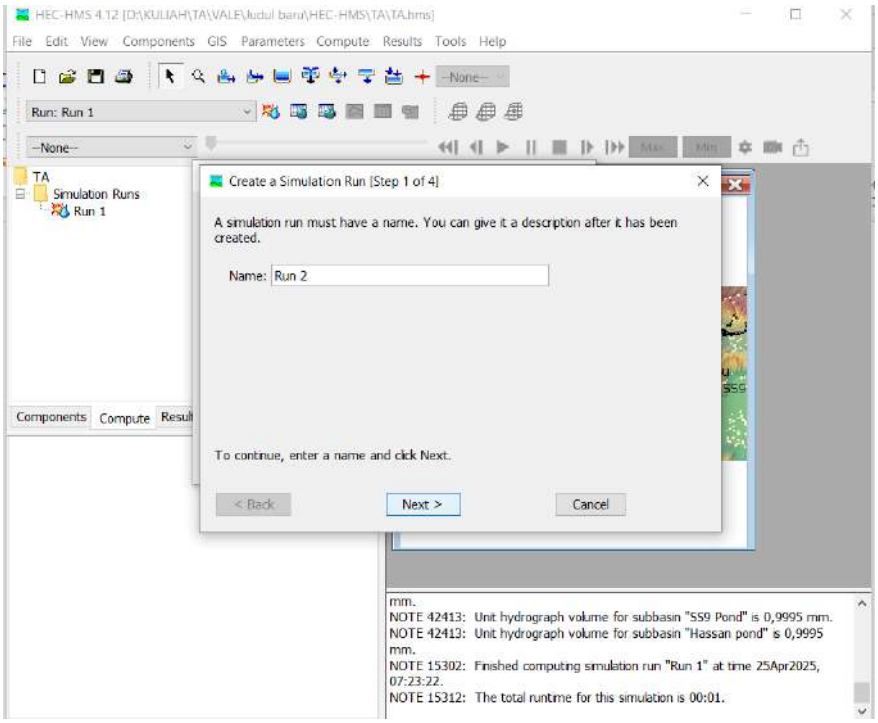
Gambar 4. 39 Tampilan HEC-HMS untuk Menentukan Metode erosi yang digunakan



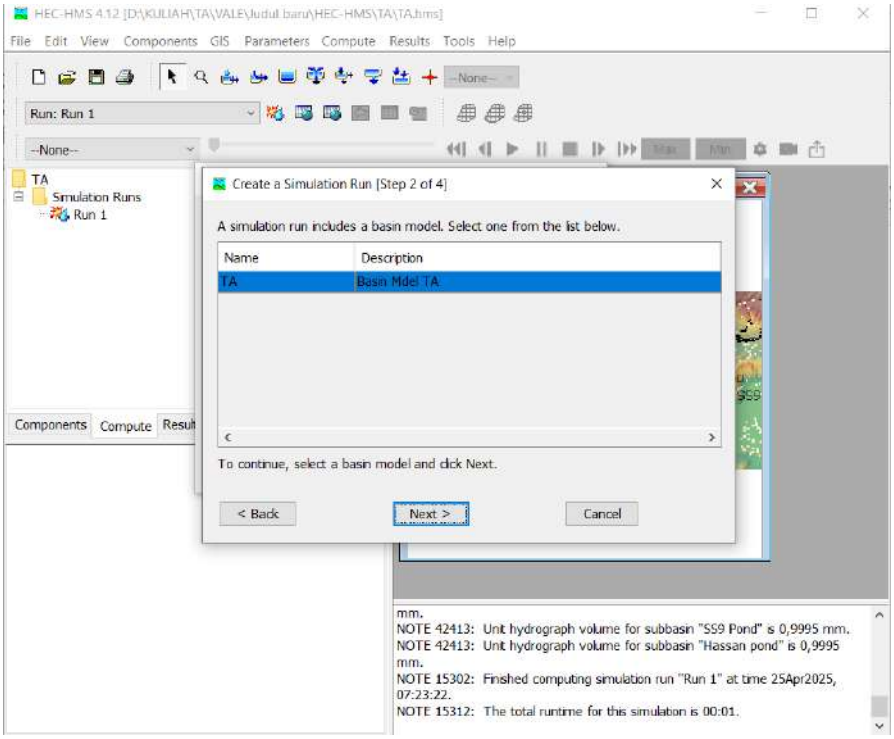
Gambar 4. 40 Kotak Editor *input parameters* Pada *Components* erosion



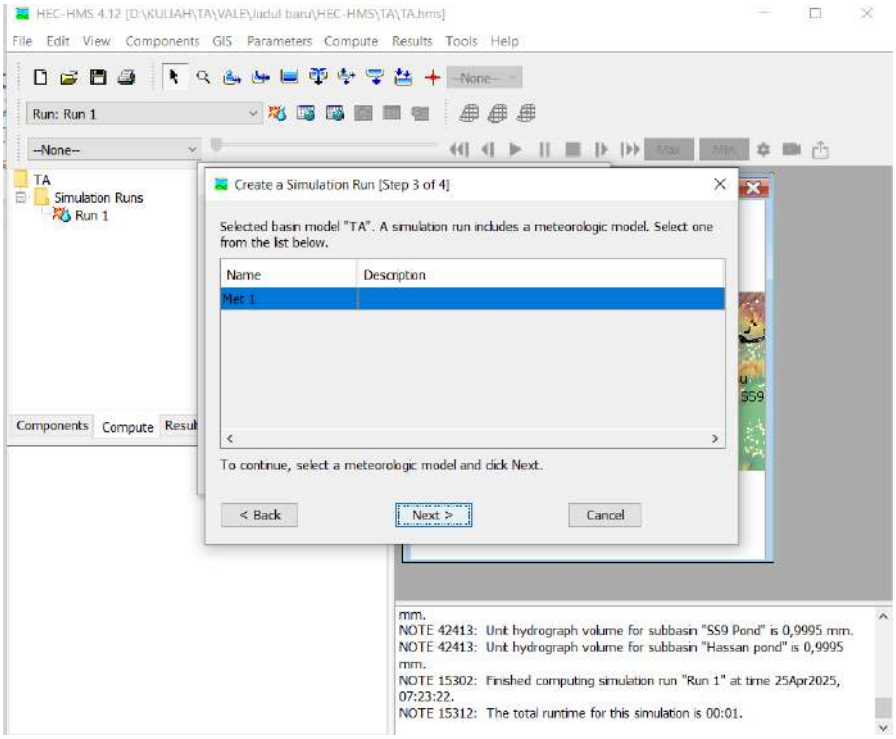
Gambar 4. 41 Tampilan untuk *Simulation Run Manager*



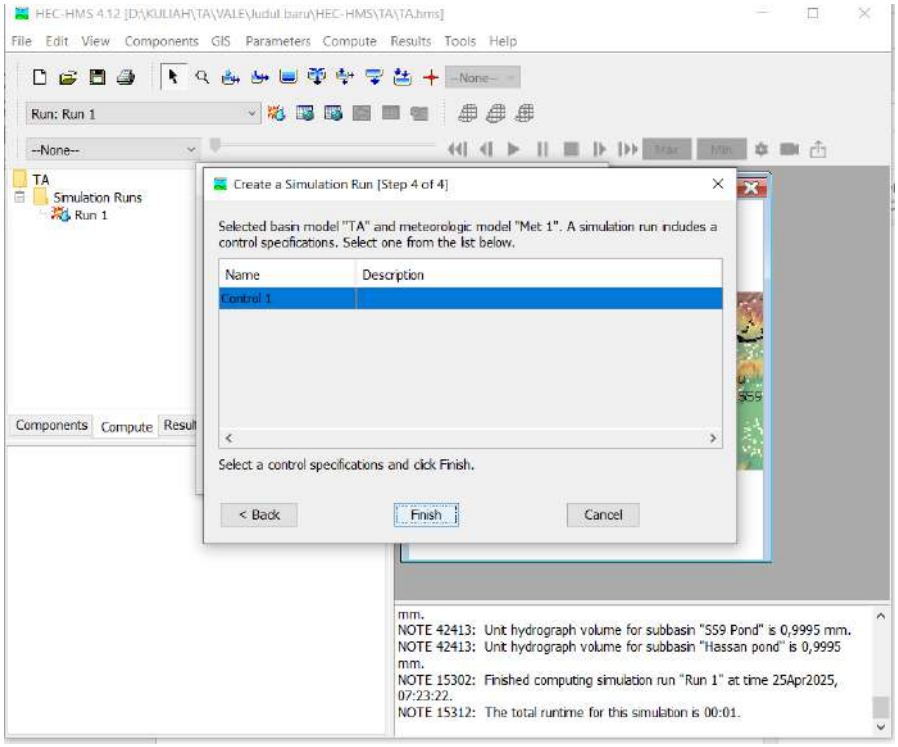
Gambar 4. 42 Penamaan Pada *Simulation Run*



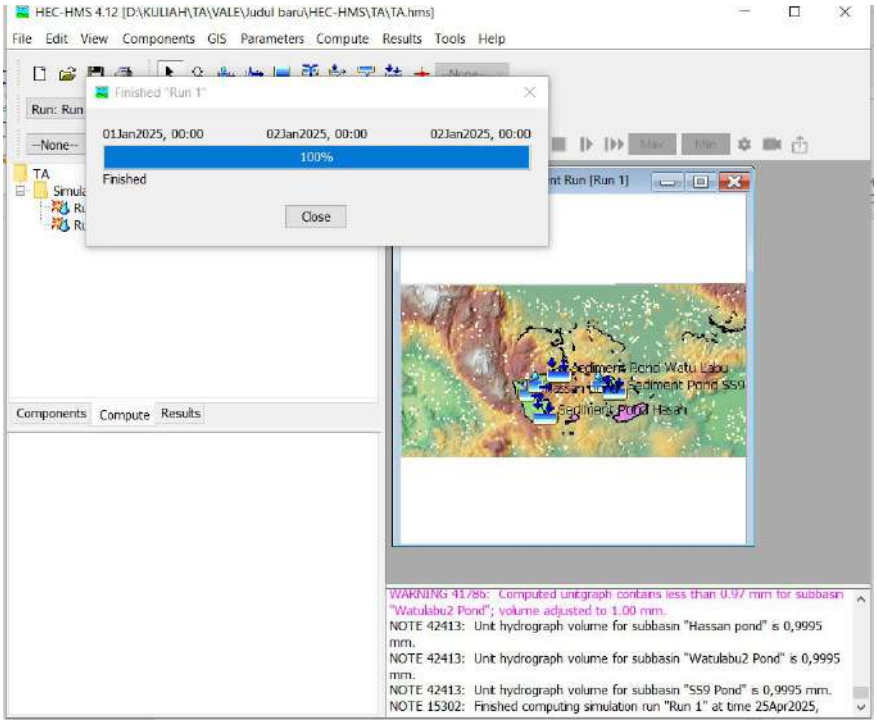
Gambar 4. 43 Pemilihan *basin model* pada *Simulation Run*



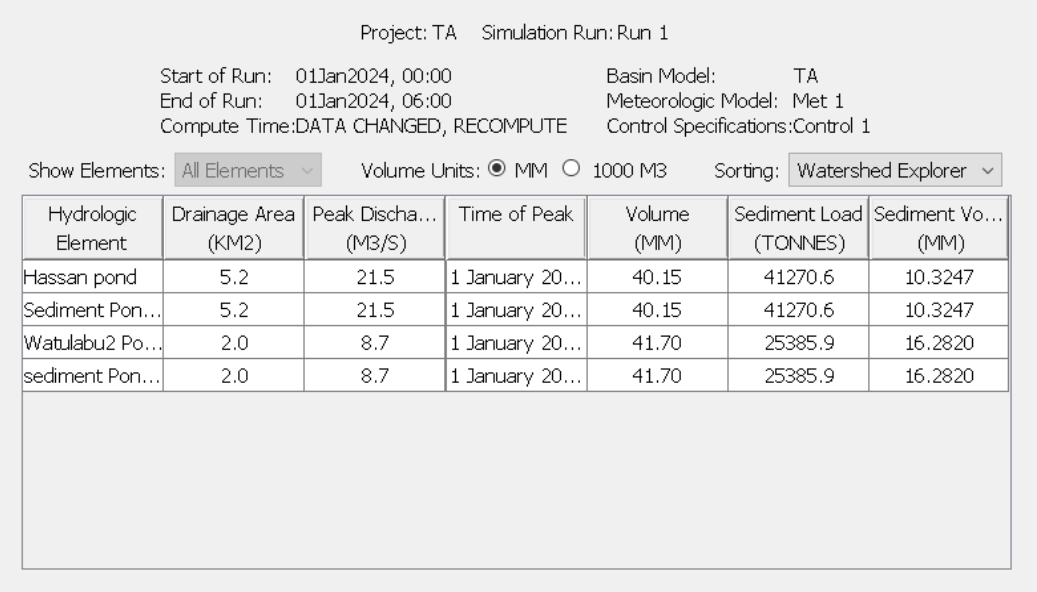
Gambar 4. 44 Pemilihan *meteorologic model* pada *Simulation Run*



Gambar 4. 45 Pemilihan *control specifications* pada *Simulation Run*



Gambar 4. 46 Tampilan Proses *Running* dari simulasi *permodelan Erosi*



Project: TA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01Jan2024, 00:00
End of Run: 01Jan2024, 06:00
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE

Basin Model: TA
Meteorologic Model: Met 1
Control Specifications: Control 1

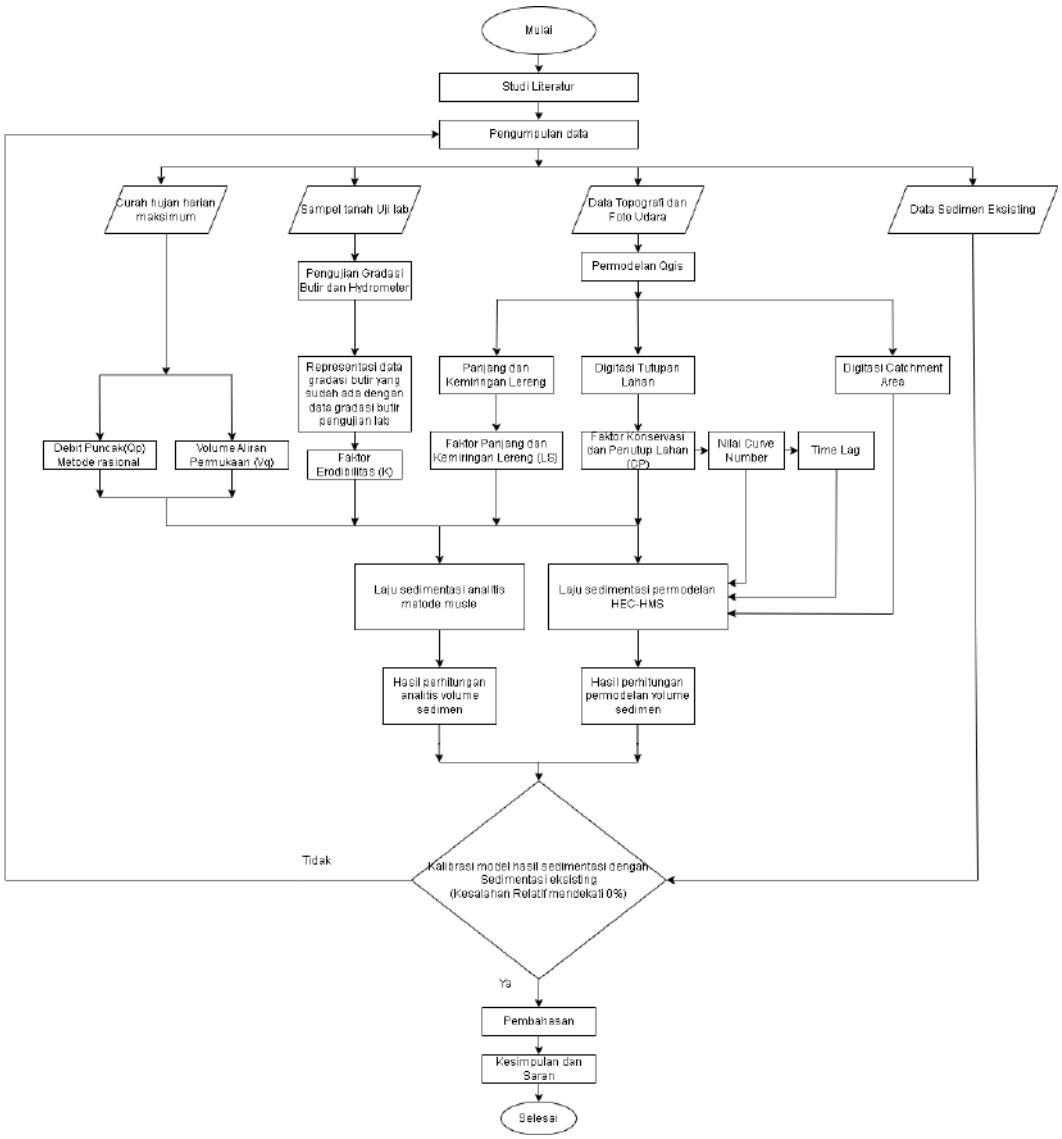
Show Elements: All Elements | Volume Units: MM 1000 M3 | Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discha... (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)	Sediment Load (TONNES)	Sediment Vo... (MM)
Hassan pond	5.2	21.5	1 January 20...	40.15	41270.6	10.3247
Sediment Pon...	5.2	21.5	1 January 20...	40.15	41270.6	10.3247
Watulabu2 Po...	2.0	8.7	1 January 20...	41.70	25385.9	16.2820
sediment Pon...	2.0	8.7	1 January 20...	41.70	25385.9	16.2820

Gambar 4. 47 Tampilan hasil rekap simulasi erosi

4.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan sebuah gambaran proses penelitian yang dilakukan peneliti selama proses pelaksanaan dari awal hingga menyelesaikan penelitian. Tujuan bagan alir untuk memudahkan pembaca memahami isi dari penelitian dan menjadi acuan untuk peneliti sendiri agar memperjelas dan mengarahkan peneliti agar berjalan sesuai dengan rencana awal penelitian. Bagan alir penelitian berisikan kerangka berpikir peneliti yang diaplikasikan dan diringkas menjadi bagan alir agar mudah dipahami. Adapun bagan alir penelitian analisis volume sedimentasi pada *sediment pond* akibat erosi lahan pertambangan PT. Vale Sorowako. Sulawesi Selatan ini dapat dilihat pada Gambar 4.48.



Gambar 4. 48 Bagan Alir Penelitian
(Sumber : Hasil Analisis, 2025)

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Curah Hujan Harian Maksimum

Hasil analisis curah hujan harian maksimum menampilkan nilai maksimum yang diperoleh dalam satu hari pengamatan selama suatu periode tertentu, yang menggambarkan intensitas hujan ekstrem di suatu daerah. Data ini merupakan indikator kunci dalam perhitungan hidrologi karena berkategori langsung dengan potensi aliran permukaan, debit puncak, hingga bahaya banjir. Curah hujan maksimum pada penelitian ini menggunakan data curah hujan maksimum pada tahun 2024 sebesar 123,60 mm/jam yang bisa dilihat pada lampiran 1 Tabel Curah Hujan Tahun 2024.

5.2 Debit Puncak (Qp) dan Volume Aliran Permukaan (Vq)

Debit puncak pada metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) ini menggantikan erosivitas hujan (EI) pada metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dimana debit puncak sebagai intensitas maksimum aliran air di permukaan semakin besar debit puncak maka semakin besar erosi yang terjadi. Metode ini dipilih karena lebih akurat dalam memperkirakan *sediment yield* yang masuk ke *sediment pond* dibandingkan USLE yang hanya menghitung kehilangan tanah di lahan. Parameter yang digunakan berupa koefisien aliran (C). Intensitas hujan (I). dan Luas daerah aliran sungai (km^2). Rekapitulasi perhitungan koefisien aliran (C) pada 2 daerah aliran sungai yang diteliti disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Koefisien Aliran (C)

Lokasi Penelitian	Nilai C
DAS Hassan	0,466
DAS Watulabu2	0,456

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan koefisien aliran (C) pada daerah aliran sungai hassan dengan menggunakan persamaan $C_{komposit}$ (3.3) dengan

menyesuaikan nilai yang terdapat pada Tabel 3.1 untuk daerah DAS Hassan seperti lahan tebuka untuk C_t(Topografi) nilai diambil dalam Tabel 3.1 sebesar 0,26, C_s(Tanah) sebesar 0,08 dan untuk C_v(Vegetasi) sebesar 0,28 selanjutnya dijabarkan sebagai berikut.

Lahan Terbuka = 162,63 ha

= 1,63 km^2

C_t = 0,26

C_s = 0,08

C_v = 0,28

C = $C_1 + C_s + C_v$

= 0,26 + 0,08 + 0,28

= 0,62

Hutan = 346,81 ha

= 3,46 km^2

C_t = 0,26

C_s = 0,08

C_v = 0,04

C = $C_1 + C_s + C_v$

= 0,26 + 0,08 + 0,28

= 0,38

$$C_{komposit} = \frac{A_1.C_1 + A_2.C_2 \ldots + A_nC_n}{A_1 + A_2 + \cdots A_n}$$

$$C_{komposit} = \frac{1{,}63.0{,}62 + 3{,}46.0{,}28}{1{,}63+3{,}46}$$

$$C_{komposit} = 0{,}4567$$

Setelah memperoleh nilai koefisien aliran (C) maka selanjutnya mencari intensitas hujan (mm/jam). Untuk waktu konsentrasi hujan (Tc) pada penelitian ini menggunakan analisis dari data aktual dilapangan pada tahun 2024. Dari analisis tersebut didapatkan waktu hujan pada tahun 2024 sekitar 6 jam. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Departemen Hidrologi PT. Vale bahwa rata rata hujan

dilapangan berlangsung selama kurang lebih 6 jam. Adapun rekapitulasi perhitungan intensitas hujan (mm/jam) pada daerah aliran sungai yang diteliti bisa dilihat pada Tabel 5. 2.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Intensitas Hujan (I)

DAS Hassan	I	=	12,97	mm/jam
DAS Watulabu2	I	=	12,97	mm/jam

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berikut merupakan salah satu contoh hasil perhitungan intensitas hujan (I) pada daerah aliran sungai Hassan yang dijabarkan sebagai berikut.

R^{24} = 123,6 mm

Tc = 6 jam

$$I = \frac{R^{24}}{24} x \frac{24^{\frac{2}{3}}}{Tc}$$

$$I = \frac{123,6}{24} x \frac{24^{\frac{2}{3}}}{6}$$

I = 12,977 mm/jam

Untuk luasan daerah aliran sungai di hitung pada masing-masing wilayahnya. Luasan daerah aliran sungai di dapatkan dari analisis menggunakan aplikasi Qgis dari data yang diberikan oleh Departemen Hidrologi dan Geoteknik PT. Vale. Berikut merupakan tabel luasan daerah aliran sungai pada lokasi yang diteliti bisa dilihat pada Tabel 5. 3 sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Luasan Daerah Aliran Sungai (DAS)

Lokasi	**Luas Das**	**Satuan**
Das Hassan	5,18	Km^2
Das Watulabu2	2,05	Km^2

Sumber: Hasil Analisis (2025)

5.2.1 Debit Puncak(Qp)

Sedimentasi terjadi akibat proses erosi di daerah tangkapan air yang terbawa oleh aliran permukaan menuju ke titik penampungan. Besarnya volume sedimen sangat dipengaruhi oleh besarnya debit yang terjadi pada lokasi yang diteliti. Debit puncak pada analisis ini menggunakan metode rasional dengan

persamaan 3.2. Rekapitulasi debit puncak pada masing-masing das dijabarkan pada Tabel 5. 4.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Debit Puncak (Qp)

Lokasi	Debit Puncak	Satuan
Das Hassan	8,535	m^3/detik
Das Watulabu2	3,448	m^3/detik

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berikut merupakan contoh perhitungan debit puncak(Qp) das Hassan dengan menggunakan persamaan 3.2.

$Q = 0{,}278 \; x \; C \; x \; I \; x \; A$

I = 12,97 (mm/jam)

A = 5,18 (km^2)

C = 0,4567

Q = 0,278 x 0,45 x 24,59 x 5,18

= 8,535 m^3/detik

5.2.2 Volume Aliran Permukaan(Vq)

Volume aliran permukaan (*surface runoff volume*) adalah jumlah air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah dan tidak meresap ke dalam tanah. Besarnya volume aliran permukaan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain intensitas dan durasi hujan, kemiringan lereng, kondisi tanah, tata guna lahan, serta tingkat kerapatan vegetasi. Melalui analisis ini, dapat diketahui potensi limpasan yang terbentuk dari suatu kejadian hujan. Menghitung volume aliran permukaan menggunakan persamaan 3.3. Rekapitulasi volume aliran permukaan bisa dilihat pada Tabel 5. 5.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Analisis Gradasi Saringan Tanah

Lokasi	Volume Aliran Permukaan	Satuan
Hassan	203776,44	m^3
Watulabu2	109078,79	m^3

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Dari rekapitulasi tersebut didapat nilai volume aliran permukaan yang terbesar pada DAS Hassan sebesar 201103,717 m^3 , sedangkan volume aliran yang terkecil sebesar 109078,797 m^3 pada DAS Watulabu2. Berikut merupakan contoh

hasil perhitungan volume aliran permukaan pada DAS Hassan dengan menggunakan persamaan 3.3.

$Vq = R^{24} \times A \times CP$

R^{24} = 0,123 (m)

A = 5184518 (m^2)

CP = 0,318

Vq = 0,123 x 518418 x 0,318

= 203776,44 m^3

5.3 Penentuan Nilai Erodibiltas Tanah (K)

Nilai *Erodibilitas* Tanah (K) adalah sebuah nilai koefisien yang menunjukkan kemampuan dari partikel tanah terhadap proses terkikisnya tanah dan pergeseran tanah dari sejumlah partikel tanah terhadap limpasan air hujan pada DAS yang diteliti. Untuk parameter-parameter pada nilai erodibilitas penelitian ini diperoleh dari Departemen Hidrologi dan Geoteknik PT.Vale. Nilai erodibilitas tanah (K) ini membutuhkan data berupa gradasi butir tanah pada lokasi yang diteliti. Diperoleh rekapitulasi analisis gradasi saringan tanah bisa dilihat pada Tabel 5. 6. Dan Tabel 5. 7.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Analisis Gradasi Saringan Tanah DAS Hassan

Lokasi Das Hassan	**Jenis Sampel**	***Gravel*(%)**	***Sand*(%)**	***Silt*(%)**	***Clay*(%)**	**total (%)**
FPB 03 Disposal	Sampel bagian permukaan	1,49	13,025	61,245	24,24	100,00
FPB 01 PIT	Sampel bagian permukaan	1,965	19,145	54,65	24,24	100,.00
Total (%)		3,46	32,17	115,90	48,48	200,00
Hasil (%)		1,73	16,09	57,95	24,24	100,00

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Analisis Gradasi Saringan Tanah DAS Watulabu 2

Lokasi Das Watulabu 2	**Jenis Sampel**	***Gravel*(%)**	***Sand*(%)**	***Silt*(%)**	***Clay*(%)**	**total (%)**
Pond Watulabu 2	Sampel pada sediment pond bagian permukaan	1,15	12,63	61,85	24,23	100,00
Hasil (%)		1,15	12,63	61,85	24,23	100.00

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Selanjutnya mencari nilai *erodibilitas* tanah (K) dengan bahan organik 2 % yang didapat dari Departemen Hidrologi dan Geoteknik PT. Vale nilai koefisien struktur tanah sebesar 2 dilihat pada Tabel 3.13 dan koefisien permeabilitas tanah

dilihat pada Tabel 3.14 sebesar 4 berdasarkan hasil uji lab dan data yang diperoleh dari perusahaan mengenai permeabilitas dan jenis tanah. Hasil rekapitulasi perhitungan faktor erodbilitas tanah (K) dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi faktor Erodibilitas Tanah (K)

Faktor	Hassan	Watulabu2
K	0,361	0,387

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berikut merupakan salah satu contoh hasil faktor erodbilitas tanah (K) pada daerah aliran sungai Hassan yang dijabarkan sebagai berikut.

% *Silt* = 57,95 %

% *Clay* = 24,24 %

% Bahan Organik (a) = 2%

Bahan Organik (a) = a x 1,724

= 2 x 1,724

= 3,448

Kode Struktur Tanah (b) = 2

Kode Permeabilitas Tanah (c) = 4

M = 4390,10

$$K = \frac{1{,}292\ \{2{,}1 \text{ x } M \text{ x } 1{,}14\ (10^{-4})x(12-a)+3{,}25(b-2)+2{,}5(c-3)\}}{100}$$

$$K = \frac{1{,}292\ \{2{,}1 \text{ x } 4390{,}103 \text{ x } 1{,}14\ (10^{-4})x(12-3{,}448)+3{,}25(2-2)+2{,}5(4-3)\}}{100}$$

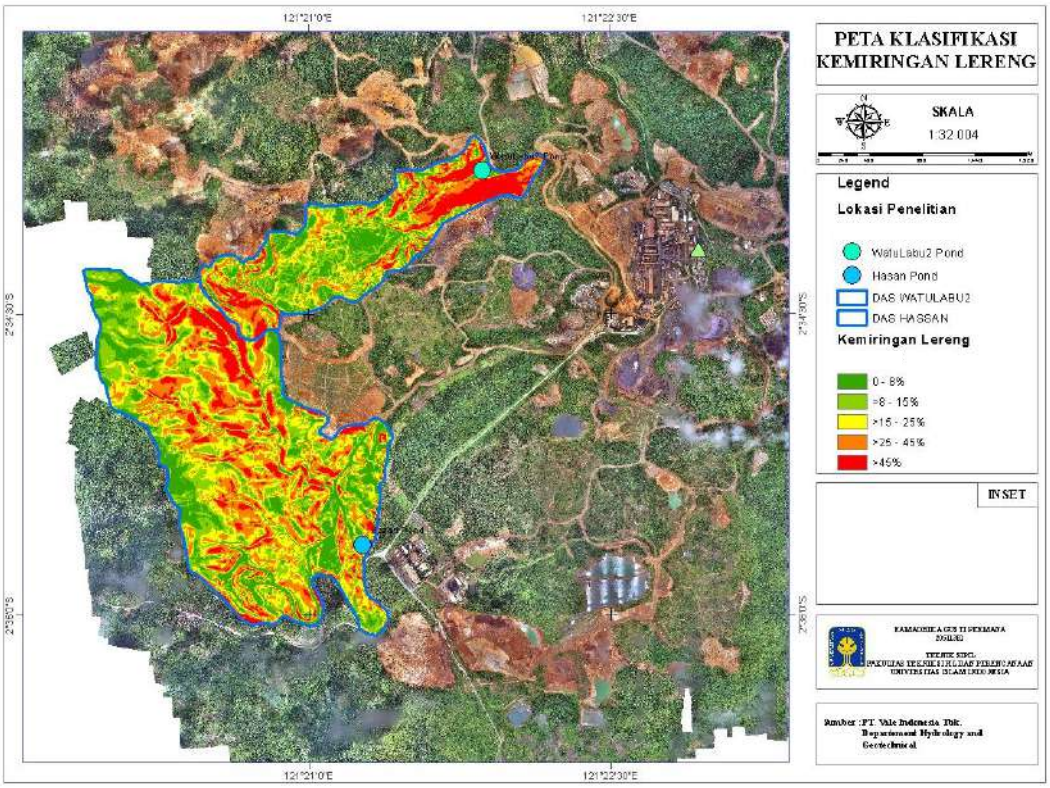
K = 0,361

Dari hasil nilai erodibilitas dari DAS Hassan dan Watulabu2 dapat dikategorikan sebagai kelas erodibilitas tanah agak tinggi yang berdasarkan Tabel 3.5 klasifikasi kelas erodibilitas tanah.

5.4 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) ini mencerminkan pengaruh kondisi topografi terhadap potensi erosi. Kombinasi panjang dan kemiringan lereng menjadi faktor penting dalam menentukan besarnya risiko erosi, khususnya di daerah yang mengalami gangguan vegetasi atau aktivitas manusia seperti pertambangan. Mendapatkan nilai faktor LS digunakan aplikasi Qgis untuk mencari

representasi nilai kemiringan dari masing-masing DAS yang diteliti. Berikut merupakan visualisasi hasil analisis kemiringan lereng dilihat pada Gambar 5. 1.



Gambar 5. 1 Analisis Kemiringan Lereng

Dari hasil analisis tersebut didapatkan bahwa 2 daerah aliran sungai dikategorikan lereng curam dengan nilai koefisien 6,8 berdasarkan Tabel 3.4. Persentase hasil daerah aliran sungai dan nilai faktor LS dari masing-masing lokasi bisa dilihat pada Tabel 5. 9.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Nilai Faktor LS

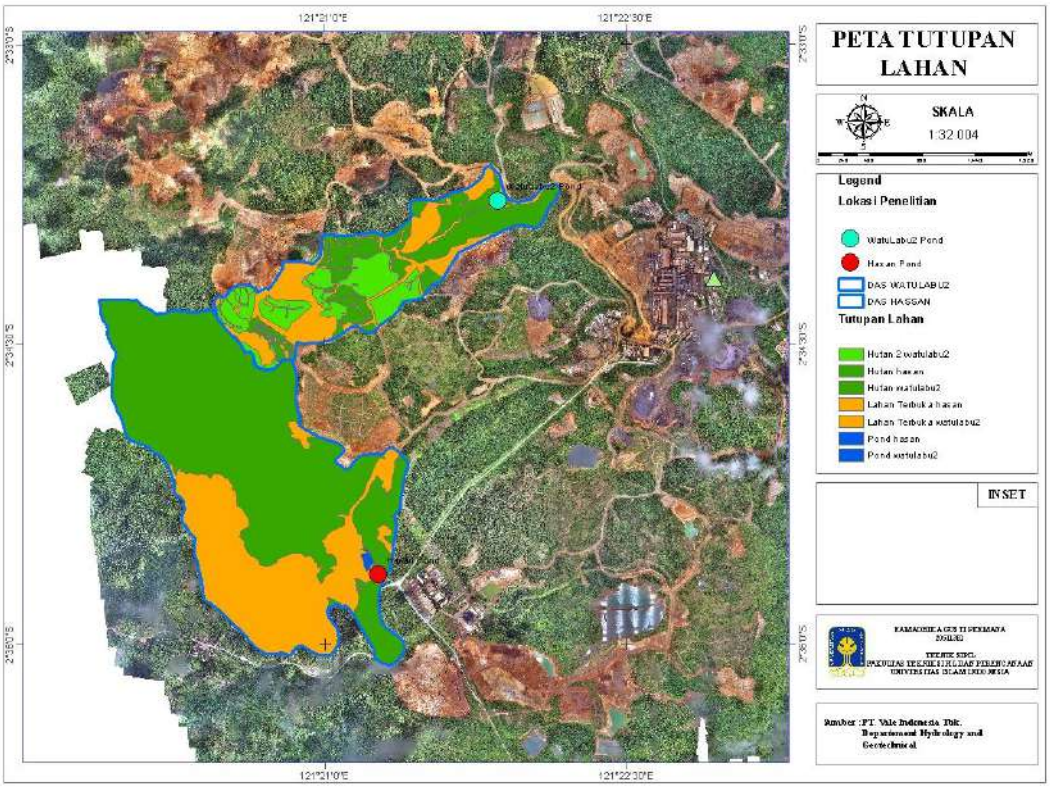
Lokasi	Kemiringan Lereng	Nilai Representasi Kemiringan Lereng	Keterangan	Hasil LS
DAS Hasan	25-45%	38%	Curam	6,8
DAS Watulabu2	25-45%	31%	Curam	6,8

Sumber: Hasil Analisis (2025)

5.5 Faktor Tutupan Lahan dan Faktor Pengelolaan Lahan (CP)

Faktor tutupan lahan (C) dan faktor pengelolaan lahan (P) merupakan komponen penting yang merepresentasikan pengaruh aktivitas manusia dan kondisi

penutup permukaan tanah terhadap tingkat kehilangan tanah. Pemilihan jenis penutup lahan dan strategi pengelolaan yang tepat menjadi kunci dalam upaya pengendalian erosi. Untuk mencari faktor C dan P melakukan analisis menggunakan aplikasi Qgis dengan membagi sesuai dengan jenis lahannya pada lokasi DAS yang di teliti. Visualisasi tata guna lahan pada penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 5. 2. sebagai berikut.



Gambar 5. 2 Analisis Tutupan Lahan

Dari analisis tata guna lahan dengan menggunakan Qgis didapatkan beberapa kategori tutupan lahan yang digunakan untuk menentukan koefisien dari nilai C dan nilai P. Untuk nilai koefisien C dan P menggunakan referensi pada Tabel 3.6 sampai dengan Tabel 3. 9. Berikut merupakan hasil rekapitulasi nilai C dan P pada Tabel 5. 10.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Faktor CP

Lokasi	C	P	C x P
DAS Hassan	0,32	1,00	0,314
DAS Watulabu2	0,44	0,97	0,430

Sumber: Hasil Analisis (2025)

5.6 Perhitungan Laju Sedimentasi Sedimentasi

Laju sedimentasi pada penelitian ini menggunakan metode MUSLE dengan perhitungan analitik dan permodelan HEC-HMS berikut merupakan perhitungannya.

5.6.1 Perhitungan Analitik Menggunakan Metode *Modified Universal Soil Equation* (MUSLE)

Prediksi erosi metode MUSLE di Das hasan dan Watulabu2 dihitung dengan menggunakan beberapa faktor. yaitu faktor debit puncak (Qp), faktor volume aliran permukaan (Vq), faktor erodibilitas tanah (K), faktor panjang dan kemiringan lereng (LS), dan faktor vegetasi serta faktor konservasi lahan (CP). Didapatkan hasil laju sedimentasi terbesar 42968 Ton/Tahun/hektar untuk DAS hasan dan untuk laju sedimentasi terkecil 26.721 pada DAS Watulabu2. Rekapitulasi analisis hasil perhitungan dari 2 daerah aliran sungai bisa dilihat pada Tabel 5.11. sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Nilai Laju Sedimentasi

Lokasi	a	b	Qp(m^3/s)	Vq(m^3)	K	LS	CP	Sed (Ton/Tahun/Ha)
DAS Hassan	11,8	0,56	8,54	203776,4	0,361	6,8	0,314	28512
DAS Watulabu2	11,8	0,56	3,45	109078,8	0,387	6,8	0,430	17731

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berikut merupakan contoh perhitungan pada DAS hasan dengan perhitungan analitik.

Diketahui :

Qp = 8,54 (m^3/det)

Vq = 203776,4 (m^3)

K = 0,361

LS = 6,8

CP = 0,314

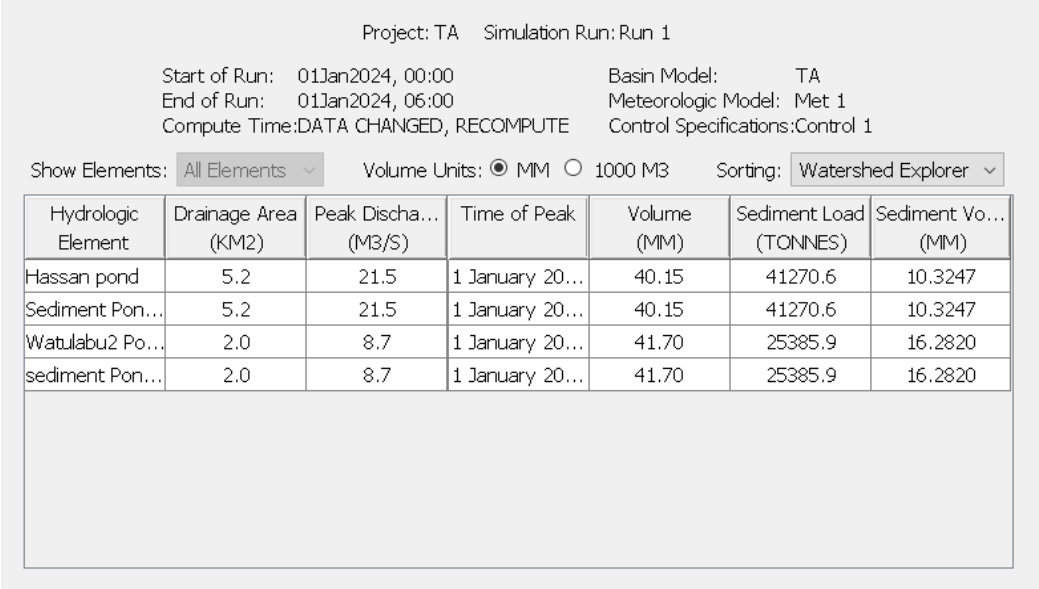
$SY = 11{,}8\ (Qp\ x\ Vq)^{0{,}56} x\ K\ x\ LS\ x\ CP$

$SY = 11{,}8\ (8{,}54\ x\ 203776\ )^{0{,}56} x\ 0{,}361\ \ x\ 6{,}8\ x\ 0{,}314$

$SY = 28512$ Ton/Tahun

5.6.2 Permodelan laju sedimentasi metode MUSLE HEC-HMS

Permodelan laju sedimentasi pada penelitian ini menggunakan aplikasi HEC-HMS dengan metode MUSLE. Pada aplikasi HEC-HMS mencari laju sedimentasi dengan metode MUSLE parameter yang digunakan sama dengan analisis laju sedimentasi secara analitik. Berdasarkan hasil permodelan laju sedimentasi dengan metode MUSLE pada HEC-HMS. diperoleh bahwa debit puncak terbesar terjadi pada Hassan *Pond* dengan luas tangkapan 5,18 km² yaitu sebesar 21,5 m³/s, sedangkan yang terkecil pada Watulabu2 *Pond* sebesar 8,7 m³/s. Beban sedimen tertinggi dihasilkan oleh Hassan *Pond* sebesar 41270 ton/tahun. Sedangkan terendah pada Watulabu2 *Pond* sebesar 25385 ton/tahun. Bisa dilihat pada Gambar 5. 3. sebagai berikut.



Project: TA Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01Jan2024, 00:00 Basin Model: TA
End of Run: 01Jan2024, 06:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discha... (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)	Sediment Load (TONNES)	Sediment Vo... (MM)
Hassan pond	5.2	21.5	1 January 20...	40.15	41270.6	10.3247
Sediment Pon...	5.2	21.5	1 January 20...	40.15	41270.6	10.3247
Watulabu2 Po...	2.0	8.7	1 January 20...	41.70	25385.9	16.2820
sediment Pon...	2.0	8.7	1 January 20...	41.70	25385.9	16.2820

Gambar 5. 3 Rekapitulasi nilai laju sedimentasi permodelan HEC-HMS

5.7 Volume sedimentasi

Perhitungan sedimentasi ini menghitung seberapa banyak sedimen yang terakumulasi pada *outlet*. Pada analisis ini mengubah nilai laju sedimentasi dari perhitungan satuan tonase menjadi perhitungan satuan volume. Hasil perhitungan peneliti bisa di kalibrasi dengan hasil laju sedimentasi di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil permodelan dengan metode MUSLE pada HEC-HMS. konversi beban sedimen ke volume sedimen dilakukan dengan menggunakan berat jenis tanah sebesar 1,6 ton/m³. Dari hasil perhitungan analitik, Hassan *Pond* dengan

beban sedimen sebesar 28512 ton/tahun menghasilkan volume sedimen sekitar 17820 m³/tahun. Adapun volume terkecil terdapat Watulabu2 *Pond* dengan beban sedimen 17731 ton/tahun menghasilkan volume sekitar 11081 m³/tahun dan dari hasil permodelan HEC-HMS, Hassan *Pond* dengan beban sedimen sebesar 41270 ton/tahun menghasilkan volume sedimen sekitar 25793 m³/tahun. Adapun volume terkecil pada Watulabu2 *Pond* dengan beban sedimen 25385 ton/tahun menghasilkan volume sekitar 15865 m³/tahun bisa dilihat pada Tabel 5. 12 rekapitulasi konversi sedimen.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Konversi Nilai Laju Sedimentasi

Lokasi	Analitik		Pemodelan HEC-HMS	
	ton/tahun	m^3/tahun	ton/tahun	m^3/tahun
Hasan	28512	17820	41270	25793
Watulabu2	17731	11081	25385	15865

Sumber: Hasil Analisis (2025)

5.8 Kesalahan Relatif

Perbandingan antara hasil analitik dan hasil pemodelan HEC-HMS merupakan langkah penting untuk menilai akurasi model dalam memperkirakan besarnya angkutan sedimen pada suatu lokasi. Untuk mengetahui sejauh mana perbedaan antara kedua pendekatan tersebut, digunakan parameter kesalahan relatif (*relative error*), yaitu ukuran yang menunjukan besar penyimpangan nilai hasil model terhadap nilai analitik sebagai acuan. Data sedimentasi pada dua lokasi menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan antara pendekatan analitik dan hasil simulasi HEC-HMS. Perhitungan kesalahan relatif dihitung dengan persamaan 3.7. Seluruh data perhitungan dan sedimen eksisting, serta rekapitulasi hasil perhitungan kesalahan relatif dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan 5.14.

Tabel 5. 13 Data Hasil Perhitungan dan Data Sedimen Eksisting

Lokasi	Analitik	Pemodelan HEC-HMS	Data Sedimen Eksisting
	m^3/tahun	m^3/tahun	m^3/tahun
Hassan	17820	25793	25793
Watulabu2	11081	15865	15513

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Kesalahan Relatif

Lokasi	Kesalahan Relatif (%)	
	Analitik	Permodelan HEC-HMS
Hassan	30,91	0,011
Watulabu2	28,57	2,26

Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berikut merupakan contoh perhitungan kesalahan relatif pada DAS Hassan pada perhitungan analitik.

Diketahui :

Data Aktual = 25793 **m^3/tahun**

Hasil Perhitungan = 17820 **m^3/tahun**

$$\text{Kesalahan Relatif}(\%) = \left(\frac{\text{Data Aktual} - \text{Hasil Perhitungan}}{\text{Data Aktual}}\right) x\ 100$$

$$\text{Kesalahan Relatif}(\%) = \left(\frac{25793 - 17820}{25793}\right) x\ 100$$

Kesalahan Relatif = 30,91%

5.9 Pembahasan

Hasil perhitungan volume sedimentasi berdasarkan metode analitik dan pemodelan HEC-HMS menunjukkan adanya perbedaan nilai, perbedaan nilai cukup jauh terdapat pada perhitungan analitik sedangkan pada permodelan HEC-HMS hasilnya hampir mendekati data sedimen eksisting. Adapun rekapitulasi perbandingan laju sedimentasi antara perhitungan analitik dengan permodelan HEC-HMS dibanding dengan data eksisting dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perbandingan Hasil Laju Sedimentasi

Lokasi	Analitik	Pemodelan HEC-HMS	Data Sedimen Eksisting
	m^3/tahun	m^3/tahun	m^3/tahun
Hassan	17820	25793	25793
Watulabu2	11081	15865	15513

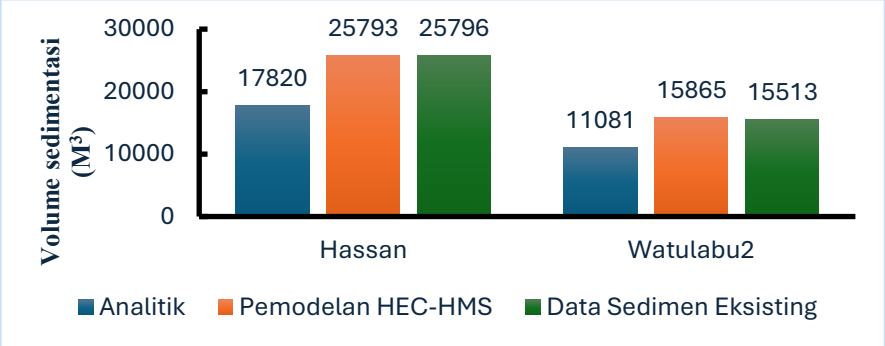
Sumber: Hasil Analisis (2025)

Berdasarkan Tabel 5.14 perbandingan antara hasil analitik, pemodelan HEC-HMS, dan data sedimen eksisting pada kedua lokasi, terlihat bahwa nilai hasil pemodelan HEC-HMS memberikan estimasi sedimen yang lebih besar dan

sekaligus lebih mendekati kondisi aktual dibandingkan perhitungan analitik. Pada lokasi Hassan, nilai analitik sebesar 17820 m^3/tahun berada jauh di bawah nilai pemodelan dan data eksisting yang identik yaitu 25793 m^3/tahun, menunjukkan bahwa metode analitik cenderung menghasilkan estimasi yang lebih rendah dari kondisi lapangan. Pola serupa juga terlihat pada lokasi Watulabu2, di mana hasil analitik sebesar 11081 m^3/tahun kembali lebih rendah dibandingkan hasil pemodelan HEC-HMS sebesar 15865 m^3/tahun dan nilai eksisting sebesar 15513 m^3/tahun. Kedekatan hasil pemodelan HEC-HMS dengan nilai eksisting pada kedua lokasi mengindikasikan bahwa pemodelan ini lebih representatif dalam menggambarkan dinamika sedimen yang terjadi, sedangkan metode analitik cenderung menyederhanakan variabel dan menghasilkan perkiraan yang lebih rendah dari kondisi sebenarnya.

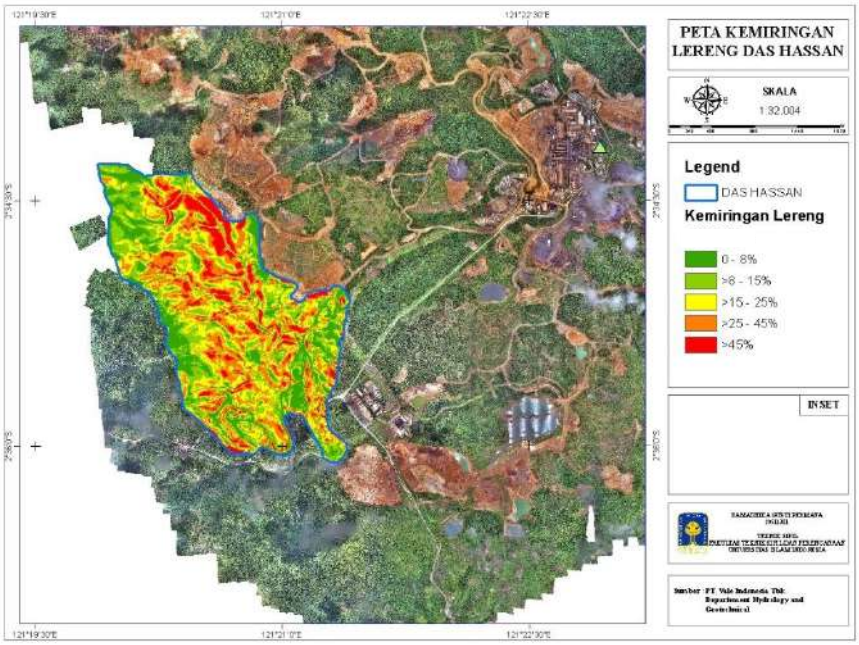
Dari hasil perhitungan kesalahan relatif dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan analitik memiliki kesalahan relatif yang cukup besar dibandingkan dengan kondisi sebenarnya, baik di Hassan maupun Watulabu2. Pada lokasi Hassan, kesalahan relatif metode analitik mencapai 30,91%, sementara pemodelan HEC-HMS hanya 0,011%, yang berarti hasil model hampir sama persis dengan data lapangan. Hal yang sama juga terjadi di Watulabu2, di mana metode analitik menunjukkan kesalahan sebesar 28,57%, sedangkan pemodelan HEC-HMS hanya 2,26%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pendekatan analitik cenderung memberikan perkiraan yang jauh lebih rendah, sedangkan HEC-HMS mampu memberikan hasil yang jauh lebih mendekati kondisi sebenarnya.

Dari perbedaan hasil yang cukup jauh pada perhitungan analitik disebabkan oleh parameter yang kurang detail. Sedangkan untuk permodelan HEC-HMS menggunakan input parameter yang detail serta untuk mencari debit puncak menggunakan metode SCS jadi hasil perhitungan laju sedimen mendekati dengan sedimen eksisting. Dengan demikian, pemodelan HEC-HMS dapat dianggap lebih akurat dan lebih dapat dipercaya dalam menggambarkan besarnya sedimen yang terjadi pada kedua lokasi tersebut.

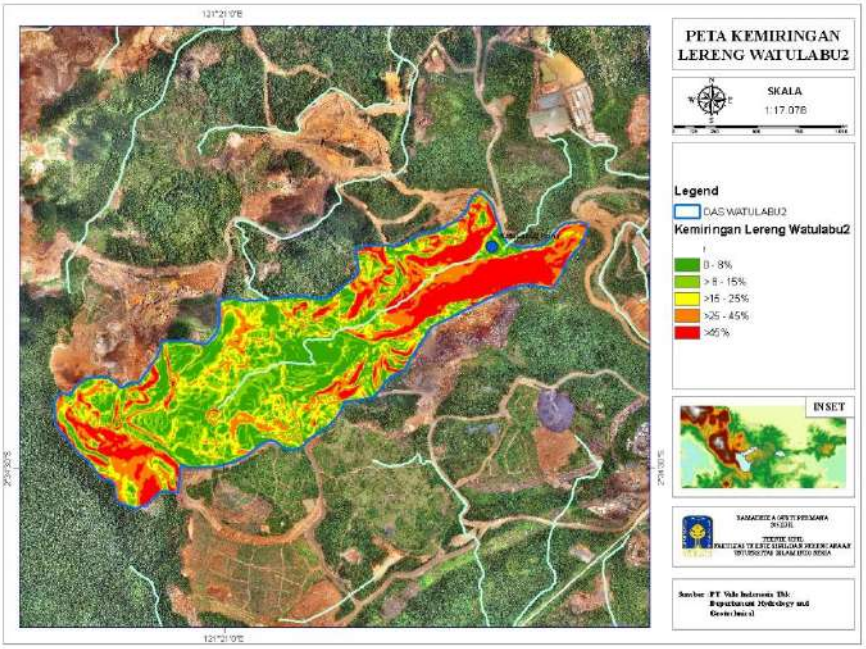


Gambar 5. 4 Grafik Perbandingan Volume Sedimen

Dari Gambar 5.4. grafik perbandingan volume sedimen dapat disimpulkan ada faktor-faktor yang bisa mempengaruhi nilai laju sedimentasi. Faktor panjang kemiringan lereng (LS) merupakan salah satu faktor yang juga mempengaruhi erosi (Samsidar, dkk., 2022). Semakin miring suatu lahan maka akan semakin besar juga laju sedimentasi yang akan terjadi (Arsyad, S. 2010). Perbedaan topografi akan mempengaruhi besarnya laju erosi DAS Hassan dan DAS Watulabu2. Kedua DAS tersebut dikategorikan sebagai lahan yang curam dengan kemiringan lereng sebesar 25-45% berdasarkan Tabel 3.5. Visualisasi kemiringan lereng pada DAS bisa dilihat pada Gambar 5.5 dan 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5. 5 Peta kemiringan Lereng Hassan



Gambar 5. 6 Peta kemiringan Lereng Watulabu2

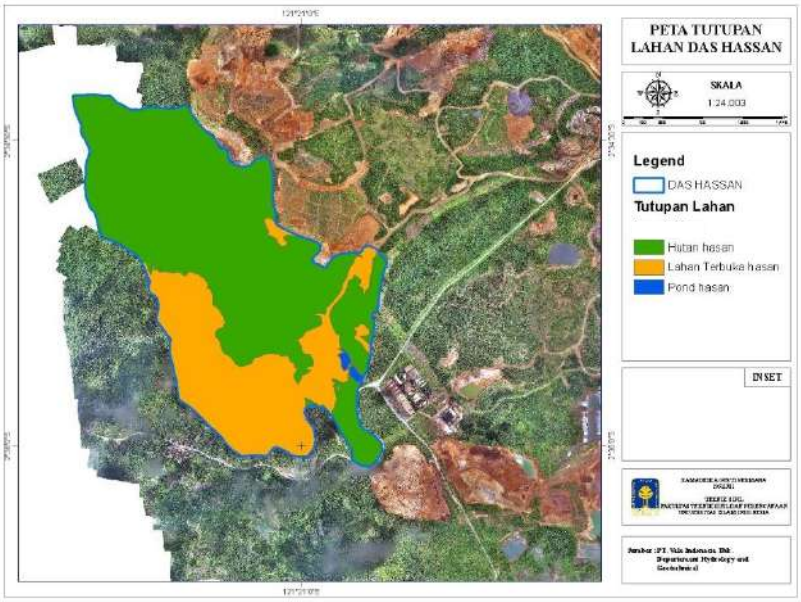
Berdasarkan Gambar 5.5 dan 5.6 peta kemiringan lereng DAS Hassan dan DAS Watulabu2, wilayah tersebut didominasi oleh area dengan kelas kemiringan IV (25–45%) yang termasuk dalam kategori curam. Warna oranye hingga merah pada peta menunjukkan sebaran daerah dengan tingkat kemiringan tinggi yang tersebar cukup luas terutama pada bagian tengah hingga barat DAS. Kondisi topografi yang curam tersebut berpengaruh langsung terhadap proses erosi dan sedimentasi di wilayah ini. Pada kemiringan lereng kelas IV, kecepatan aliran permukaan meningkat secara signifikan karena gaya gravitasi mempercepat aliran air hujan di atas permukaan tanah. Akibatnya, kemampuan air untuk mengikis partikel tanah menjadi lebih besar, sehingga volume sedimen yang terbawa menuju *sediment pond* meningkat.

Data permodelan HEC-HMS menunjukkan bahwa laju sedimentasi di DAS Hassan sebesar 25793 m^3/tahun dan DAS Watulabu2 sebesar 15865 m^3/tahun, yang mengindikasikan tingkat erosi cukup tinggi. Nilai tersebut sejalan dengan karakteristik kemiringan curam di sebagian besar wilayah DAS, di mana tanah memiliki kestabilan rendah dan mudah tererosi, terutama bila tutupan vegetasinya tidak rapat. Aktivitas manusia seperti pembukaan lahan tambang, jalan, dan area

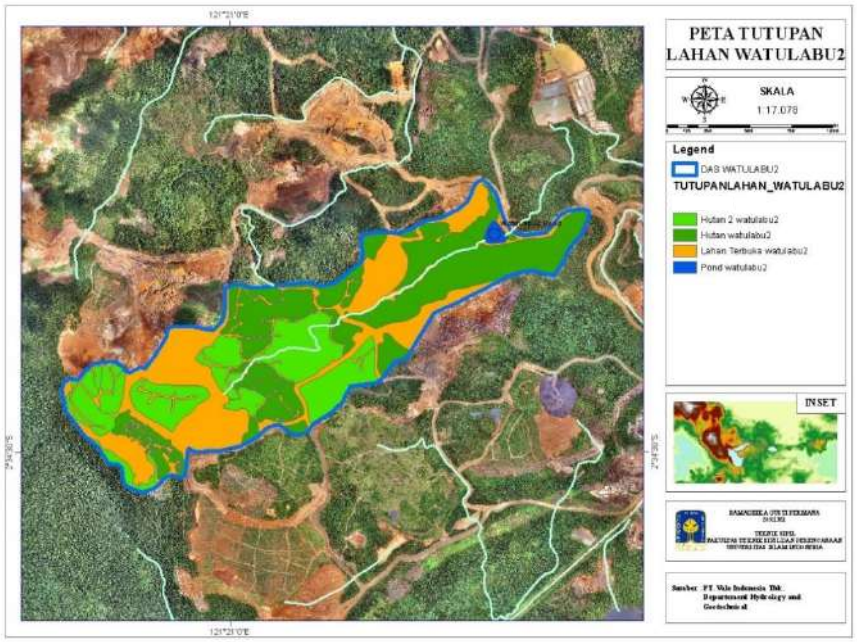
terbuka tanpa vegetasi penutup turut memperparah laju erosi karena mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap air hujan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kemiringan lereng kelas IV menjadi faktor dominan yang menyebabkan tingginya laju sedimentasi di DAS Hassan. Untuk mengurangi dampak tersebut, diperlukan upaya konservasi tanah dan air melalui pembangunan struktur pengendali sedimen seperti *check dam*, reboisasi di area terbuka, serta pengaturan tata guna lahan sesuai kemampuan lahan. Upaya ini diharapkan dapat menekan laju erosi dan menjaga efisiensi fungsi *sediment pond* di wilayah pertambangan DAS tersebut.

Selain faktor topografi, pengelolaan lahan di sekitar Watulabu2 yang relatif tertutup oleh vegetasi alami maupun hasil reklamasi pasca tambang turut berperan dalam menjaga kestabilan tanah. Vegetasi berfungsi menahan energi butir hujan dan memperlambat aliran permukaan, sehingga mencegah terjadinya erosi berlebih. Faktor penggunaan lahan juga berperan penting dalam pengendalian erosi dan laju sedimentasi. Hasil nilai laju sedimentasi pada das hasan dan watulabu2 yang cukup tinggi disebabkan oleh faktor penggunaan lahan (C) dan konservasi lahan (P) yang bisa dilihat dari rekapitulasi nilai faktor dan C x P pada Tabel 5.11. Dari faktor tutupan lahan tersebut bisa dilihat secara berturut-turut pada gambar visualisasi pada masing-masing dan pada Gambar 5.7 dan 5.8.



Gambar 5. 7 Peta Tutupan Lahan Hassan



Gambar 5. 8 Peta Tutupan Lahan Watulabu2

Dari Gambar 5.7 dan 5.8 visualisasi tutupan lahan tersebut bisa dilihat bahwa pada DAS Hassan dan Watulabu2 nilai C x P cukup besar. Ihazama, dkk. (2023) menyatakan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap erosi lahan yaitu faktor C dan P. Lahan terbuka (pertambangan) di wilayah DAS Hassan dan Watulabu2 lebih banyak, sehingga banyaknya lahan yang terbuka menyebabkan lebih banyak tanah terbawa oleh aliran air menuju ke *sediment pond* dan tidak menyerap ketanah. Oleh karena itu, DAS Hassan dan Watulabu2 menghasilkan erosi dan laju sedimentasi yang cukup tinggi dalam satu tahun. Semakin besar nilai C x P maka semakin besar juga laju sedimentasi yang akan terjadi. DAS Hassan dan DAS Watulabu2 dengan nilai C x P sebesar 0,32 dan 0,42 menghasilkan laju sedimentasi cukup besar dalam 1 tahun. Jadi faktor tutupan lahan pada analisis ini berpengaruh besar terhadap nilai laju sedimentasi pertahunnya.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Hasil analisis berdasarkan hasil perbandingan volume sedimentasi antara metode analitik, pemodelan HEC-HMS, dan data sedimen eksisting, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Nilai hasil perhitungan metode analitik yang terbesar didapat dari Das Hassan diperoleh sebesar 28512 ton/tahun atau 17820 m^3/tahun, Das Watulabu2 diperoleh sebesar 17731 ton/tahun atau 11081 m^3/tahun.
2. Nilai hasil permodelan HEC-HMS yang terbesar didapat dari Das Hassan diperoleh sebesar 41270 ton/tahun atau 25793 m^3/tahun, Das Watulabu2 diperoleh sebesar 25385 ton/tahun atau 15865 m^3/tahun.
3. Berdasarkan perbandingan antara nilai analitik, pemodelan HEC-HMS, dan data sedimen eksisting pada kedua lokasi, terlihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup jelas dalam kemampuan masing-masing metode dalam merepresentasikan kondisi sedimen yang terjadi di lapangan. Pada lokasi Hassan, data sedimen eksisting menunjukkan nilai 25793 m^3/tahun, sedangkan metode analitik hanya menghasilkan 17820 m^3/tahun, sehingga memberikan gambaran yang lebih rendah dari kenyataan. Sebaliknya, pemodelan HEC-HMS menghasilkan nilai yang identik dengan data eksisting, yaitu 25793 m^3/tahun, yang menunjukkan akurasi yang sangat tinggi. Pola serupa juga terlihat di Watulabu2, di mana nilai eksisting 15513 m^3/tahun lebih dekat dengan hasil HEC-HMS (15865 m^3/tahun) dibandingkan hasil analitik (11081 m^3/tahun). Perbedaan ini tercermin dalam nilai kesalahan relatif perhitungan dengan metode analitik menunjukkan kesalahan yang cukup besar, yakni 30,91% di Hassan dan 28,57% di Watulabu2, sehingga dapat dikatakan kurang berhasil menggambarkan kondisi sedimen aktual. Sebaliknya, pemodelan HEC-

HMS memiliki kesalahan relatif yang sangat kecil, yaitu 0,011% di Hassan dan 2,26% di Watulabu2, menunjukkan bahwa model ini mampu memberikan estimasi yang sangat mendekati kenyataan. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa karakteristik sedimen yang dihasilkan oleh pemodelan HEC-HMS lebih konsisten, lebih realistis, dan lebih sesuai dengan data eksisting dibandingkan pendekatan analitik. Oleh karena itu, HEC-HMS dapat dianggap lebih layak digunakan sebagai dasar analisis maupun perencanaan pengelolaan sedimen di wilayah penelitian.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan penelitian mengenai perbandingan volume sedimentasi dengan metode analitik, pemodelan HEC-HMS, dan data eksisting, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan kalibrasi dan validasi model HEC-HMS secara lebih detail, terutama dengan menggunakan data curah hujan, debit aliran, dan volume sedimen aktual dalam beberapa periode waktu. Hal ini penting agar hasil simulasi semakin mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

2. Penentuan parameter input model seperti faktor limpasan (*runoff*), koefisien erosi, dan penggunaan lahan perlu diperbarui dengan data terbaru serta pengukuran langsung di lapangan untuk meningkatkan akurasi perhitungan.

3. Pemantauan sedimen eksisting perlu dilakukan secara periodik, baik melalui pengukuran volume endapan maupun analisis karakteristik sedimen. Data ini berguna untuk memperkuat dasar kalibrasi model dan perencanaan kegiatan *maintenance sediment pond.*

4. Perlu dilakukan perhitungan dengan data hujan yang lebih panjang untuk memperkirakan laju sedimentasi yang akan datang. Dengan rentang data curah hujan yang lebih panjang, analisis dapat menggambarkan pola dan tren sedimentasi yang lebih representatif terhadap kondisi iklim jangka panjang. Selain itu, pengambilan data hidrologi dan sedimentasi secara

berkala juga disarankan agar hasil pemodelan dan prediksi dapat divalidasi dengan kondisi lapangan yang aktual.

5. Untuk penelitian selanjutnya tentang volume sedimentasi ini pada perhitungan analitik untuk mencari data debit puncak, disarankan menggunakan metode SCS untuk menyesuaikan dengan metode yang ada di permodelan HEC-HMS.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurrosyid. J. & Saputra. K. D. A. (2022). *Perbandingan antara metode usle dan musle dalam analisis erosi lahan pada daerah tangkapan air waduk cengklik. Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil.* 1(1). 54-61.

Arikunto, S. (2002). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta

Arsyad. S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air.* Bogor: IPB Press.

Arsyad, S. (2006). *Konservasi Tanah dan Air*. Bandung: Penerbit IPB

Asdak. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Sungai.* Jogjakarta: Gadjah Mada University Press.

ASTM International. (2017). *ASTM D2487–17: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

Goldman, S. J., Herman, C. P., & Polivy, J. (1986). Effects of Salience of Body Weight and Food Cues on the Eating Behavior of Restrained and Unrestrained Eaters. *Journal of Personality*, *54*(3), 522–534.

Inhazama. T. A.. Mustofa. A.. & Syafi'i. A. A. (2024*). Analisis erosi menggunakan USLE pada area disposal dan sekatan Sump Angsana Pit Tutupan PT Adaro Indonesia.* Jurnal Himasapta. 8(3). 201-208.

Krisnayanti, D. S dkk. (2018). Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Metode USLE dan MUSLE pada DAS Nuel-Puames. Jurnal Teknik Sipil, Vol 7, No 2.

Lal. R. (1999). *Soil Quality and Soil Erosion.* Washington D C: CRC PRESS.

Lesmana. D. M. M.. Cahyadi. T. A.. SB. W. S. W.. Nursanto. E.. & Winarno. E. (2020. July*). Perbandingan hasil prediksi laju erosi dengan metode usle. musle. rusle berdasar literatur review. In Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan* (SEMITAN) (Vol. 2. No. 1. pp. 307-312).

Salviya. L. L.. Taryana. D.. Masruroh. H.. & Aristin. N. F. (2023). *Pendugaan erosi menggunakan Metode Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) di Sub DAS Bale. Jurnal Integrasi dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial.* 3(3). 313-334.

Samsidar, dkk (2022). Analisis Laju Erosi Menggunakan Metode Usle (*Universal Soil Loss Equation*) Di Sekitar Sub Daerah Aliran Sungai (Das) Batang Limun Provinsi Jambi.

Saputra, D. R., Anggraini, S., & Nugraha, P. A. (2022). Perbandingan Antara Metode USLE dan MUSLE dalam Analisis Erosi Lahan pada Daerah Tangkapan Air Waduk Cengklik. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 15(1), 1-10.

Suripin. (2001). Pelestarian Sumber daya Tanah dan Air. Andi.Yogyakarta.

Suripin. (2004). Pelestarian Sumber daya Tanah dan Air. Andi.Yogyakarta.

Sugiyono. (2018). Metode Penelitian Kuantitatif. Alfabeta. Bandung

Sarief, S. (1985). *Konservasi Tanah dan Air*. Jakarta: Penerbit CV Tarsito.

US Environmental Protection Agency. (2005). Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites (EPA Publication No. EPA-540-R-05-012). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.

Utomo. W. H. (1994). *Erosi dan Konservasi Tanah*. Malang: Penerbit IKIP Malang.

US Army Corp of Enginneering. (2024). HEC-HMS User Manual. Modified Universal Soil Loss Equation. William (1975).

Wischmeier ,W.H.and Smith,D.D,1978. Predicting Rainfall Erosion Losses a Guide to Conservasion Planning. Washington: USDA

Zefri. R.. Wulandari. D. A.. & Suripin. S. (2022). *Penerapan HEC-HMS Untuk Pendugaan Erosi Dan Sedimentasi Metode Musle Pada Waduk Paselloreng Di Kabupaten Wajo. Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*. 6(2). 103-116.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Curah hujan tahun 2024

2024																								
Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian	Bulan	Curah Hujan harian
Jan/01	0.2	Feb/01	9.2	Mar/01	7	Apr/01	31.8	May/01	0.4	Jun/01	15.2	Jul/01	2.6	Aug/01	0	Sep/01	0	Oct/01	0	Nov/01	15.4	Dec/01	0.2		
Jan/02	0.2	Feb/02	0.4	Mar/02	2	Apr/02	6	May/02	28	Jun/02	4	Jul/02	54	Aug/02	3.2	Sep/02	2.2	Oct/02	0.6	Nov/02	72	Dec/02	1		
Jan/03	1.4	Feb/03	2.6	Mar/03	7.2	Apr/03	2.4	May/03	12.6	Jun/03	23	Jul/03	1.6	Aug/03	0.2	Sep/03	0	Oct/03	35.4	Nov/03	0.8	Dec/03	0.8		
Jan/04	18.2	Feb/04	7	Mar/04	0	Apr/04	0	May/04	10.8	Jun/04	1.4	Jul/04	2.8	Aug/04	1	Sep/04	3	Oct/04	2.8	Nov/04	0	Dec/04	32.4		
Jan/05	1.4	Feb/05	5	Mar/05	0	Apr/05	6.2	May/05	57.2	Jun/05	2.2	Jul/05	0	Aug/05	5.2	Sep/05	87.8	Oct/05	0	Nov/05	0	Dec/05	14.8		
Jan/06	12.2	Feb/06	2.2	Mar/06	2.6	Apr/06	18.2	May/06	1.8	Jun/06	1.2	Jul/06	9.6	Aug/06	10	Sep/06	9.2	Oct/06	0	Nov/06	57	Dec/06	24		
Jan/07	1	Feb/07	2.2	Mar/07	1.2	Apr/07	0.2	May/07	3.8	Jun/07	0.4	Jul/07	123.6	Aug/07	10.2	Sep/07	22.2	Oct/07	1.2	Nov/07	0.2	Dec/07	0.2		
Jan/08	6.8	Feb/08	0	Mar/08	0.3	Apr/08	25	May/08	26.6	Jun/08	0.4	Jul/08	33.2	Aug/08	0	Sep/08	25.8	Oct/08	0	Nov/08	0	Dec/08	30.6		
Jan/09	1	Feb/09	8.6	Mar/09	10	Apr/09	29.8	May/09	0.4	Jun/09	0.4	Jul/09	0.8	Aug/09	0	Sep/09	0	Oct/09	1.8	Nov/09	0.2	Dec/09	0.4		
Jan/10	1.2	Feb/10	50	Mar/10	38	Apr/10	13.8	May/10	3.4	Jun/10	1	Jul/10	0	Aug/10	0	Sep/10	0.8	Oct/10	2	Nov/10	4.4	Dec/10	5		
Jan/11	2.6	Feb/11	38.4	Mar/11	5.8	Apr/11	21.8	May/11	0.6	Jun/11	0	Jul/11	1.4	Aug/11	0	Sep/11	0	Oct/11	0	Nov/11	8.2	Dec/11	3.2		
Jan/12	1.1	Feb/12	5	Mar/12	0.2	Apr/12	4.4	May/12	42.6	Jun/12	4.2	Jul/12	1.2	Aug/12	4.6	Sep/12	0	Oct/12	0	Nov/12	9.2	Dec/12	0.8		
Jan/13	21.6	Feb/13	4.4	Mar/13	1	Apr/13	9.8	May/13	10	Jun/13	6	Jul/13	18.6	Aug/13	0	Sep/13	0	Oct/13	82.8	Nov/13	0	Dec/13	10.6		
Jan/14	0	Feb/14	0	Mar/14	0.2	Apr/14	1	May/14	28	Jun/14	80.6	Jul/14	0.4	Aug/14	0.2	Sep/14	0	Oct/14	0	Nov/14	0.4	Dec/14	40.8		
Jan/15	0.4	Feb/15	5.2	Mar/15	0	Apr/15	3.8	May/15	4	Jun/15	21.6	Jul/15	26.2	Aug/15	0	Sep/15	0	Oct/15	9.6	Nov/15	0.2	Dec/15	7.2		
Jan/16	1	Feb/16	12.8	Mar/16	10	Apr/16	8	May/16	2.4	Jun/16	1.4	Jul/16	0.4	Aug/16	0	Sep/16	0	Oct/16	49	Nov/16	6	Dec/16	0.4		
Jan/17	5.6	Feb/17	80.2	Mar/17	0	Apr/17	113	May/17	0	Jun/17	3.4	Jul/17	2.4	Aug/17	0	Sep/17	0	Oct/17	0	Nov/17	0.4	Dec/17	0.4		
Jan/18	0.2	Feb/18	80.2	Mar/18	17.8	Apr/18	0.4	May/18	6.4	Jun/18	11.2	Jul/18	0	Aug/18	0	Sep/18	0	Oct/18	0	Nov/18	4.5	Dec/18	2.2		
Jan/19	0	Feb/19	1	Mar/19	0	Apr/19	0	May/19	0.4	Jun/19	0.2	Jul/19	0	Aug/19	9.6	Sep/19	0	Oct/19	0	Nov/19	0.2	Dec/19	0.2		
Jan/20	21	Feb/20	3	Mar/20	0	Apr/20	46.4	May/20	2.6	Jun/20	0	Jul/20	0	Aug/20	0	Sep/20	0	Oct/20	0	Nov/20	0	Dec/20	2.2		
Jan/21	1.2	Feb/21	17.2	Mar/21	37.2	Apr/21	61.4	May/21	5.2	Jun/21	9	Jul/21	3.6	Aug/21	1.4	Sep/21	0	Oct/21	0	Nov/21	0.8	Dec/21	0.2		
Jan/22	0.4	Feb/22	28.6	Mar/22	14.6	Apr/22	7.4	May/22	3	Jun/22	4.2	Jul/22	4	Aug/22	0.2	Sep/22	60.2	Oct/22	0	Nov/22	0	Dec/22	0		
Jan/23	15.2	Feb/23	11.6	Mar/23	5.2	Apr/23	0.2	May/23	4.8	Jun/23	10.4	Jul/23	0.4	Aug/23	25	Sep/23	1.2	Oct/23	0	Nov/23	0.6	Dec/23	4.4		
Jan/24	0	Feb/24	8.1	Mar/24	0	Apr/24	12.2	May/24	1.8	Jun/24	11.4	Jul/24	0	Aug/24	0.8	Sep/24	12.4	Oct/24	0	Nov/24	0.2	Dec/24	1.6		
Jan/25	0	Feb/25	80.8	Mar/25	0.2	Apr/25	6.2	May/25	3.2	Jun/25	0	Jul/25	2.4	Aug/25	11.8	Sep/25	10.2	Oct/25	0	Nov/25	0	Dec/25	6.8		
Jan/26	0	Feb/26	7.2	Mar/26	1.6	Apr/26	0.4	May/26	13.2	Jun/26	0	Jul/26	34	Aug/26	14.6	Sep/26	0	Oct/26	0	Nov/26	0.2	Dec/26	0.6		
Jan/27	0	Feb/27	3.2	Mar/27	1.4	Apr/27	18.6	May/27	76.2	Jun/27	0	Jul/27	0.6	Aug/27	0.2	Sep/27	0	Oct/27	0	Nov/27	5	Dec/27	25.6		
Jan/28	0	Feb/28	1.2	Mar/28	2.6	Apr/28	2	May/28	4.4	Jun/28	9	Jul/28	1.5	Aug/28	9.6	Sep/28	0	Oct/28	0	Nov/28	25.2	Dec/28	1		
Jan/29	0	Feb/29	0	Mar/29	28	Apr/29	1.4	May/29	0.2	Jun/29	3.4	Jul/29	0.4	Aug/29	0.2	Sep/29	10	Oct/29	2	Nov/29	29.6	Dec/29	0.2		
Jan/30	5.2			Mar/30	0.2	Apr/30	42.8	May/30	0	Jun/30	84.6	Jul/30	0.4	Aug/30	9.4	Sep/30	4.6	Oct/30	0	Nov/30	5	Dec/30	18.4		
Jan/31	0.8			Mar/31	0			May/31	0			Jul/31	0.4	Aug/31	0			Oct/31	0.6			Dec/31	4.8		

Gambar L-1. 1 Data Curah Hujan Tahun 2024

Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian



Gambar L-2. 1 Pengambilan Sampel Tanah FPB-03 Disposal



Gambar L-2. 2 Pengambilan Sampel Tanah FPB-01 PIT



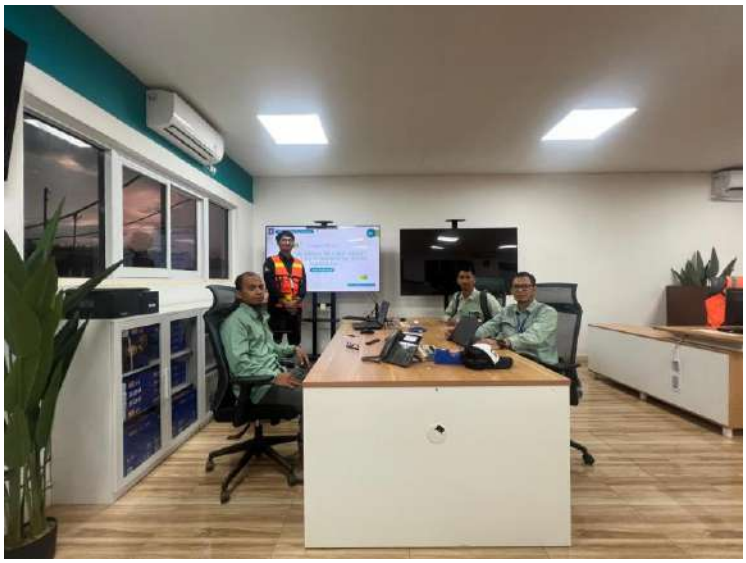
Gambar L-2. 3 Sampel Tanah FPB-03 Disposal



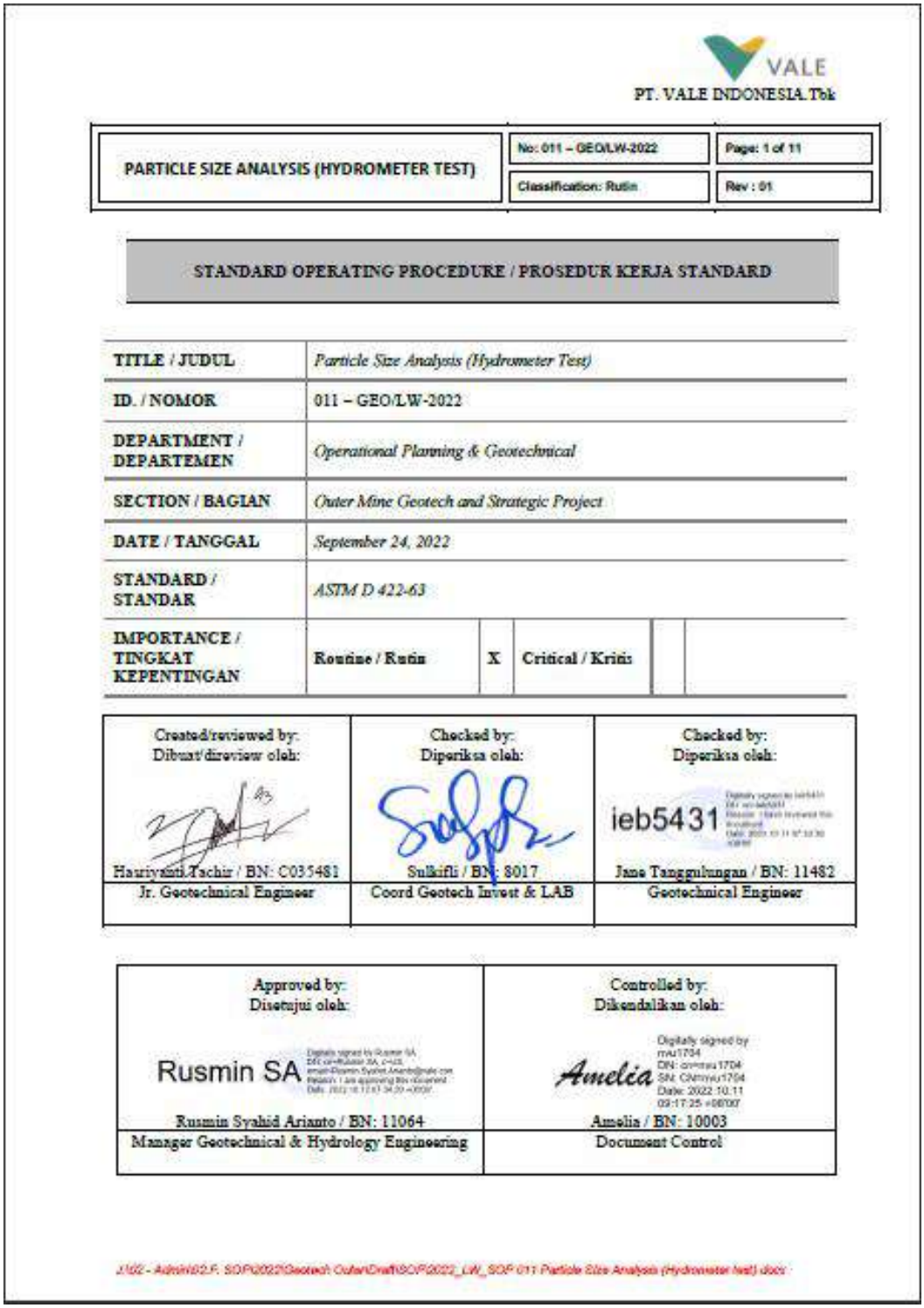
Gambar L-2. 4 Sampel Tanah FPB-01 PIT



Gambar L-2. 5 Pencatatan Analisis Hidrometer di Lab PT.Vale



Gambar L-2. 6 Hasil pemaparan penelitian di departemen Hidrologi dan Geotek PT.Vale



PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 1 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

STANDARD OPERATING PROCEDURE / PROSEDUR KERJA STANDARD

TITLE / JUDUL	*Particle Size Analysis (Hydrometer Test)*				
ID. / NOMOR	011 – GEO/LW-2022				
DEPARTMENT / DEPARTEMEN	*Operational Planning & Geotechnical*				
SECTION / BAGIAN	*Outer Mine Geotech and Strategic Project*				
DATE / TANGGAL	*September 24, 2022*				
STANDARD / STANDAR	*ASTM D 422-63*				
IMPORTANCE / TINGKAT KEPENTINGAN	**Routine / Rutin**	**X**	**Critical / Kritis**		

Created/reviewed by: Dibuat/direview oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:
Hariyanti Tachir / BN: C035481	Sulkifli / BN: 8017	Jane Tanggulungan / BN: 11482
Jr. Geotechnical Engineer	Coord Geotech Invest & LAB	Geotechnical Engineer

Approved by: Disetujui oleh:	Controlled by: Dikendalikan oleh:
Rusmin Syahid Arianto / BN: 11064	Amelia / BN: 10003
Manager Geotechnical & Hydrology Engineering	Document Control

J:\02 - Admin\02.F. SOP\2022\Geotech Outer\Draft\SOP\2022_LW_SOP 011 Particle Size Analysis (Hydrometer test).docx

Gambar L-2. 7 Lembar Uji Hidrometer DISPOSAL FPB-03

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 2 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

DAFTAR ISI

1. TUJUAN 3
2. ALAT PELINDUNG DIRI 3
3. ALAT DAN BAHAN 3
4. PROSEDUR KERJA 4
5. FORM PENGUJIAN HYDROMETER 10
6. DOCUMENT CONTROL 11

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 3 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)

1. TUJUAN

Untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah dan klasifikasi tanah. Distribusi ukuran partikel yang lebih besar dari 0,075 mm (saringan no. 200) dilakukan dengan analisa saringan, sedangkan distribusi ukuran partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm ditentukan dengan proses sedimentasi (analisis hidrometer)

2. ALAT PELINDUNG DIRI

Alat-alat Pelindung Diri Standar :

a. Pakaian Kerja.
b. Sepatu Kerja.
c. Kacamata safety.
d. Masker.
e. Sarung tangan

3. ALAT DAN BAHAN

3.1. Alat yang digunakan

a. Saringan no 200 dan Pan
b. Oven pengering
c. Wadah Penampung (Cawan)
d. Penumbuk karet
e. Cawan
f. Thermometer
g. Hydrometer 151 H atau 152 H
h. Mixer
i. Tabung silinder (kapasitas 1 liter)
j. Botol semprot
k. Spatula (alat pengaduk)
l. Timer
m. *Water Bath* atau bak air jika di butuhkan untuk pengujian hidrometer

3.2. Bahan yang digunakan

a. Sample tanah kering 50 gram lolos saringan no 200.
b. Air biasa atau Air Suling (Opsional namun lebih di rekomendasikan).
c. Larutan Natrium heksametafosfat (Calgon). Cara membuat larutan calgon adalah campur 40 gram sodium hexametafosfat dengan 1000 ml air suling. Kocok larutan sampai homogen dalam botol. Simpan larutan di tempat aman dengan suhu ruang maksimal sampai 1 bulan.

4. PROSEDUR KERJA

4.1 Tahap persiapan Sampel

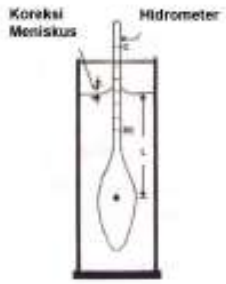
a. Siapkan sampel tanah yang telah dikeringkan untuk menghilangkan kandungan air menggunakan oven selama minimal 12 - 24 jam. Tumbuk sampel secara menyeluruh untuk memisahkan butir-butih tanah menjadi lebih halus.
b. Saring menggunakan ayakan no 200.
c. Ambil sampel tanah kering lolos saringan no 200 sebanyak 50 gram untuk pengujian hidrometer.
d. Pindahkan sampel tersebut kedalam wadah dan campur dengan 125 ml larutan calgon (fluka) kemudian rendam minimal selama 16 jam hingga 24 jam, atau dapat menggunakan waktu hasil optimasi yaitu waktu perendaman selama 2 jam.
e. Setelah proses perendaman, masukkan sampel kedalam tabung mixer dan tambahkan air hingga campuran setengah tabung mixer, lalu mixer selama 1 menit.

4.2 Tahapan pengujian hydrometer

4.2.1. Persiapan Uji Hydrometer

a. Lakukan Kalibrasi hydrometer, yaitu dengan mencampurkan 125 ml larutan fluka pada gelas ukur kapasitas 1000 ml, lalu tambahkan air hingga larutan mencapai 1000 ml, aduk hingga larutan tercampur,
b. Masukkan alat hydrometer pada gelas ukur tersebut, dan baca koreksi nol serta koreksi meniskusnya. Perlu diperhatikan bahwa batas atas meniskus harus dibaca, yang mana nilai tersebut adalah nilai koreksi nol (F_0), nilai ini bisa bernilai positif atau negatif. Dan juga perhatikan nilai koreksi meniskus (F_m), dimana nilai ini hanya bernilai positif. Tahapan ini khusus untuk membaca koreksi meniskus dan koreksi nol. Masukkan hidrometer dalam tabung gelas tersebut lalu dilakukan pembacaan pada ujung permukaan air yang menempel pada pada permukaan hidrometer. Pembacaan ini yang disebut zero correction,

dengan ketentuan bila di atas angka 0 (nol) berharga negatif dan bila di bawah angka 0 (nol) berharga positif. Meniscus correction (Fm) diperoleh dengan cara pembacaan permukaan air yang mendatar dikurangi dengan zero correction.



Gambar 1. Koreksi meniskus hydrometer

4.2.2 Pengujian hydrometer

a. Tuang sampel yang telah di mixer pada tahapan preparasi sampel ke dalam gelas ukur kapasitas 1000 ml, lalu tambahkan air hingga mencapai batas 1000 ml.
b. Tutup tabung silinder dengan telapak tangan lalu di kocok bolak balik ±60 kali (1 menit).
c. Posisikan tabung silinder pada tempat rata. Masukkan alat ukur hidrometer kedalam tabung silinder secara perlahan-lahan dan mulai pengukuran dengan aktifkan timer.
d. Lakukan pembacaan tinggi miniskus di hydrometer secara berkala sebanyak yang diperlukan. Urutan pembacaan 30 detik, 1 , 2 , 3, 5, 15, 30, 45, 60, 120, 240, 1440 menit.
e. Jika menggunakan bak perendam, masukkan tabung silinder kedalam bak perendaman antara interval pembacaan 2 dan 5 menit.
f. Untuk melakukan pembacaan hidrometer, masukkan hidrometer dengan hati-hati sekitar 20 sampai 25 detik sebelum pembacaan interval berikutnya.
g. Segera setelah pembacaan dilakukan, angkat hidrometer dengan hati-hati dan letakkan dengan gerakan berputar di dalam air.
h. Setiap selesai membaca hidrometer ukur suhu dalam larutan sampel.

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 6 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

4. PERHITUNGAN

Perhitungan koreksi temperatur (untuk nilai T antara 15°C sampai 28°C) :

$$F_T = -4{,}85 + 0{,}25T$$

Perhitungan koreksi pembacaan hidrometer untuk perhitungan persen lolos :

$$R_{cp} = R + F_T - F_z$$

Perhitungan persen lolos :

$$\%finer = \frac{a\,R_{cp}}{W_s}$$

Perhitungan koreksi terhadap berat jenis :

$$a = \frac{G_s\,(1{,}65)}{(G_s - 1)\,2{,}65}$$

Perhitungan koreksi pembacaan untuk penentuan panjang efektif :

$$R_{cL} = R + F_m$$

Perhitungan diameter butiran :

$$D = A\sqrt{\frac{L}{t}}$$

Dimana :

R	= Pembacaan hidrometer
R_{cp}	= Koreksi pembacaan hidrometer untuk perhitungan persen lolos
F_T	= Koreksi temperatur
F_z	= Koreksi nol
F_m	= Koreksi meniskus
a	= Koreksi terhadap berat jenis
W_s	= Berat tanah kering yang digunakan pada pemeriksaan hidrometer
G_s	= Berat jenis tanah
R_{cL}	= Koreksi pembacaan hidrometer untuk penentuan panjang efektif
L	= Panjang efektif
A	= Faktor A, fungsi dari G_s yang bergantung pada nilai temperatur benda uji
D	= Diameter butiran

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 7 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

Tabel 1. Variasi nilai a dengan G_s

G_s	a
2,50	1,04
2,55	1,02
2,60	1,01
2,65	1,00
2,70	0,99
2,75	0,98
2,80	0,97

Tabel 2. Variasi nilai L dengan pembacaan hydrometer 151 H

Hydrometer Reading	L (cm)	Hydrometer Reading	L (cm)
1.000	16,3	1.026	9,4
1.001	16,0	1.027	9,2
1.002	15,8	1.028	8,9
1.003	15,5	1.029	8,6
1.004	15,2	1.030	8,4
1.005	15,0	1.031	8,1
1.006	14,7	1.032	7,8
1.007	14,4	1.033	7,6
1.008	14,2	1.034	7,3
1.009	13,9	1.035	7,0
1.010	13,7	1.036	6,8
1.011	13,4	1.037	6,5
1.012	13,1	1.038	6,2
1.013	12,9		
1.014	12,6		
1.015	12,3		
1.016	12,1		
1.017	11,8		
1.018	11,5		
1.019	11,3		
1.020	11,0		
1.021	10,7		
1.022	10,5		
1.023	10,2		
1.024	10,0		
1.025	9,7		

VALE

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 8 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

Tabel 3. Variasi nilai *L* dengan pembacaan hydrometer 152 H

Hydrometer Reading	*L* (cm)	Hydrometer Reading	*L* (cm)
0	16,3	26	12,0
1	16,1	27	11,9
2	16,0	28	11,7
3	15,8	29	11,5
4	15,6	30	11,4
5	15,5	31	11,2
6	15,3	32	11,1
7	15,2	33	10,9
8	15,0	34	10,7
9	14,8	35	10,6
10	14,7	36	10,4
11	14,5	37	10,2
12	14,3	38	10,1
13	14,2	39	9,9
14	14,0	40	9,7
15	13,8	41	9,6
16	13,7	42	9,4
17	13,5	43	9,2
18	13,3	44	9,1
19	13,2	45	8,9
20	13,0	46	8,8
21	12,9	47	8,6
22	12,7	48	8,4
23	12,5	49	8,3
24	12,4	50	8,1
25	12,2	51	7,9

VALE

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 9 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

Tabel 4. Variasi nilai *A* dengan nilai G_s

G_s	Suhu (°C)						
	17	18	19	20	21	22	23
2,50	0,0149	0,0147	0,0145	0,0143	0,0141	0,0140	0,0138
2,55	0,0146	0,0144	0,0143	0,0141	0,0139	0,0137	0,0136
2,60	0,0144	0,0142	0,1040	0,0139	0,0137	0,0135	0,0134
2,65	0,0142	0,0140	0,0138	0,0137	0,0135	0,0133	0,0132
2,70	0,0140	0,0138	0,1036	0,0134	0,0133	0,0131	0,0130
2,75	0,0138	0,0136	0,0134	0,0133	0,0131	0,0129	0,0128
2,80	0,0136	0,0134	0,0132	0,0131	0,0129	0,0128	0,0126

G_s	Suhu (°C)						
	24	25	26	27	28	29	30
2,50	0,0137	0,0135	0,0133	0,0132	0,0130	0,0129	0,0128
2,55	0,0134	0,0133	0,0131	0,0130	0,0128	0,0127	0,0126
2,60	0,0132	0,0131	0,0129	0,0128	0,0126	0,0125	0,0124
2,65	0,0130	0,0129	0,0127	0,0126	0,0124	0,0123	0,0122
2,70	0,0128	0,0127	0,0125	0,0124	0,0123	0,0121	0,0120
2,75	0,0126	0,0125	0,0124	0,0122	0,0121	0,0120	0,0118
2,80	0,0125	0,0123	0,0122	0,0120	0,0119	0,0118	0,0117

VALE
PT. VALE INDONESIA.Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 10 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

5. FORM PENGUJIAN HYDROMETER

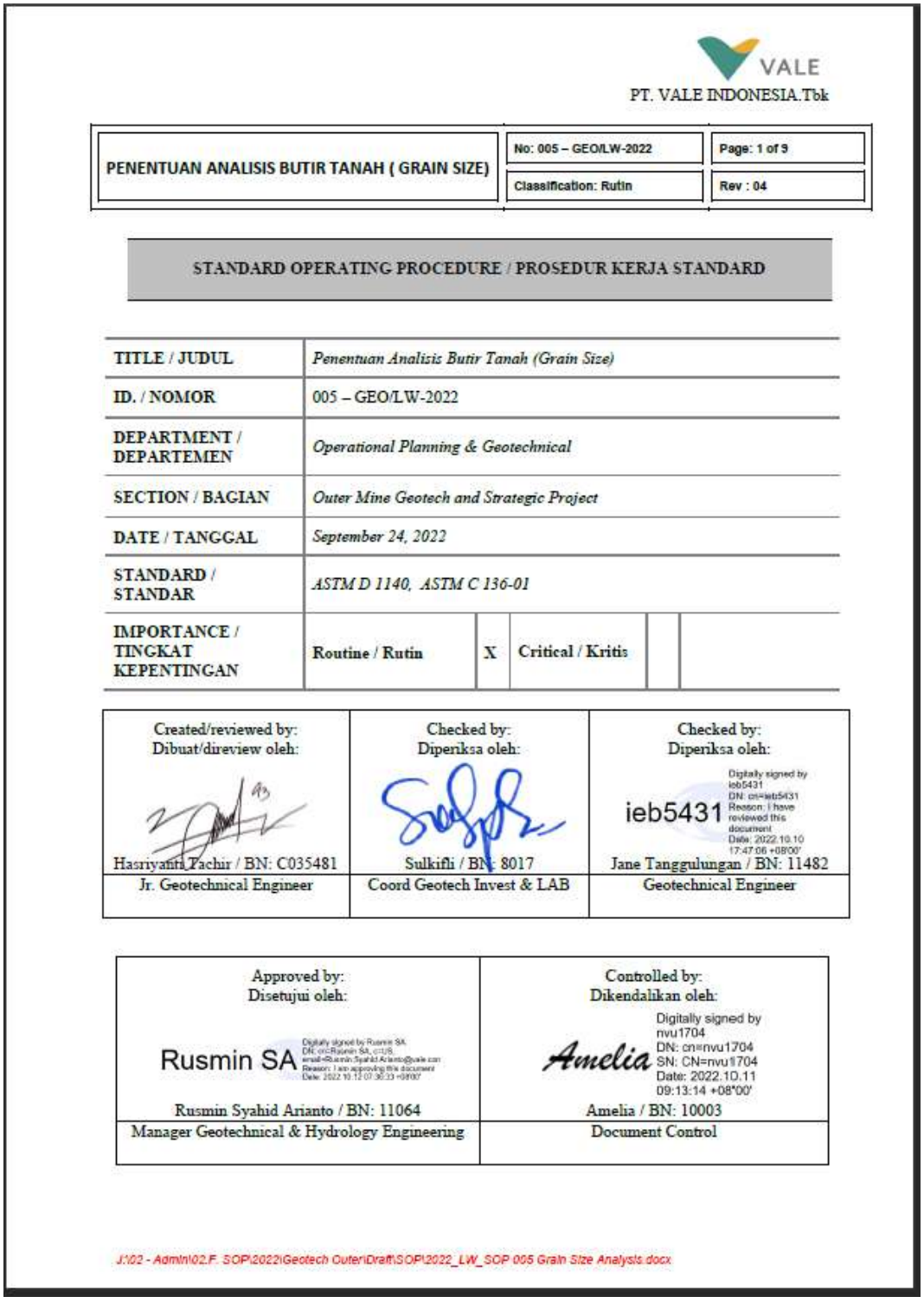
HYDROMETER TEST					
Date	=	02/05/2025	Job No.	=	
Tested By	=	Ramadhika Lutfi P	Sample No	=	1
Checked By	=	Ir. Hinul Yaqin, S.T	Depth (m)	=	
			Project	=	
			Location	=	Disposal FPB - 03

Hydrometer Type	
Spesific Gravity, Gs	
Temperature of Test, T (°C)	
Meniscus Correction, Fm	
Zero Correction, Fz	
Temperature Correction, Ft	
Spesific Gravity Correction, a	

Time (Minute)	R, Hydrometer Actual Reading	Rcp = R+Ft-Fz	%Finer = ((a x Rcp)/Ws)x100%	RcL= R+Fm	L, Effective Length (cm)	D=A√L/t (mm)
0.50	37	39	78,78	37	10,2	0,0582
1.00	35	37	74,74	35	10,6	0,0419
2	35	35	70,7	33	10,9	0,030
3	30	32	64,64	30	11,4	0,025
5	29	31	62,62	29	11,5	0,019
15	27	29	58,58	27	11,9	0,014
30	26	28	56,56	26	12	0,0099
45	25	27	54,54	25	12,2	0,0067
60	24	26	52,52	24	12,4	0,0058
120	21	23	46,46	21	12,8	0,0042
250	19	21	42,42	19	13,2	0,0029
1440	10	12	24,24	10	14,7	0,003

6. DOCUMENT CONTROL

Version Versi	Date Tanggal	Reason for Change Alasan perubahan
0.0	23 September 2014	New SOP
1.0	24 September 2022	Review dan perubahan format SOP



VALE

PT. VALE INDONESIA.Tbk

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)	No: 005 – GEO/LW-2022	Page: 1 of 9
	Classification: Rutin	Rev : 04

STANDARD OPERATING PROCEDURE / PROSEDUR KERJA STANDARD

TITLE / JUDUL	*Penentuan Analisis Butir Tanah (Grain Size)*				
ID. / NOMOR	005 – GEO/LW-2022				
DEPARTMENT / DEPARTEMEN	*Operational Planning & Geotechnical*				
SECTION / BAGIAN	*Outer Mine Geotech and Strategic Project*				
DATE / TANGGAL	*September 24, 2022*				
STANDARD / STANDAR	*ASTM D 1140, ASTM C 136-01*				
IMPORTANCE / TINGKAT KEPENTINGAN	**Routine / Rutin**	**X**	**Critical / Kritis**		

Created/reviewed by: Dibuat/direview oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:
Hasriyanti Tachir / BN: C035481	Sulkifli / BN: 8017	Jane Tanggulungan / BN: 11482
Jr. Geotechnical Engineer	Coord Geotech Invest & LAB	Geotechnical Engineer

Approved by: Disetujui oleh:	Controlled by: Dikendalikan oleh:
Rusmin Syahid Arianto / BN: 11064	Amelia / BN: 10003
Manager Geotechnical & Hydrology Engineering	Document Control

J:\03 - Admin\02.F. SOP\2022\Geotech Outer\Draft\SOP\2022_LW_SOP 005 Grain Size Analysis.docx

Gambar L-2. 8 Lembar Analisis Butir Tanah DISPOSAL FPB-03

DAFTAR ISI

1. TUJUAN 3
2. ALAT PELINDUNG DIRI 3
3. PERKAKAS DAN PERALATAN 3
4. PROSEDUR PEKERJAAN 4
5. PERHITUNGAN 6
6. FORM PENGUJIAN ANALISA SARINGAN 8
7. DOCUMENT CONTROL 9

PT. VALE INDONESIA.Tbk

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)	No: 005 – GEO/LW-2022	Page: 3 of 9
	Classification: Rutin	Rev : 04

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)

1. TUJUAN

Untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah. Analisa ukuran butir tanah merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Tes ini dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir dan gradasi tanah yang tertahan hingga saringan No. 200. Pengujian ini dibagi menjadi 2, yaitu pengujian dengan material yang banyak mengandung fraksi butiran kasar, dan pengujian pada material yang sedikit mengandung fraksi butiran kasar (tanah berbutir halus).

2. ALAT PELINDUNG DIRI

Alat-alat Pelindung Diri Standar :

- Pakaian Kerja.
- Sepatu Kerja.
- Kacamata *safety*
- Masker
- Sarung Tangan

3. PERKAKAS DAN PERALATAN

a. Khusus

- Untuk material yang banyak mengandung pasir dan kerikil (material berbutir kasar) digunakan satu set ayakan (3 inch, 2 inch 1 ½ inch, 1 inch, 3/4 inch, 3/8 inch, #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan)
- Untuk material yang sedikit mengandung material berbutir kasar dan didominasi oleh tanah berbutir halus digunakan satu set ayakan (No. #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan)
- Larutan Fluka (Opsional)

b. Umum

- Sikat pembersih ayakan
- Timbangan (ketelitian 0,1 gr)
- *Oven* pengering
- Wadah Penampung
- Penumbuk karet

4. PROSEDUR PEKERJAAN

4.1 Tahap persiapan Pengujian

Persiapan Larutan Fluka.

i. Siapkan bahan kimia (misalnya sodium hexametapospat/Calgon) yang dapat digunakan untuk mencegah butiran-butiran tanah untuk berflokulasi.
ii. Campur 40 gram kalgon kedalam 1000 ml air suling.
iii. Kocok larutan sampai homogen dalam botol.
iv. Simpan larutan di tempat aman dengan suhu ruang.

4.2 Tahap Pengujian Analisa Saringan

4.2.1 Analisa Saringan Material Dominan Berbutir Kasar (Dominan Pasir dan Kerikil)

i. Sampel yang digunakan yaitu Sampel tanah UDS (Undisturbed Sample), Sample SPT (Standard Penetration Test), atau Sampel quarry.
ii. Masukkan sampel secukupnya kedalam oven minimal selama 12 hingga 24 jam untuk menghilangkan kandungan air yang masih terdapat pada tanah.
iii. Keluarkan sampel tanah dari dalam oven dan tumbuk menggunakan penumbuk karet untuk melepas butiran tanah yang masih menggumpal.
iv. Lakulan proses penyaringan sampel tanah kering menggunakan satu set saringan 3 inch, 2 inch 1 ½ inch, 1 inch, 3/4 inch, 3/8 inch, #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan. Sebelum proses penyaringan, timbang terlebih dahulu berat masing-masing saringan dalam keadaan kosong dan bersih. Proses pengayakan disarankan menggunakan alat penyaring otomatis minimal selama 10 menit atau hingga material telah tertahan pada tiap masing-masing saringan dan tidak ada lagi material yang berjatuhan.
v. Timbang berat sampel pada tiap saringan dengan mengurangkan berat saringan berisi sampel tanah dengan berat saringan kosong.
vi. Catat masing-masing berat tanah yang tertahan pada tiap saringan.
vii. Lakukan analisis perhitungan.
viii. Biasanya untuk material dominan berbutir kasar, sampel tanah yang lolos saringan no 200 kurang dari 35%, sehingga tidak perlu dilakukan proses penyaringan basah atau analisis hydrometer, pengklasifikasian material didasarkan pada nilai Cu (Koefisien Keseragaman) dan Cc (Koefisien Gradasi).

4.2.2 Analisa Saringan Material Dominan Berbutir Halus (Dominan Lanau dan Lempung)

i. Sampel yang digunakan yaitu sampel tanah UDS (Undisturbed Sample) atau sample SPT (Sample Penetration Test).

ii. Masukkan sampel tanah secukupnya kedalam oven minimal selama 12 jam hingga 24 jam untuk menghilangkan kandungan air yang masih terdapat pada tanah.

iii. Keluarkan sampel tanah dari dalam oven dan tumbuk menggunakan penumbuk karet untuk melepas butiran tanah yang masih menggumpal.

iv. Ambil sebanyak minimal 200 gram, timbang dan catat berat tanah yang digunakan.

v. Rendam sampel tanah tersebut menggunakan larutan fluka minimal selama 2 jam (tahapan ini bersifat opsional agar proses pelepasan ikatan butir tanah lebih maksimal).

vi. Saring sampel tanah tadi menggunakan unit saringan No. 200 dibawah air mengalir hingga air yang melewati saringan menjadi bersih, untuk menghilangkan sisa material lempung.

vii. Setelah proses penyaringan, masukkan ke oven selama minimal 12 jam hingga 24 jam dengan suhu 110 derajat celcius atau dapat menggunakan waktu hasil optimasi yaitu minimal selama 3 jam.

viii. Keluarkan sampel dari oven, tunggu hingga dingin, dan timbang sampel tanah tersebut, kurangkan berat tanah kering sebelum proses penyaringan basah dengan berat tanah kering setelah proses penyaringan basah, selisih berat tersebut merupakan berat tanah lolos saringan No 200.

ix. Lakukan proses penyaringan tanah kering yang tertahan pada saringan no 200, menggunakan satu set saringan No. #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan. Sebelum proses penyaringan, timbang terlebih dahulu berat masing-masing saringan dalam keadaan kosong dan bersih. Proses pengayakan dapat menggunakan alat penyaring otomatis atau disaring secara manual minimal selama 10 menit atau hingga material telah tertahan pada tiap masing-masing saringan dan tidak ada lagi material yang berjatuhan.

x. Timbang berat tanah pada tiap saringan dengan mengurangkan berat saringan berisi sampel tanah dengan berat saringan kosong.

xi. Catat masing-masing berat tanah yang tertahan pada tiap saringan.

xii. Lakukan analisis perhitungan.

xiii. Jika material tanah lolos saringan no 200 lebih dari 35% dari total material yang digunakan, maka dilanjutkan dengan proses analisis hydrometer untuk mendapatkan persentase lanau dan lempung.

VALE
PT. VALE INDONESIA.Tbk

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)	No: 005 – GEO/LW-2022	Page: 6 of 9
	Classification: Rutin	Rev : 04

5. PERHITUNGAN

Perhitungan persen tertahan pada saringan ke- n :

$$R_n = \frac{W_n}{W} \times 100\%$$

Perhitungan persen kumulatif tertahan pada saringan ke- n :

$$\sum R_n = \sum_{i=2}^{i=n} R_n$$

Perhitungan persen kumulatif lolos pada saringan ke- n :

$$\%finer = 100 - \sum_{i=2}^{i=n} R_n$$

Perhitungan nilai koefisien keseragaman :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Perhitungan nilai koefisien gradasi :

$$C_c = \frac{D_{30}{}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Dimana :

W_n : Berat tertahan pada saringan ke- n
W : Berat total tanah
R_n : Persen tertahan pada saringan ke- n
$\sum R_n$: Persen kumulatif tertahan pada saringan ke- n
$\%finer$: Persen kumulatif lolos pada saringan ke- n
C_u : Koefisien keseragaman
C_c : Koefisien gradasi
D_{10} : Diameter butiran yang sesuai dengan 10% lolos

D_{30} : Diameter butiran yang sesuai dengan 30% lolos

D_{60} : Diameter butiran yang sesuai dengan 60% lolos

VALE

PT. VALE INDONESIA.Tbk

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)	No: 005 – GEO/LW-2022	Page: 8 of 9
	Classification: Rutin	Rev : 04

6. FORM PENGUJIAN ANALISA SARINGAN

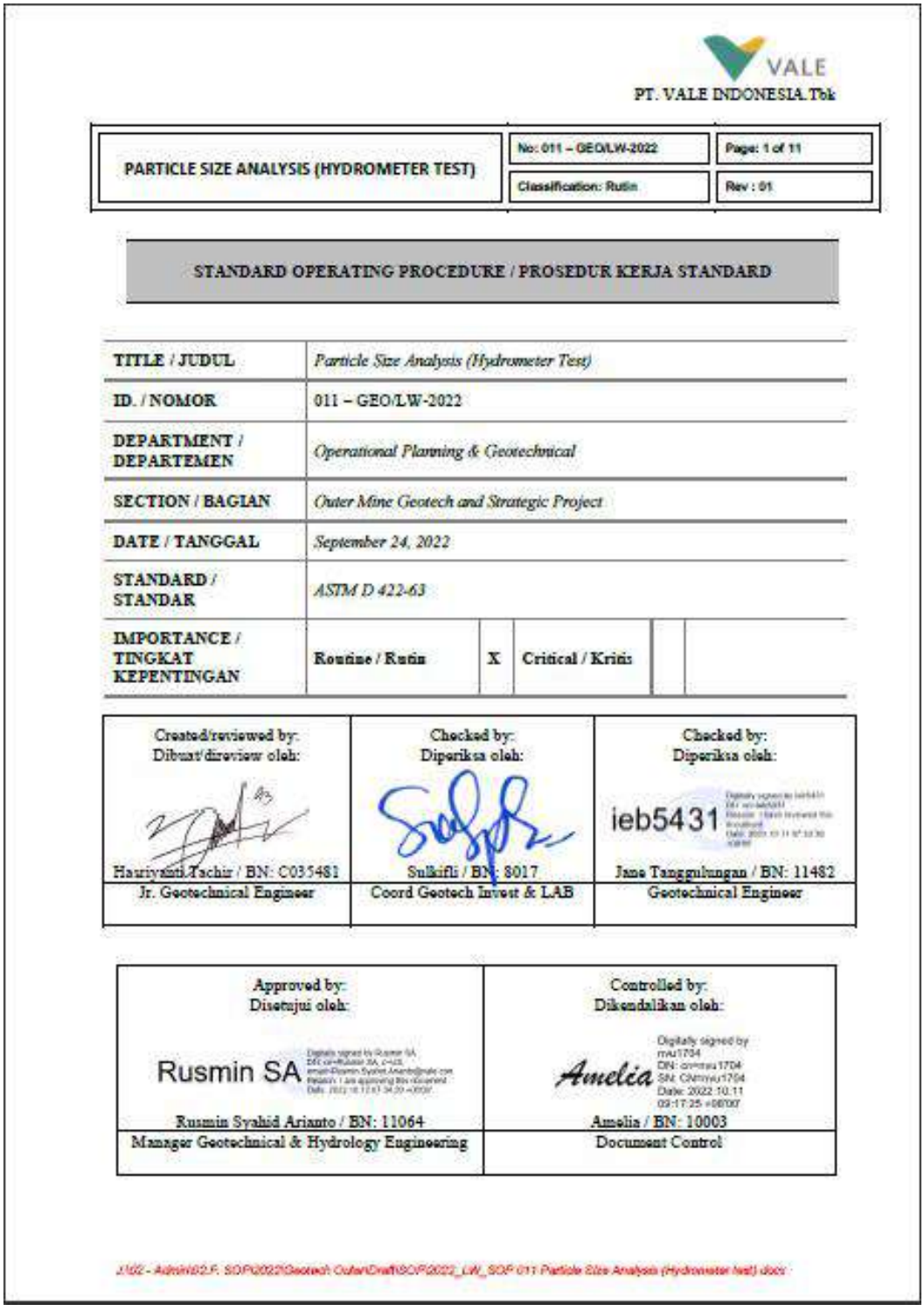
GRAIN SIZE ANALYSIS					
Date	=	30/04/2025	Job No.	=	
Tested By	=	Pamadhika Cursi P.	Sample No	=	1.
Checked By	=	Ir. Amal Yasin, ST	Depth (m)	=	
			Project	=	
			Location	=	Disposal FPB-03

Total Mass of Soil =

Sieve No	Diameter (mm)	Sieve Weight (gr)	Sieve weight+soil (gr)	Retained soil weight (gr)	Retained Cum Weight (gr)	Percent Retained Cum Weight (gr)	Percent Finer Sieve Analysis (%)
3"	75						
2"	50						
1 ½"	37,5						
1"	25						
3/4"	19						
3/8"	9,5						
4	4.75	548	549,98	2,98	1,489	1,219	98,51
10	2.00	957,45	964,80	7,45	3,725	5,205	94,795
16	1.18	791,79	798,83	6,86	2,98	8,095	91,905
30	0.6	704,40	712,41	7,75	3,885	11,91	88,09
50	0.3	727,89	730,84	2,85	1,424	13,335	86,665
100	0.15	803,92	805,35	1,43	0,715	14,05	85,95
200	0.075	786,89	787,93	0,93	0,465	14,515	85,485
Pan	-						

7. DOCUMENT CONTROL

Version Versi	Date Tanggal	Reason for Change Alasan perubahan
0.0	09 April 2008	New SOP
1.0	23 September 2014	Review SOP
2.0	06 April 2020	Perubahan Format SOP dan Regular Review tiap 5 tahun
3.0	22 Oktober 2020	Review SOP
4.0	24 September 2022	Review dan update format SOP



PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 1 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

STANDARD OPERATING PROCEDURE / PROSEDUR KERJA STANDARD

TITLE / JUDUL	*Particle Size Analysis (Hydrometer Test)*				
ID. / NOMOR	011 – GEO/LW-2022				
DEPARTMENT / DEPARTEMEN	*Operational Planning & Geotechnical*				
SECTION / BAGIAN	*Outer Mine Geotech and Strategic Project*				
DATE / TANGGAL	*September 24, 2022*				
STANDARD / STANDAR	*ASTM D 422-63*				
IMPORTANCE / TINGKAT KEPENTINGAN	**Routine / Rutin**	**X**	**Critical / Kritis**		

Created/reviewed by: Dibuat/direview oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:
Hauriyanti Tachir / BN: C035481	Sulkifli / BN: 8017	Jane Tanggulungan / BN: 11482
Jr. Geotechnical Engineer	Coord Geotech Invest & LAB	Geotechnical Engineer

Approved by: Disetujui oleh:	Controlled by: Dikendalikan oleh:
Rusmin Syahid Arianto / BN: 11064	Amelia / BN: 10003
Manager Geotechnical & Hydrology Engineering	Document Control

J:\02 - Admin\02.F. SOP\2022\Geotech Outer\Draft\SOP2022_LW_SOP 011 Particle Size Analysis (Hydrometer test).docx

Gambar L-2. 9 Lembar Uji Hidrometer PIT FPB-01

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 2 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

DAFTAR ISI

1. TUJUAN 3
2. ALAT PELINDUNG DIRI 3
3. ALAT DAN BAHAN 3
4. PROSEDUR KERJA 4
5. FORM PENGUJIAN HYDROMETER 10
6. DOCUMENT CONTROL 11

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 3 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)

1. TUJUAN

Untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah dan klasifikasi tanah. Distribusi ukuran partikel yang lebih besar dari 0,075 mm (saringan no. 200) dilakukan dengan analisa saringan, sedangkan distribusi ukuran partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm ditentukan dengan proses sedimentasi (analisis hidrometer)

2. ALAT PELINDUNG DIRI

Alat-alat Pelindung Diri Standar :

a. Pakaian Kerja.
b. Sepatu Kerja.
c. Kacamata safety.
d. Masker.
e. Sarung tangan

3. ALAT DAN BAHAN

3.1. Alat yang digunakan

a. Saringan no 200 dan Pan
b. Oven pengering
c. Wadah Penampung (Cawan)
d. Penumbuk karet
e. Cawan
f. Thermometer
g. Hydrometer 151 H atau 152 H
h. Mixer
i. Tabung silinder (kapasitas 1 liter)
j. Botol semprot
k. Spatula (alat pengaduk)
l. Timer
m. *Water Bath* atau bak air jika di butuhkan untuk pengujian hidrometer

3.2. Bahan yang digunakan

a. Sample tanah kering 50 gram lolos saringan no 200.
b. Air biasa atau Air Suling (Opsional namun lebih di rekomendasikan).
c. Larutan Natrium heksametafosfat (Calgon). Cara membuat larutan calgon adalah campur 40 gram sodium hexametafosfat dengan 1000 ml air suling. Kocok larutan sampai homogen dalam botol. Simpan larutan di tempat aman dengan suhu ruang maksimal sampai 1 bulan.

4. PROSEDUR KERJA

4.1 Tahap persiapan Sampel

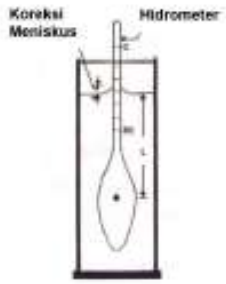
a. Siapkan sampel tanah yang telah dikeringkan untuk menghilangkan kandungan air menggunakan oven selama minimal 12 - 24 jam. Tumbuk sampel secara menyeluruh untuk memisahkan butir-butih tanah menjadi lebih halus.
b. Saring menggunakan ayakan no 200.
c. Ambil sampel tanah kering lolos saringan no 200 sebanyak 50 gram untuk pengujian hidrometer.
d. Pindahkan sampel tersebut kedalam wadah dan campur dengan 125 ml larutan calgon (fluka) kemudian rendam minimal selama 16 jam hingga 24 jam, atau dapat menggunakan waktu hasil optimasi yaitu waktu perendaman selama 2 jam.
e. Setelah proses perendaman, masukkan sampel kedalam tabung mixer dan tambahkan air hingga campuran setengah tabung mixer, lalu mixer selama 1 menit.

4.2 Tahapan pengujian hydrometer

4.2.1. Persiapan Uji Hydrometer

a. Lakukan Kalibrasi hydrometer, yaitu dengan mencampurkan 125 ml larutan fluka pada gelas ukur kapasitas 1000 ml, lalu tambahkan air hingga larutan mencapai 1000 ml, aduk hingga larutan tercampur,
b. Masukkan alat hydrometer pada gelas ukur tersebut, dan baca koreksi nol serta koreksi meniskusnya. Perlu diperhatikan bahwa batas atas meniskus harus dibaca, yang mana nilai tersebut adalah nilai koreksi nol (F_1), nilai ini bisa bernilai positif atau negatif. Dan juga perhatikan nilai koreksi meniskus (F_m), dimana nilai ini hanya bernilai positif. Tahapan ini khusus untuk membaca koreksi meniskus dan koreksi nol. Masukkan hidrometer dalam tabung gelas tersebut lalu dilakukan pembacaan pada ujung permukaan air yang menempel pada pada permukaan hidrometer. Pembacaan ini yang disebut zero correction,

dengan ketentuan bila di atas angka 0 (nol) berharga negatif dan bila di bawah angka 0 (nol) berharga positif. Meniscus correction (Fm) diperoleh dengan cara pembacaan permukaan air yang mendatar dikurangi dengan zero correction.



Gambar 1. Koreksi meniskus hydrometer

4.2.2 Pengujian hydrometer

a. Tuang sampel yang telah di mixer pada tahapan preparasi sampel ke dalam gelas ukur kapasitas 1000 ml, lalu tambahkan air hingga mencapai batas 1000 ml.
b. Tutup tabung silinder dengan telapak tangan lalu di kocok bolak balik ±60 kali (1 menit).
c. Posisikan tabung silinder pada tempat rata. Masukkan alat ukur hidrometer kedalam tabung silinder secara perlahan-lahan dan mulai pengukuran dengan aktifkan timer.
d. Lakukan pembacaan tinggi miniskus di hydrometer secara berkala sebanyak yang diperlukan. Urutan pembacaan 30 detik, 1 , 2 , 3, 5, 15, 30, 45, 60, 120, 240, 1440 menit.
e. Jika menggunakan bak perendam, masukkan tabung silinder kedalam bak perendaman antara interval pembacaan 2 dan 5 menit.
f. Untuk melakukan pembacaan hidrometer, masukkan hidrometer dengan hati-hati sekitar 20 sampai 25 detik sebelum pembacaan interval berikutnya.
g. Segera setelah pembacaan dilakukan, angkat hidrometer dengan hati-hati dan letakkan dengan gerakan berputar di dalam air.
h. Setiap selesai membaca hidrometer ukur suhu dalam larutan sampel.

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 6 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

4. PERHITUNGAN

Perhitungan koreksi temperatur (untuk nilai T antara 15°C sampai 28°C) :

$$F_T = -4{,}85 + 0{,}25T$$

Perhitungan koreksi pembacaan hidrometer untuk perhitungan persen lolos :

$$R_{cp} = R + F_T - F_z$$

Perhitungan persen lolos :

$$\%finer = \frac{a\,R_{cp}}{W_s}$$

Perhitungan koreksi terhadap berat jenis :

$$a = \frac{G_s\,(1{,}65)}{(G_s - 1)\,2{,}65}$$

Perhitungan koreksi pembacaan untuk penentuan panjang efektif :

$$R_{cL} = R + F_m$$

Perhitungan diameter butiran :

$$D = A\sqrt{\frac{L}{t}}$$

Dimana :

R	= Pembacaan hidrometer
R_{cp}	= Koreksi pembacaan hidrometer untuk perhitungan persen lolos
F_T	= Koreksi temperatur
F_z	= Koreksi nol
F_m	= Koreksi meniskus
a	= Koreksi terhadap berat jenis
W_s	= Berat tanah kering yang digunakan pada pemeriksaan hidrometer
G_s	= Berat jenis tanah
R_{cL}	= Koreksi pembacaan hidrometer untuk penentuan panjang efektif
L	= Panjang efektif
A	= Faktor A, fungsi dari G_s yang bergantung pada nilai temperatur benda uji
D	= Diameter butiran

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 7 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

Tabel 1. Variasi nilai a dengan G_s

G_s	a
2,50	1,04
2,55	1,02
2,60	1,01
2,65	1,00
2,70	0,99
2,75	0,98
2,80	0,97

Tabel 2. Variasi nilai L dengan pembacaan hydrometer 151 H

Hydrometer Reading	L (cm)	Hydrometer Reading	L (cm)
1.000	16,3	1.026	9,4
1.001	16,0	1.027	9,2
1.002	15,8	1.028	8,9
1.003	15,5	1.029	8,6
1.004	15,2	1.030	8,4
1.005	15,0	1.031	8,1
1.006	14,7	1.032	7,8
1.007	14,4	1.033	7,6
1.008	14,2	1.034	7,3
1.009	13,9	1.035	7,0
1.010	13,7	1.036	6,8
1.011	13,4	1.037	6,5
1.012	13,1	1.038	6,2
1.013	12,9		
1.014	12,6		
1.015	12,3		
1.016	12,1		
1.017	11,8		
1.018	11,5		
1.019	11,3		
1.020	11,0		
1.021	10,7		
1.022	10,5		
1.023	10,2		
1.024	10,0		
1.025	9,7		

VALE

PT. VALE INDONESIA Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 8 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

Tabel 3. Variasi nilai *L* dengan pembacaan hydrometer 152 H

Hydrometer Reading	*L* (cm)	Hydrometer Reading	*L* (cm)
0	16,3	26	12,0
1	16,1	27	11,9
2	16,0	28	11,7
3	15,8	29	11,5
4	15,6	30	11,4
5	15,5	31	11,2
6	15,3	32	11,1
7	15,2	33	10,9
8	15,0	34	10,7
9	14,8	35	10,6
10	14,7	36	10,4
11	14,5	37	10,2
12	14,3	38	10,1
13	14,2	39	9,9
14	14,0	40	9,7
15	13,8	41	9,6
16	13,7	42	9,4
17	13,5	43	9,2
18	13,3	44	9,1
19	13,2	45	8,9
20	13,0	46	8,8
21	12,9	47	8,6
22	12,7	48	8,4
23	12,5	49	8,3
24	12,4	50	8,1
25	12,2	51	7,9

Tabel 4. Variasi nilai *A* dengan nilai G_s

G_s	Suhu (°C)						
	17	18	19	20	21	22	23
2,50	0,0149	0,0147	0,0145	0,0143	0,0141	0,0140	0,0138
2,55	0,0146	0,0144	0,0143	0,0141	0,0139	0,0137	0,0136
2,60	0,0144	0,0142	0,1040	0,0139	0,0137	0,0135	0,0134
2,65	0,0142	0,0140	0,0138	0,0137	0,0135	0,0133	0,0132
2,70	0,0140	0,0138	0,1036	0,0134	0,0133	0,0131	0,0130
2,75	0,0138	0,0136	0,0134	0,0133	0,0131	0,0129	0,0128
2,80	0,0136	0,0134	0,0132	0,0131	0,0129	0,0128	0,0126

G_s	Suhu (°C)						
	24	25	26	27	28	29	30
2,50	0,0137	0,0135	0,0133	0,0132	0,0130	0,0129	0,0128
2,55	0,0134	0,0133	0,0131	0,0130	0,0128	0,0127	0,0126
2,60	0,0132	0,0131	0,0129	0,0128	0,0126	0,0125	0,0124
2,65	0,0130	0,0129	0,0127	0,0126	0,0124	0,0123	0,0122
2,70	0,0128	0,0127	0,0125	0,0124	0,0123	0,0121	0,0120
2,75	0,0126	0,0125	0,0124	0,0122	0,0121	0,0120	0,0118
2,80	0,0125	0,0123	0,0122	0,0120	0,0119	0,0118	0,0117

VALE
PT. VALE INDONESIA.Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 10 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

5. FORM PENGUJIAN HYDROMETER

HYDROMETER TEST					
Date	=	02/05/2025	Job No.	=	
Tested By	=	Ramadhika Eka Putri P.	Sample No	=	2.
Checked By	=	Ir. Andi Yasin, ST.	Depth (m)	=	
			Project	=	
			Location	=	Pit FPB-01

Hydrometer Type	
Spesific Gravity, Gs	
Temperature of Test, T (°C)	
Meniscus Correction, Fm	
Zero Correction, Fz	
Temperature Correction, Ft	
Spesific Gravity Correction, α	

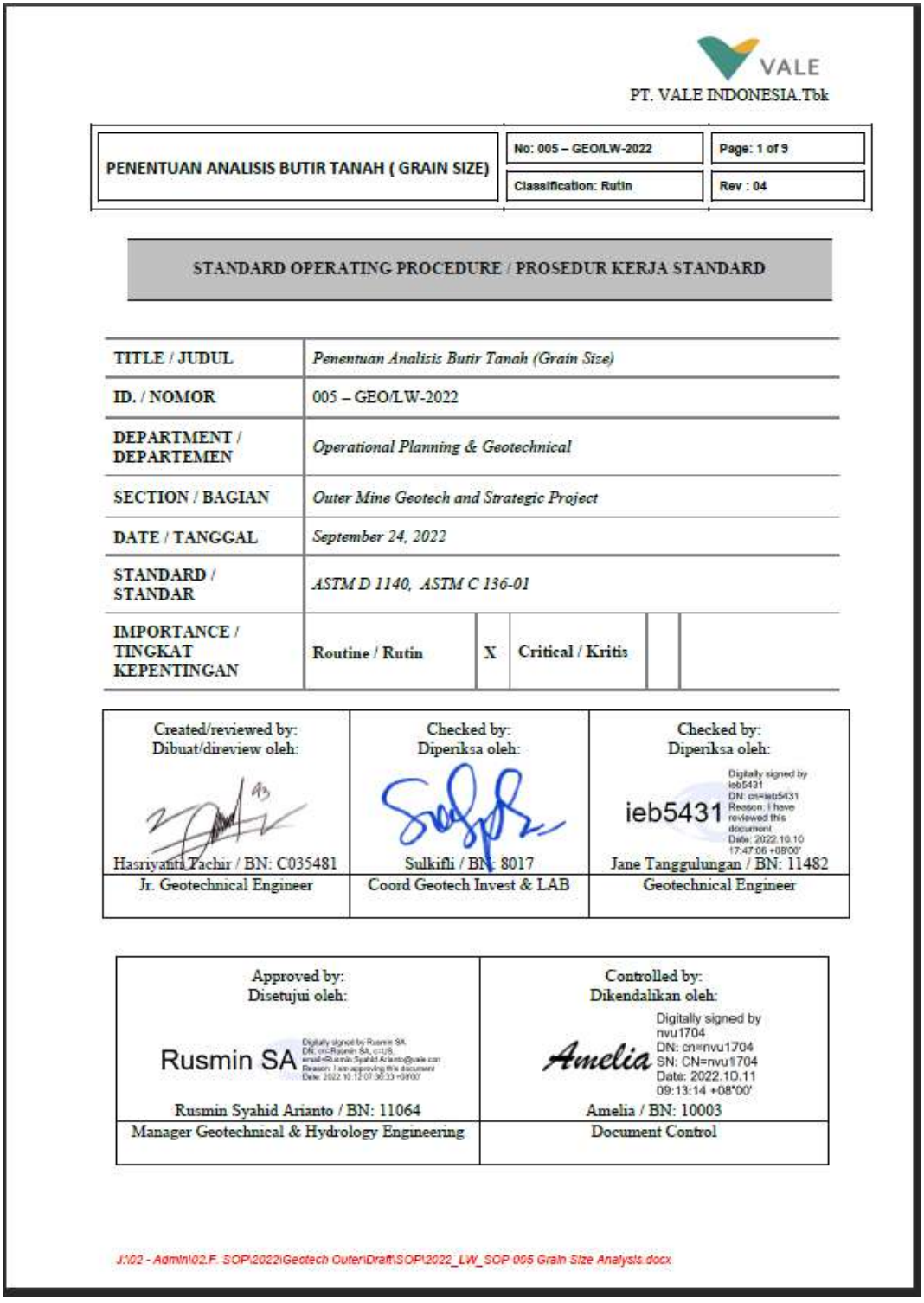
Time (Minute)	R, Hydrometer Actual Reading	Rcp = R+Ft-Fz	%Finer = ((α x Rcp)/Ws)x100%	ReL= R+Fm	L, Effective Length (cm)	D=A√L/t (mm)
0.50	33	35	70,7	33	10,9	0,062
1.00	32	34	68,68	32	11,1	0,0425
2	31	33	66,66	31	11,2	0,030
3	29	31	62,62	29	11,5	0,0252
5	28	30	60,6	28	11,7	0,0189
15	26	29	54,54	26	12,2	0,011
30	23	25	50,5	23	12,5	0,0083
45	21	23	46,46	21	12,9	0,0073
60	20	22	44,44	20	13	0,0060
120	18	20	40,4	18	13,3	0,0042
250	15	19	54,54	15	13,8	0,0030
1440	10	12	24,24	10	14,7	0,0018

PT. VALE INDONESIA.Tbk

PARTICLE SIZE ANALYSIS (HYDROMETER TEST)	No: 011 – GEO/LW-2022	Page: 11 of 11
	Classification: Rutin	Rev : 01

6. DOCUMENT CONTROL

Version Versi	Date Tanggal	Reason for Change Alasan perubahan
0.0	23 September 2014	New SOP
1.0	24 September 2022	Review dan perubahan format SOP



PT. VALE INDONESIA.Tbk

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)	No: 005 – GEO/LW-2022	Page: 1 of 9
	Classification: Rutin	Rev : 04

STANDARD OPERATING PROCEDURE / PROSEDUR KERJA STANDARD

TITLE / JUDUL	*Penentuan Analisis Butir Tanah (Grain Size)*				
ID. / NOMOR	005 – GEO/LW-2022				
DEPARTMENT / DEPARTEMEN	*Operational Planning & Geotechnical*				
SECTION / BAGIAN	*Outer Mine Geotech and Strategic Project*				
DATE / TANGGAL	*September 24, 2022*				
STANDARD / STANDAR	*ASTM D 1140, ASTM C 136-01*				
IMPORTANCE / TINGKAT KEPENTINGAN	Routine / Rutin	X	Critical / Kritis		

Created/reviewed by: Dibuat/direview oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:	Checked by: Diperiksa oleh:
Hasriyanti Tachir / BN: C035481	Sulkifli / BN: 8017	ieb5431 Digitally signed by ieb5431 DN: cn=ieb5431 Reason: I have reviewed this document Date: 2022.10.10 17:47:06 +08'00' Jane Tanggulungan / BN: 11482
Jr. Geotechnical Engineer	Coord Geotech Invest & LAB	Geotechnical Engineer

Approved by: Disetujui oleh:	Controlled by: Dikendalikan oleh:
Rusmin SA Digitally signed by Rusmin SA DN: cn=Rusmin SA, c=US, email=Rusmin.Syahid.Arianto@vale.com Reason: I am approving this document Date: 2022.10.12 07:36:33 +08'00'	Amelia Digitally signed by nvu1704 DN: cn=nvu1704 SN: CN=nvu1704 Date: 2022.10.11 09:13:14 +08'00'
Rusmin Syahid Arianto / BN: 11064	Amelia / BN: 10003
Manager Geotechnical & Hydrology Engineering	Document Control

J:\02 - Admin\02.F. SOP\2022\Geotech Outer\Draft\SOP\2022_LW_SOP 005 Grain Size Analysis.docx

Gambar L-2. 10 Lembar Analisis Butir Tanah PIT FPB-01

DAFTAR ISI

1. TUJUAN 3
2. ALAT PELINDUNG DIRI 3
3. PERKAKAS DAN PERALATAN 3
4. PROSEDUR PEKERJAAN 4
5. PERHITUNGAN 6
6. FORM PENGUJIAN ANALISA SARINGAN 8
7. DOCUMENT CONTROL 9

PT. VALE INDONESIA.Tbk

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)	No: 005 – GEO/LW-2022	Page: 3 of 9
	Classification: Rutin	Rev : 04

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)

1. TUJUAN

Untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah. Analisa ukuran butir tanah merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Tes ini dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir dan gradasi tanah yang tertahan hingga saringan No. 200. Pengujian ini dibagi menjadi 2, yaitu pengujian dengan material yang banyak mengandung fraksi butiran kasar, dan pengujian pada material yang sedikit mengandung fraksi butiran kasar (tanah berbutir halus).

2. ALAT PELINDUNG DIRI

Alat-alat Pelindung Diri Standar :

- Pakaian Kerja.
- Sepatu Kerja.
- Kacamata *safety*
- Masker
- Sarung Tangan

3. PERKAKAS DAN PERALATAN

a. Khusus

- Untuk material yang banyak mengandung pasir dan kerikil (material berbutir kasar) digunakan satu set ayakan (3 inch, 2 inch 1 ½ inch, 1 inch, 3/4 inch, 3/8 inch, #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan)
- Untuk material yang sedikit mengandung material berbutir kasar dan didominasi oleh tanah berbutir halus digunakan satu set ayakan (No. #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan)
- Larutan Fluka (Opsional)

b. Umum

- Sikat pembersih ayakan
- Timbangan (ketelitian 0,1 gr)
- *Oven* pengering
- Wadah Penampung
- Penumbuk karet

4. PROSEDUR PEKERJAAN

4.1 Tahap persiapan Pengujian

Persiapan Larutan Fluka.

i. Siapkan bahan kimia (misalnya sodium hexametapospat/Calgon) yang dapat digunakan untuk mencegah butiran-butiran tanah untuk berflokulasi.
ii. Campur 40 gram kalgon kedalam 1000 ml air suling.
iii. Kocok larutan sampai homogen dalam botol.
iv. Simpan larutan di tempat aman dengan suhu ruang.

4.2 Tahap Pengujian Analisa Saringan

4.2.1 Analisa Saringan Material Dominan Berbutir Kasar (Dominan Pasir dan Kerikil)

i. Sampel yang digunakan yaitu Sampel tanah UDS (Undisturbed Sample), Sample SPT (Standard Penetration Test), atau Sampel quarry.
ii. Masukkan sampel secukupnya kedalam oven minimal selama 12 hingga 24 jam untuk menghilangkan kandungan air yang masih terdapat pada tanah.
iii. Keluarkan sampel tanah dari dalam oven dan tumbuk menggunakan penumbuk karet untuk melepas butiran tanah yang masih menggumpal.
iv. Lakulan proses penyaringan sampel tanah kering menggunakan satu set saringan 3 inch, 2 inch 1 ½ inch, 1 inch, 3/4 inch, 3/8 inch, #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan. Sebelum proses penyaringan, timbang terlebih dahulu berat masing-masing saringan dalam keadaan kosong dan bersih. Proses pengayakan disarankan menggunakan alat penyaring otomatis minimal selama 10 menit atau hingga material telah tertahan pada tiap masing-masing saringan dan tidak ada lagi material yang berjatuhan.
v. Timbang berat sampel pada tiap saringan dengan mengurangkan berat saringan berisi sampel tanah dengan berat saringan kosong.
vi. Catat masing-masing berat tanah yang tertahan pada tiap saringan.
vii. Lakukan analisis perhitungan.
viii. Biasanya untuk material dominan berbutir kasar, sampel tanah yang lolos saringan no 200 kurang dari 35%, sehingga tidak perlu dilakukan proses penyaringan basah atau analisis hydrometer, pengklasifikasian material didasarkan pada nilai Cu (Koefisien Keseragaman) dan Cc (Koefisien Gradasi).

4.2.2 Analisa Saringan Material Dominan Berbutir Halus (Dominan Lanau dan Lempung)

i. Sampel yang digunakan yaitu sampel tanah UDS (Undisturbed Sample) atau sample SPT (Sample Penetration Test).

ii. Masukkan sampel tanah secukupnya kedalam oven minimal selama 12 jam hingga 24 jam untuk menghilangkan kandungan air yang masih terdapat pada tanah.

iii. Keluarkan sampel tanah dari dalam oven dan tumbuk menggunakan penumbuk karet untuk melepas butiran tanah yang masih menggumpal.

iv. Ambil sebanyak minimal 200 gram, timbang dan catat berat tanah yang digunakan.

v. Rendam sampel tanah tersebut menggunakan larutan fluka minimal selama 2 jam (tahapan ini bersifat opsional agar proses pelepasan ikatan butir tanah lebih maksimal).

vi. Saring sampel tanah tadi menggunakan unit saringan No. 200 dibawah air mengalir hingga air yang melewati saringan menjadi bersih, untuk menghilangkan sisa material lempung.

vii. Setelah proses penyaringan, masukkan ke oven selama minimal 12 jam hingga 24 jam dengan suhu 110 derajat celcius atau dapat menggunakan waktu hasil optimasi yaitu minimal selama 3 jam.

viii. Keluarkan sampel dari oven, tunggu hingga dingin, dan timbang sampel tanah tersebut, kurangkan berat tanah kering sebelum proses penyaringan basah dengan berat tanah kering setelah proses penyaringan basah, selisih berat tersebut merupakan berat tanah lolos saringan No 200.

ix. Lakukan proses penyaringan tanah kering yang tertahan pada saringan no 200, menggunakan satu set saringan No. #4, #10, #16, #30, #50, #100, #200 dan Pan. Sebelum proses penyaringan, timbang terlebih dahulu berat masing-masing saringan dalam keadaan kosong dan bersih. Proses pengayakan dapat menggunakan alat penyaring otomatis atau disaring secara manual minimal selama 10 menit atau hingga material telah tertahan pada tiap masing-masing saringan dan tidak ada lagi material yang berjatuhan.

x. Timbang berat tanah pada tiap saringan dengan mengurangkan berat saringan berisi sampel tanah dengan berat saringan kosong.

xi. Catat masing-masing berat tanah yang tertahan pada tiap saringan.

xii. Lakukan analisis perhitungan.

xiii. Jika material tanah lolos saringan no 200 lebih dari 35% dari total material yang digunakan, maka dilanjutkan dengan proses analisis hydrometer untuk mendapatkan persentase lanau dan lempung.

5. PERHITUNGAN

Perhitungan persen tertahan pada saringan ke- n :

$$R_n = \frac{W_n}{W} \times 100\%$$

Perhitungan persen kumulatif tertahan pada saringan ke- n :

$$\sum R_n = \sum_{i=2}^{i=n} R_n$$

Perhitungan persen kumulatif lolos pada saringan ke- n :

$$\%finer = 100 - \sum_{i=2}^{i=n} R_n$$

Perhitungan nilai koefisien keseragaman :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Perhitungan nilai koefisien gradasi :

$$C_c = \frac{D_{30}{}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Dimana :

W_n : Berat tertahan pada saringan ke- n

W : Berat total tanah

R_n : Persen tertahan pada saringan ke- n

$\sum R_n$: Persen kumulatif tertahan pada saringan ke- n

$\%finer$: Persen kumulatif lolos pada saringan ke- n

C_u : Koefisien keseragaman

C_c : Koefisien gradasi

D_{10} : Diameter butiran yang sesuai dengan 10% lolos

D_{30} : Diameter butiran yang sesuai dengan 30% lolos

D_{60} : Diameter butiran yang sesuai dengan 60% lolos

VALE
PT. VALE INDONESIA.Tbk

PENENTUAN ANALISIS BUTIR TANAH (GRAIN SIZE)	No: 005 – GEO/LW-2022	Page: 8 of 9
	Classification: Rutin	Rev : 04

6. FORM PENGUJIAN ANALISA SARINGAN

GRAIN SIZE ANALYSIS					
Date	=	30/04/2025	Job No.	=	
Tested By	=	Ramadhira Gusti P	Sample No	=	2.
Checked By	=	Ir. Amul Yogan, S.T.	Depth (m)	=	
			Project	=	
			Location	=	PIT FPB -01

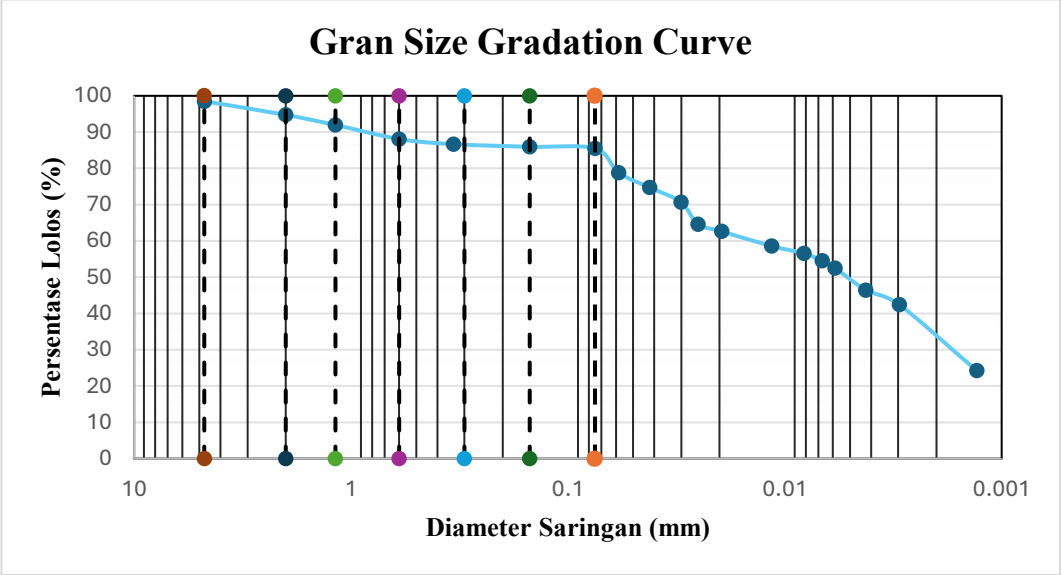
Total Mass of Soil =

Sieve No	Diameter (mm)	Sieve Weight (gr)	Sieve weight+soil (gr)	Retained soil weight (gr)	Retained Cum Weight (gr)	Percent Retained Cum Weight (gr)	Percent Finer Sieve Analysis (%)
3"	75						
2"	50						
1 ½"	37,5						
1"	25						
3/4"	19						
3/8"	9,5						
4	4.75	545,05	548,88	3,93	1,905	1,965	98,095
10	2.00	787,49	791,69	4,22	9,11	9,085	90,925
16	1.18	731,22	737,42	6,2	3,1	12,175	87,825
30	0.6	709,81	713,23	3,429	4,295	16,47	83,53
50	0.3	727,06	729,63	4,07	2,355	18,805	81,195
100	0.15	803,85	807,69	3,84	1,89	20,695	79,305
200	0.075	736,8	737,69	0,89	0,4495	21,4	78,89
Pan	-						

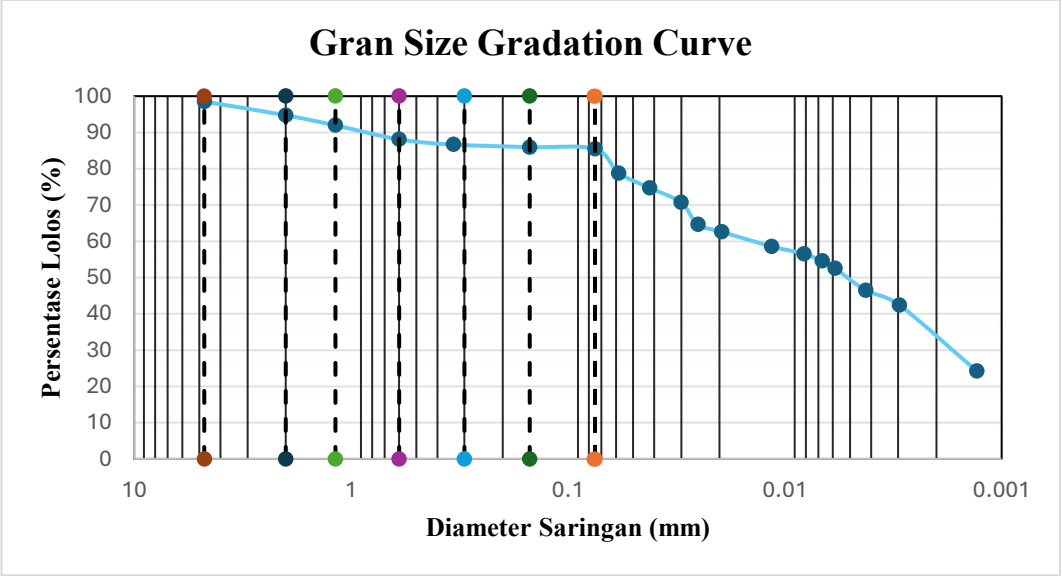
J:\02 - Admin\02.F. SOP\2022\Geotech Outer\Draft\SOP\2022_LW_SOP 005 Grain Size Analysis.docx

7. DOCUMENT CONTROL

Version Versi	Date Tanggal	Reason for Change Alasan perubahan
0.0	09 April 2008	New SOP
1.0	23 September 2014	Review SOP
2.0	06 April 2020	Perubahan Format SOP dan Regular Review tiap 5 tahun
3.0	22 Oktober 2020	Review SOP
4.0	24 September 2022	Review dan update format SOP



Gambar L-2. 11 Grafik Grainsize Disposal FPB-03



Gambar L-2. 12 Grafik Grainsize PIT FPB-01